

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE MINIER

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté à
l'Ecole Nationale Polytechnique



En vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur d'Etat en Génie Minier

THEME

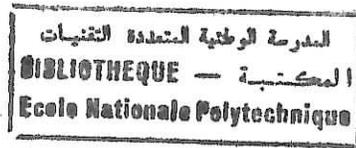
**Etude de la répartition spatio-temporelle du
magmatisme mésozoïque du bassin de Reggane**

Proposé et Dirigé par :

Mr M.C CHABOU

Etudié par :

KHATAL Mohamed



DEDICACES

A mes défunts grand parents

A la mémoire de mon oncle RACHID

A la mémoire de toutes les victimes du séisme du 21 Mai 2003

A ma grand mère Zohra

A mes très chers parents

A mes frères et sœur

A tout mes amis

Je dédie ce modeste travail

Mohamed



Remerciements

Au terme de ces années d'étude, il m'est très agréable d'adresser mes remerciements les plus sincères à tous nos professeurs du primaire à l'université pour avoir accompli leur noble tâche .

Je remercie mon promoteur Mr. M.C Chabou de m' avoir confié l'étude de ce projet fort intéressant et de m'avoir dirigé, orienté et prodigué ses précieux conseils.

Mes vifs remerciements et ma gratitude vont aux nombreuses personnes qui m'ont aidés à réaliser ce projet, en prenant de leur temps et de leur énergie et en me faisant profiter de leur expérience et de leurs connaissances.

لقد عرف حوض رقان نشاط بركاني كبير في بداية العصر الجوراسي، هذا النشاط ترجم بتوضع الصخور البركانية من النوع الدوليريتي التي تتواجد في السطح وفي أعماق الأرض على شكل صفائح وقواطع بشكل واسع، الصفائح البركانية تتواجد بشكل مكثف في الفامنيان وبأقل حدة في التورنيزيان، الفيزيان والناموريان. في هذا البحث قدمنا حوصلة الأعمال الجيوكيميائية والجيوكرونولوجية المنجزة على الصخور البركانية في حوض رقان، وكذا "خرائط تساوي السمك" التي تبرز تغيرات سمك الصخور البركانية وكذا اتجاه الفوالق الهامة التي عن طريقها صعد المصم. في النهاية لقد كان لتوضع الصخور البركانية في حوض رقان أثر كبير على نضوج المدة العضوية للصخرة الأم.

المفاتيح: حوض رقان، الصخور البركانية، خرائط تساوي السمك، المصم.

Résumé

Le bassin de Reggane a connu une intense activité magmatique au début du Jurassique. Cette activité magmatique liée à l'ouverture de l'atlantique central s'est traduite par la mise en place principalement de dolérites. Les roches éruptives se rencontrent en affleurement et en sondage sous forme de dykes et de sills dont l'extension est relativement importante. Les sills sont répandus principalement dans le Dévonien supérieur (Famennien) et à moindre degré dans le Carbonifère (Tournaisien, Viséen et Namurien). Nous présenterons une synthèse des travaux géochimiques et géochronologiques effectués sur ces roches magmatiques, ainsi qu'un ensemble de cartes en isopaques réalisées à partir des sondages effectués dans le bassin de Reggane. Ces cartes illustrent les variations des épaisseurs des roches magmatiques et montrent l'importance du magmatisme qui couvre toute la superficie du bassin. Elles permettent aussi de localiser les directions des accidents majeurs qui ont contrôlés la montée du magma lors de la phase de distension jurassique. Enfin, la mise en place de ces roches magmatiques dans le bassin de Reggane aurait eu une grande influence sur la maturation de la matière organique des roches mères.

Mots clés : Bassin de Reggane – Magmatisme mésozoïque – Carte en isopaques – Dolérite .

Abstract

During the early Mesozoic, an intense magmatic activity occurred in the Reggane basin. This magmatism, related to the opening of the central Atlantic Ocean, is expressed in outcrops and in subsurface as doleritic dykes and sills. Sills are intruded mainly in the Upper Devonien (Famennian) and to least degree in the Carboniferous (Tournaisian, Viséan and Namurian). We will present a synthesis of geochemical and geochronological works done on these magmatic rocks, as well as a set of isopach maps achieved from wells done in the Reggane basin. These maps illustrate the thickness variations of magmatic rocks and show the importance of these magmatism that covers all the surface of the basin. They also permit to localize major accident directions that controled the upwelling of the magma in the early Jurassic distension phase. Finally, the emplacement of this magmatism have a considerable consequence for the hydrocarbons potential of the study area.

Key words : Reggane basin – Mesozoic magmatism – Isopach map – Dolerite.

Sommaire



Introduction générale.....	2
Chapitre I : Contexte géologique et données existantes sur le magmatisme mésozoïque du bassin de Reggane.....	5
I.1. Le bassin de Reggane.....	5
I.1.1. Cadre géographique et aperçu historique.....	5
I.1.2. Contexte géologique régional et aperçu structural.....	5
I.1.3. Stratigraphie.....	8
I.1.4. Tectonique.....	12
I.1.5. Evolution géodynamique du bassin de Reggane.....	13
I.2. Le magmatisme mésozoïque du bassin de Reggane.....	15
I.2.1. Nature des roches magmatiques dans le bassin de Reggane.....	15
I.2.2. Modes de Gisement.....	15
I.2.3. Caractérisation Pétrographique des dolérites du bassin de Reggane	18
I.2.4. Caractéristiques géochimiques des dolérites du bassin de Reggane	22
I.2.5. Données Géochronologiques.....	22
I.2.6. Mécanisme du mise en place.....	23
I.2.7. Conclusion.....	23
Chapitre II : Etude de la répartition spatio-temporelle du magmatisme mésozoïque du bassin de Reggane.....	31
II.1. Introduction	31
II.2. Réalisation des cartes en isopaques du magmatisme du bassin de Reggane.....	31
II.2.1. Méthodologie.....	31
a) Description de logiciel d'interpolation.....	31
b) Méthode d'interpolation utilisée.....	41
c) Réalisation des cartes.....	41
II.2.2. Présentation des cartes en isopaques.....	42
a) Cartes en isopaques des roches magmatiques par étages stratigraphiques et épaisseurs totales.....	42
b) Cartes en isopaques des étages stratigraphiques injectés par les roches magmatiques.....	46
II.2.3. Interprétation des cartes.....	49
a) Carte en isopaques du magmatisme associé au Viséen.....	49
b) Carte en isopaques du magmatisme associé au Tournaisien.....	49
c) Interprétation de la carte en isopaques du magmatisme associé au Famennien.....	49
d) Interprétation de la carte en isopaques du magmatisme (épaisseurs totalec).....	50

II.3. Réalisation des coupes géologiques.....	50
II.3.1. Méthodologie.....	50
II.3.2. Présentation des coupes.....	52
II.3.3. Interprétation des coupes.....	56
a) Coupes Stratigraphique N°1.....	56
b) Coupe stratigraphique N°2.....	56
c) Coupe stratigraphique N°3.....	56
d) Coupe Stratigraphique N°4.....	56
II.4. Réalisation de bloc diagramme en 3D.....	57
II.4.1. Méthodologie.....	57
II.4.2. Présentation du bloc diagramme en 3D.....	57
II.4.3. Interprétation du bloc diagramme en 3D.....	58
II.5. Conclusion.....	58
Chapitre III : Influence du magmatisme mésozoïque du bassin de Reggane sur l'accumulation des hydrocarbures.....	60
III.1. Introduction.....	60
III.2. Généralités.....	60
III.2.1 La genèse des hydrocarbures.....	61
III.2.2 La migration des hydrocarbures.....	63
III.2.3 Les pièges.....	64
a) Les pièges stratigraphiques.....	64
b) Les pièges structuraux.....	65
III.3. Aperçu sur le système pétrolier du bassin de Reggane.....	67
III.3.1. Les roches mères.....	67
III.3.2. Les roches réservoirs.....	67
III.3.3. Les roches couvertures.....	68
III.3.4. Les Pièges.....	68
a) Les pièges structuraux.....	68
b) Les pièges stratigraphiques.....	68
III.4. Influence de l'évènement thermique triasico-lisique sur le système pétrolier du bassin de Reggane.....	68
III.5. Conséquences de la mise en place des dolérites sur le potentiel en hydrocarbures du bassin de Reggane.....	70
III.5.1. Sur les roches réservoirs.....	70
III.5.2. Sur les roches mères.....	70
III.6. Influence du magmatisme sur la formation des pièges et des roches couvertures.....	70
III.7. Conclusion.....	74
Conclusion générale.....	76
Annexes.....	78
Bibliographie.....	93

Liste des figures



Figure.1.1 : Cadre géographique et géologique de la région d'étude	6
Figure.1.2 : Coupe géologique transversale du bassin de Reggane	7
Figure 1.3 : Colonne stratigraphique synthétique du bassin de Reggane	10
Figure 1.4 : Esquisse géologique de la région de Bled el Mass (Bassin de Reggane) montrant la localisation des sills et des dykes doléritiques	16
Figure 1.5. : Dolérites vue par Diagraphie	17
Figure 1.6 : Les dolérites vue par section sismiques (section 79bb47).....	19
Figure 1.7: Positionnement des roches magmatiques dans les sondages du bassin de Reggane.....	20
Figure 1.8: Lames minces de l'échantillon S29 (Brini, sud de Reggane) en lumière naturelle (b) en lumière polarisée (Grossissement 32x).....	21
Figure 1.9 : Classification des roches magmatiques triasico-liasiques du bassin de Reggane dans le diagramme	25
Figure 1.10 : Composition normative des roches magmatiques du bassin de Reggane schématisée dans le diagramme triangulaire.....	26
Figure 1.11 : Projection des échantillons dans le diagramme AFM d'Irvine et Baragar.....	27
Figure 1.12 : Répartition des roches magmatiques triasico-liasiques du bassin de Reggane dans le diagramme triangulaire TiO_2 - MnO - P_2O_5 de Mullen.....	28
Figure 2.1 : L'écran initial du SURFER 7.....	32
Figure 2.2 : Le menu de programme.....	33
Figure 2.3 : Ouverture du tableau de données	33
Figure 2.4 : Exemple de tableau de données	34
Figure 2.5 : Exemple du tableau de données à plusieurs variables.....	34
Figure 2.6 : Ouverture du fichier de données	36
Figure 2.7 : Méthodes d'interpolation disponible.....	37
Figure 2.8 : Cartes des courbes de niveau.....	37
Figure 2.9 : Edition de la carte.....	38
Figure 2.10 : Menu des cartes de point.....	39
Figure 2.11 : Surface 3D	39
Figure 2.12 : Superposition des cartes	40

Figure 2.13 : Carte en isopaques des roches magmatiques dans le Viséen du bassin de Reggane.....	42
Figure 2.14 : Carte en isopaques des roches magmatiques dans le Tournaisien du bassin de Reggane.....	43
Figure 2.15 : Carte en isopaques des roches magmatiques dans le Famennien du bassin de Reggane	44
Figure 2.16 : Carte en isopaques des roches magmatiques (épaisseur totale) du bassin de Reggane.....	45
Figure 2.17 : Carte en isopaques du Viséen du bassin de Reggane.....	46
Figure 2.18 : Carte en isopaques du Tournaisien du bassin de Reggane.....	47
Figure 2.19 : Carte en isopaques du Famennien du bassin de Reggane.....	48
Figure 2.20 : Plan de position des puits et des coupes stratigraphiques.....	51
Figure 2.21 : Coupe stratigraphique N°1, suivant la direction E-W.....	52
Figure 2.22 : Coupe stratigraphique N°2, suivant la direction NE-SW.....	53
Figure 2.23 : Coupe stratigraphique N°3, suivant la direction NW-SE.....	54
Figure 2.24 : Coupe stratigraphique N°4, suivant la direction N-S.....	55
Figure 2.25 : Bloc diagramme en 3 D du magmatisme du bassin de Reggane.....	57
Figure 3.1 : Genèse des hydrocarbures	61
Figure 3.2 : Les différents types d'hydrocarbures générés au cours de l'enfouissement	62
Figure 3.3 : Migration des hydrocarbures	63
Figure 3.4 : Les types de migration des hydrocarbures.....	64
Figure 3.5 : Piège stratigraphique (discordance et biseau sédimentaire).....	65
Figure 3.6 : Piège par faille	65
Figure 3.7 : Piège anticlinal	66
Figure 3.8 : Piège mixte associé à un diapir	66
Figure 3.9 : Histoire thermique du bassin de Reggane (puits RG-3)	69
Figure 3.10 : Influence des dolérites sur les roches réservoirs	71
Figure 3.11 : Effets des dolérites sur les argiles et la matière organique. Exemple du sondage RAN-1.....	72
Figure 3.12 : Piège contre Dykes	73

Liste des tableaux

Tableau 1.1: Synthèse des analyses géochimiques des roches magmatiques du bassin de Reggane.....	24
Tableau 1.2 :Datation des dolérites du bassin de Reggane.....	29

Liste des abréviations utilisées et leurs significations

PMAC : Province Magmatique de la l'Atlantique central.

UTM : Universel Transvers Mercater.

DJHN : Djebel Heirane Nord.

RAN : Razzek Allah Nord.

TEH : Tout El Henna.

SLP : Silex pointu.

TZ : Tanezrouft.

Md : Milidarcy.

KL : Kahlouche.

TIO : Tioulilne.

MO : Mouilah.

RG : Reggane.

AZ : Azrafil.

Br : Brini.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION GENERALE

L'existence de roches magmatiques mésozoïques de composition basique (dolérites) dans le bassin de Reggane est connue depuis longtemps (Fabre, 1976). Très peu d'études leur ont été consacrées. Seules quelques analyses en éléments majeurs et des datations géochronologiques ont été effectuées sur roches totales : les premières ont permis de reconnaître l'affinité tholéiitique de ces roches (Chabou, 2001; Benseradj, 1996); les secondes, de dater les intrusions à la limite Trias-Lias (Conrad, 1972; Benseradj, 1996). Ces rares études ont permis de rattacher ce magmatisme à celui de la grande province magmatique de l'Atlantique Central (PMAC). Contrairement aux autres régions de cette province, ce magmatisme reste encore mal connu en Algérie.

L'étude de ce magmatisme est importante car :

- les dolérites du bassin de Reggane occupent la position la plus orientale donc la plus éloignée de l'Atlantique. Ces roches sont donc de précieux témoins des effets les plus orientaux de la distension triasico-liasique.
- la mise en place de ce magmatisme peut avoir une grande influence sur le potentiel pétrolier et métallogénique du bassin de Reggane.

Les principaux objectifs de ce travail sont les suivants :

- 1) Présenter la répartition et les études consacrées au magmatisme triasico-liasique du bassin de Reggane.
- 2) Réaliser, pour la première fois, des cartes en isopaques montrant la distribution et les épaisseurs des roches magmatiques mésozoïques dans le bassin de Reggane.
- 3) Discuter de l'influence de ce magmatisme sur le potentiel en hydrocarbures de la région étudiée.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons subdivisé notre travail en trois étapes :

- durant la première étape, nous décrirons le contexte géologique et le magmatisme mésozoïque (triasico-liasique) du bassin de Reggane ;
- la deuxième étape sera consacrée à l'étude de la répartition spatio-temporelle de ce magmatisme dans le bassin de Reggane. Pour cela, plusieurs cartes en isopaques seront réalisées ;
- dans la dernière partie, nous essayerons de connaître l'impact de ces formations magmatiques sur l'accumulation des hydrocarbures, où ils

peuvent jouer par exemple le rôle de roches couvertures, principalement les sills et les dykes (*piège contre dyke*), ou en favorisant en tant qu'évènement thermique, la maturation de la matière organique des roches mères.

Les cartes en isopaques réalisées illustrent les variations des épaisseurs des roches magmatiques et montrent l'importance du magmatisme qui couvre toute la superficie du bassin. Elles permettent aussi de localiser les directions des accidents majeurs qui ont contrôlé la montée du magma lors de la phase de distension jurassique.

CHAPITRE I

**Contexte géologique et données
existantes sur le magmatisme
mésozoïque du bassin de Reggane**

I.1. Le bassin de Reggane

I.1.1. Cadre géographique et aperçu historique

La région d'étude concerne le bassin de Reggane situé au sud-ouest de la plate forme saharienne. Occupant une superficie de 140 000 km², il se situe entre les longitudes 00°35' E et 4° 25' W et les latitudes 24° 30' et 28° N (Figure 1.1). Ce domaine est rattaché à la wilaya d'Adrar.

L'exploration du bassin de Reggane a débuté après l'année 1950 avec des missions de reconnaissance sur terrain et des levés gravimétriques. Ces travaux préliminaires ont permis de mettre en évidence l'existence de plusieurs axes structuraux dans le bassin.

Après l'année 1970, plusieurs missions de terrain et des campagnes sismiques ont été organisées par la SONATRACH. Un total de 28784 Km de levés sismiques a été réalisé entre 1970 et 1999.

Le nombre total des puits forés dans le bassin atteint actuellement le nombre de 70 (annexe 3), ce qui est peu étant donné la superficie du bassin. La moitié de ces puits sont des forages de reconnaissance peu profonds (core drill). Seuls les puits RG-102, TiO-1 et TiO-2 ont donné des gisements de gaz importants.

Au cours des cinq dernières années, plusieurs puits ont été forés. Il s'agit de HDK-1, FHD-1, RG-4, DHKT-1, AZSE-1 et EGB-1. Plusieurs découvertes de gaz ont été annoncées en 2000 : il s'agit des puits DHKT-1, AZSE-1 et EGB-1. Un puits (KTN-1) est actuellement en cours de forage.

I.1.2. Contexte géologique régional et aperçu structural

Le bassin de Reggane est limité (Figure 1.1) :

- ☞ Au Nord, par la chaîne d'Ougarta et les massifs infracambriens du Touât ;
- ☞ Au Sud et au Sud Ouest, par les affleurements du massif précambrien des Eglab ;
- ☞ A l'Ouest, par le môle de Bou Bernous qui le sépare du bassin de Tindouf ;
- ☞ A l'Est, il est séparé du bassin de l'Ahnet par l'ensellement de l'Azzel-Matti.

Du point de vue géologique, il correspond à une dépression dissymétrique orientée NW-SE dont la partie la plus profonde est située près de la chaîne d'Ougarta. A l'opposition de ce flanc NE très redressé, le flanc SW constitue un monoclinial important avec un pendage doux vers le massif des Eglab (Figure 1.2).

La plus grande partie des terrains paléozoïques du bassin de Reggane est masquée par des cordons dunaires orientés NNE-SSO de l'Erg Chech. Seul son flanc oriental affleure en un monoclinial très redressé contre le Bled el Mass, dans la région d'Aïn ech Chebbi et de Hassi Taïbine.

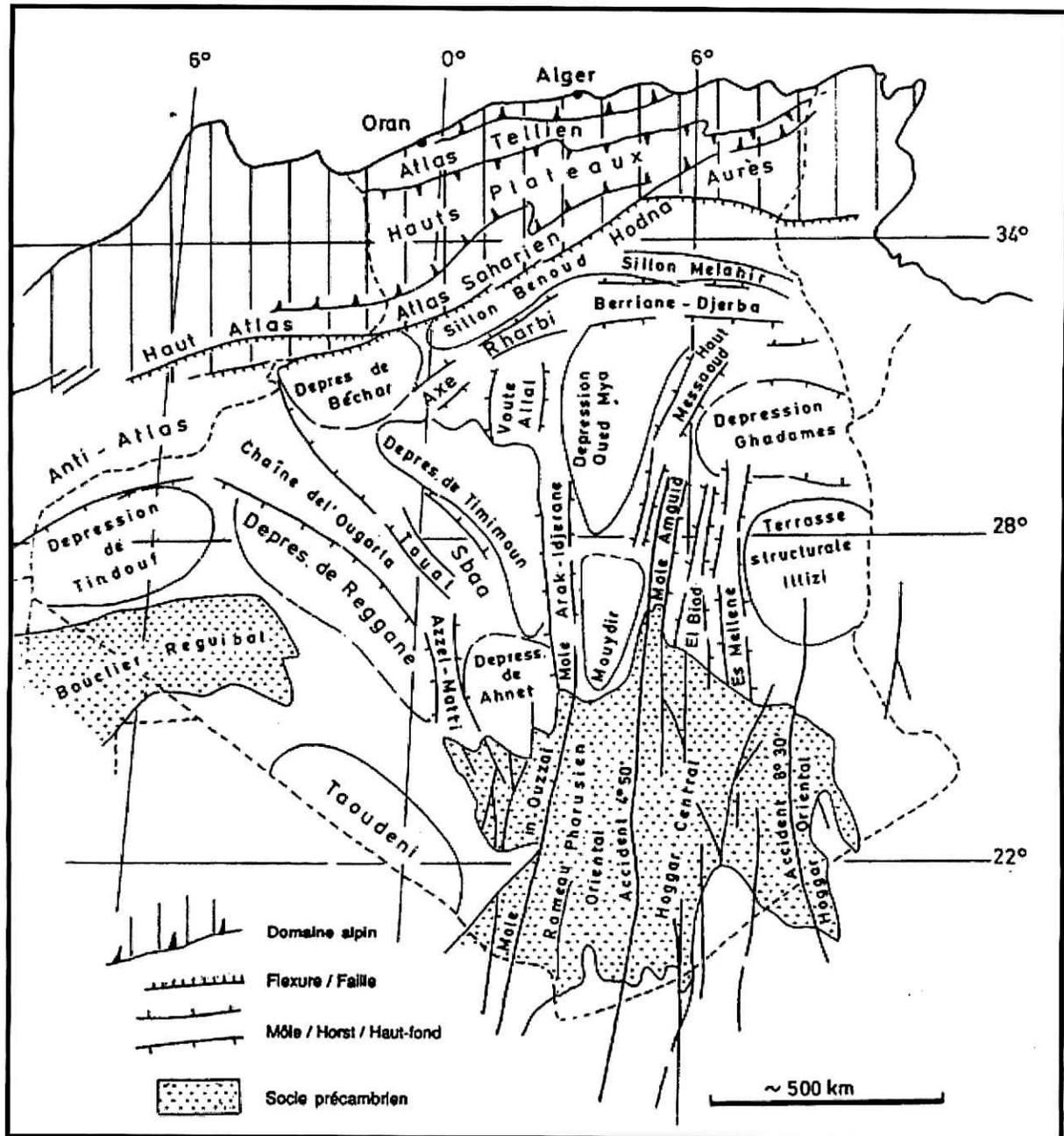


Figure 1.1 : Cadre géographique et géologique de la région d'étude
(d'après Khennous, 1997).

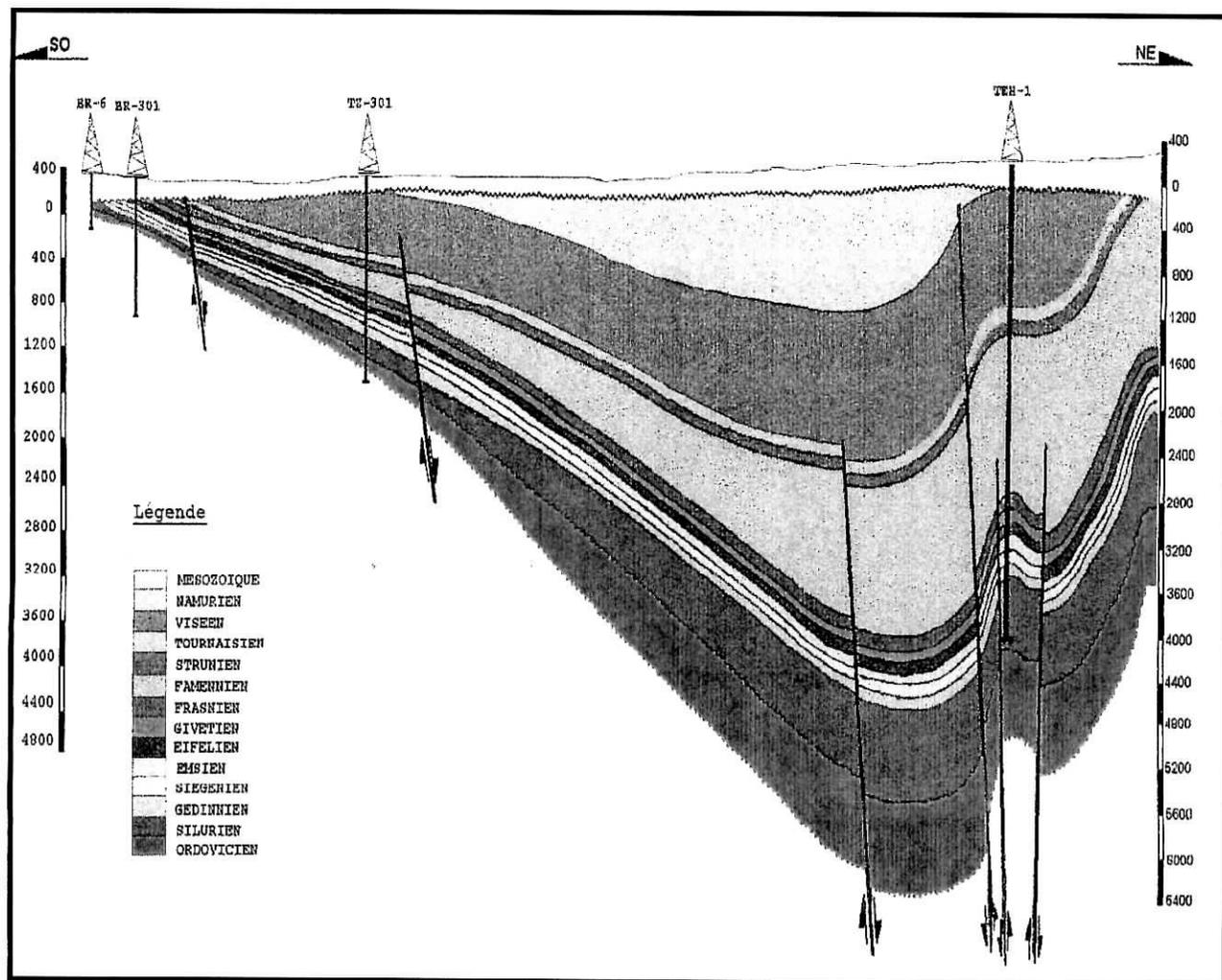


Figure 1.2 : Coupe géologique transversale du bassin de Reggane (documents SONATRACH).

1.1.3. Stratigraphie

Dans le bassin de Reggane, la couverture sédimentaire est représentée essentiellement par des sédiments détritiques du Paléozoïque. La couverture peut atteindre une puissance dépassant 6500 m. En se basant sur les données de terrain et de forage (Aliev et al., 1971; Beuf et al., 1971; Fabre, 1976; Conrad, 1984; Khennous, 1997), on distingue trois grands ensembles litho-stratigraphiques (Figure 1.3) :

- ☞ Un substratum, atteint par les forages implantés dans le sud, qui est recouvert en discordance par une série plissée de l'Infra-Cambrien ;
- ☞ Une couverture sédimentaire paléozoïque importante qui dépasse 5000 m d'épaisseur ;
- ☞ Une couverture méso-cénozoïque très réduite.

a) Le substratum

D'âge Précambrien, il serait de même nature que celui des Eglab. Exploré sur une dizaine de mètres dans les sondages de la région de Brini et du Tanezrouft, il correspond à un socle d'âge Eburnéen représenté par des granites de différentes compositions. Ce socle affleure dans les régions de Bou Bernous, d'Ouallène et de Tabelbala.

b) L'Infra-Cambrien

Reposant en discordance sur les granites du socle, l'Infra-Cambrien du bassin de Reggane affleure dans les régions de Bou Bernous, d'Ouallène, de Bled el Mass, du Touat et de Tabelbala. Il a aussi été traversé par des sondages dans le Sud du bassin, notamment dans la région de Brini où son épaisseur atteint 550 m. Il comprend trois membres : un membre inférieur grés-carbonaté, un membre moyen argileux et un membre supérieur argilo-gréseux métamorphisé. Ces formations sont recoupées par des dolérites qui seraient d'âge néoprotérozoïque (Précambrien supérieur).

c) La couverture paléozoïque

La couverture paléozoïque est bien développée en allant du Cambrien au Carbonifère terminal (Namurien). Cette couverture est fréquemment recoupée par des intrusions de roches magmatiques d'âge mésozoïque sous forme de sills ou de dykes.

❖ Le Cambro-Ordovicien

Très peu connu dans cette région, le Cambrien de la zone Sud est composé de grès quartziques blancs fins compacts avec quelques passées d'argile. On trouve aussi des passées micro-conglomératiques et des galets de quartz dans des grès moyens à grossiers blancs quartziques à la base. L'épaisseur des séries cambriennes avoisine 35 m au sud, probablement beaucoup plus au Nord.

Il a été atteint en son sommet au Nord du bassin (RG-4). Il est représenté par un ensemble inférieur et un autre supérieur.

- *L'ensemble inférieur ou « Unité III »* est formé de grès quartzitiques fins à grossiers à *Lingules* et *Tigillites* avec quelques passées d'argiles. Ces dépôts sont caractéristiques d'un milieu marin peu profond à profond.
- *L'ensemble supérieur ou « Unité IV »* est formé de deux termes gréseux séparés par un banc d'argile avec des passées micro-conglomératiques. Les dépôts de cette unité sont caractéristiques d'un milieu glaciaire ou glacio-marin.

❖ Le Silurien

Le Silurien est constitué d'argiles noires radioactives et pyriteuses à *Graptolites* avec parfois la présence de bancs de calcaires et des intervalles de grès. La puissance de cette formation argileuse augmente du Sud au Nord-Est du bassin et peut dépasser 100 m.

Cette formation est connue pour avoir constitué une roche mère à l'échelle de toute la plate-forme saharienne.

❖ Le Dévonien

On y distingue un terme inférieur, moyen et supérieur

- *Le Dévonien inférieur* est caractérisé par une sédimentation qui s'est effectuée dans un milieu marin peu profond. Il débute par une série de dépôts argilo-gréseux datée du *Gédinnien*. Le *Siégenien*, dont l'épaisseur atteint 200 m environ, comprend un membre inférieur argilo-gréseux et un membre supérieur gréseux. La partie supérieure du Siégenien est coiffée par des calcaires à *Orthocéres* connus sous le nom de « *muraille de Chine* ». Ce banc de calcaire constitue un très bon repère stratigraphique dans toute la partie occidentale de la plate-forme saharienne. Il est considéré comme la limite entre le Siégenien et l'*Emsien*. Ce dernier est constitué de dépôts de mer profonde et comprend une épaisse série argileuse.
- *Le Dévonien moyen* comprend les dépôts marins du *Couvinien-Givétien*. Le *Couvinien* est formé d'une série argileuse et le *Givétien* est caractérisé par le développement de calcaires massifs à *Ptéropodes*. L'épaisseur du Dévonien moyen est très variable au sud, alors qu'au Nord, il est beaucoup plus constant avec une épaisseur voisine de 140 m. La limite supérieure du Dévonien moyen est régionalement représentée par un banc de calcaire sur lequel se déposent les argiles frasnienne.
- *Le Dévonien supérieur* est très développé et comporte trois formations dont l'épaisseur augmente du Sud au Nord. Le *Frasnien*, dont l'épaisseur est comprise entre 44 et 244 m, comprend essentiellement une formation argileuse radioactive formée dans des conditions anoxiques. Il est surmonté par une épaisse formation (plus de 1200 m) argileuse datée du *Famennien*. Cet étage est caractérisé par l'abondance des intrusions magmatiques dont l'épaisseur varie de 17 à 202 m. Le *Strunien* débute par un banc gréseux de 20 m d'épaisseur. Les dépôts de cet étage sont associés à une période de régression majeure et au retour à une sédimentation qui s'est effectuée dans un milieu marin peu profond.

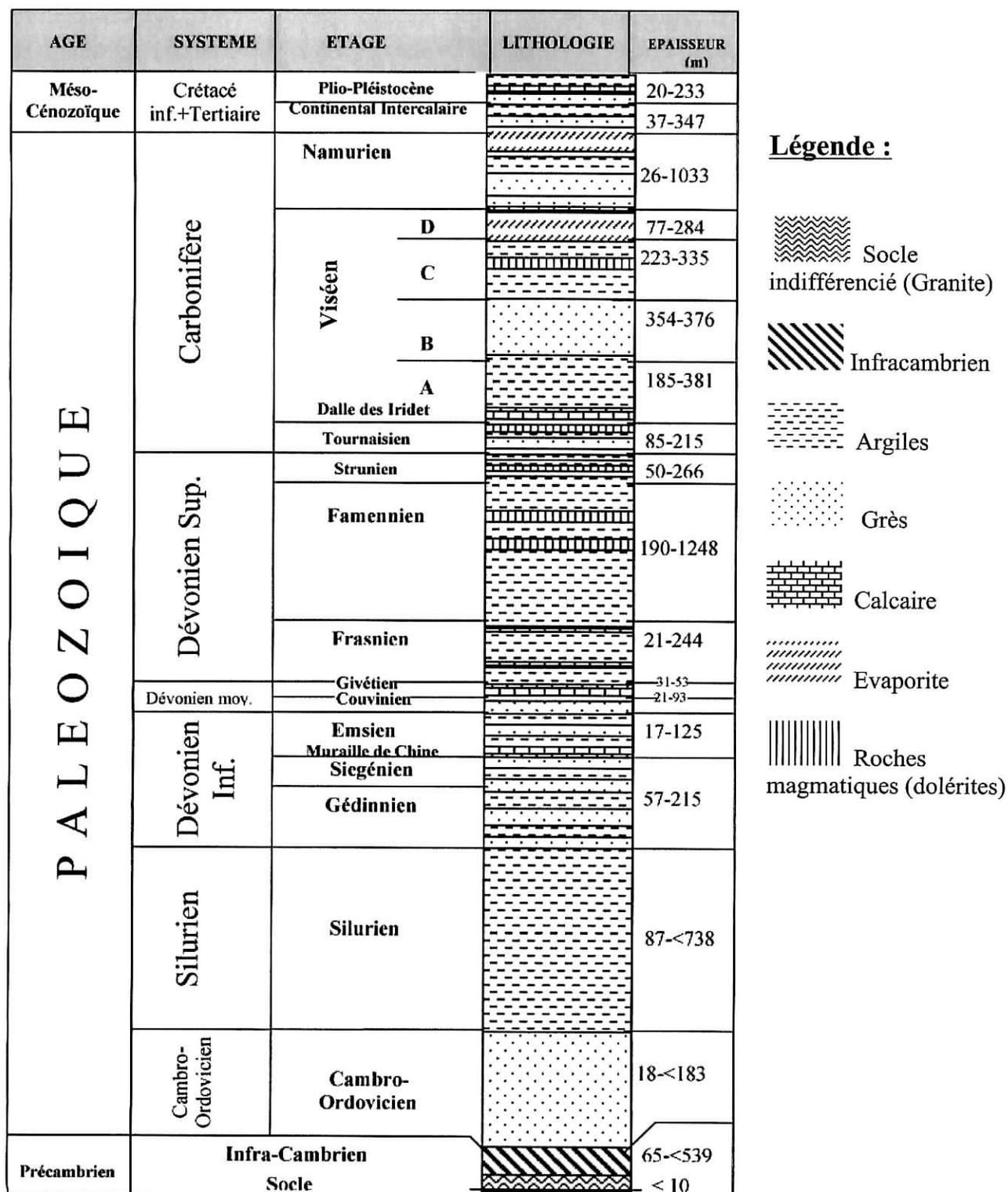


Figure 1.3 : Colonne stratigraphique synthétique du bassin de Reggane (inspirée des documents SONATRACH)

❖ Le Carbonifère

- Durant *le carbonifère inférieur* (*Tournaisien* et *Viséen*), les conditions de sédimentation dans un milieu peu profond ont persisté avec une constance des caractéristiques lithologiques. Le *Tournaisien* est caractérisé par une série essentiellement gréseuse comportant deux membres : les *grès de Khenig* et de *Tibaradine*, séparés par des conglomérats ou par des lentilles d'oolithe ferrugineuse. Les grès de *Tibaradine* sont recouverts par un niveau de calcaire caractéristique appelé « *la dalle des Iridet* » et marquant le début du *Viséen*. Le *Viséen*, totalement érodé au Sud du bassin et dont l'épaisseur augmente vers le Nord où il atteint 1200 m, a été subdivisé en quatre unités lithologiques distinctes : unité A essentiellement argileuse, unité B gréseuse, unité C constituée de calcaire marneux et unité D représentée par du gypse et de l'anhydrite. Notons que le *Viséen* est aussi fréquemment injecté d'intrusions magmatiques sous forme de sills, surtout dans la région du Djebel Heirane (NE du Bassin).
- Les niveaux marins continuent à la base du *Carbonifère supérieur* avec des dépôts de calcaire gréseux et marneux à intercalations gypseuses datés du *Namurien*. Puis, la mer se retire et une formation détritique se dépose, formée dans un milieu de lacs et de lagunes et datée toujours du *Namurien*. L'épaisseur du *Namurien* varie de 26 m dans le flanc Sud à 1033 m dans la partie Nord. A la fin du Carbonifère, la phase hercynienne majeure a soulevé toute la région sans exception et l'érosion associée à cette phase est très importante. Une formation supérieure débutant par endroit par un conglomérat polygénique et composée d'argilites sableuses parfois micacées est considérée par certains auteurs comme étant d'âge *Stéphanien*. Pour J. Conrad (1984), cette formation serait jurassique.

d) La couverture méso-cénozoïque

Dans le bassin de Reggane, la couverture méso-cénozoïque est très réduite et comprend une formation continentale d'âge Crétacé inférieur (Continental intercalaire) et une formation récente d'âge Plio-pléistocène.

- *Le continental intercalaire* repose en discordance sur les terrains paléozoïques et se compose essentiellement d'argiles renfermant des éléments gréseux remaniés et des passées de sable fin à grossier avec présence de dolérites, de gypse et de lignite. Sa limite inférieure est visible en diagraphie. Lithologiquement, il est marqué par un changement de faciès très net.
- *Le Plio-Pléistocène* est constitué d'alternances de grès argileux parfois carbonaté, de sable grossier et d'argile plastique passant par endroits à des marnes.

Actuellement, le bassin de Reggane est recouvert par des cordons dunaires orientés NNW-SSE de l'Erg Chech.

1.1.4. Tectonique

En relation avec la symétrie, l'axe du bassin est globalement orienté NW- SE et longe la partie septentrionale, zone où le socle est abaissé à une profondeur supérieure à 6500 m.

Le bassin de Reggane comprend quatre éléments structuraux :

- la zone haute du Bled El Mass et Azzel Matti à l'Est ;
- le seuil de Bou Bernous à l'ouest, le séparant du Bassin de Tindouf ;
- le bourrelet Tazoult-Azrafil au NE où s'appuient et se développent toutes les structures de Reggane Nord ;
- le monoclinale de Reggane au SO (Région de Tafalout).

a) La zone haute du Bled El Mass et de l'Azzel Matti

Dans la région de Bled el Mass, seul endroit du bassin de Reggane où la série paléozoïque affleure entièrement, les formations sont intensément plissées et recoupées par des failles sub-méridiennes. Les plus importantes structures de ce secteur sont (Follot, 1952) :

- *l'anticlinal du djebel Aberraz*, dont le flanc oriental est faillé ;
- *l'anticlinal du djebel Tamamate*, dirigé N-S sauf à sa terminaison sud où les couches tournent vers le S-O. Cette structure est affectée par plusieurs failles ;
- *trois autres anticlinaux* de petites tailles et affectés de nombreux failles et décrochements, sont également connus dans cette région.

b) Le seuil de Bou Bernous

Très peu connu, le seuil (ou môle) de Bou Bernous sépare le bassin de Reggane de celui de Tindouf. Il correspond à une remontée du socle jusqu'à une profondeur de 2000 à 2500 m. D'après Bayer et Lesquer (1978), l'emplacement de ce môle coïncide avec le passage d'un accident important allongé NNW-SSE (accident de l'Erg Chech). Au Sud, le prolongement de cet accident correspond à la limite entre la dorsale Réguibat et le bassin de Reggane.

c) Le bourrelet Tazoult-Azrafil

Le flanc Nord-Est du bassin de Reggane occupe une zone relativement étroite et adhérente aux chaînes de l'Ougarta. C'est la région la plus structurée, les sédiments paléozoïques constituent des plis importants qui s'alignent le long de l'Ougarta. Les flancs de ces plis sont étroits et asymétriques. La structure la plus importante de cette bordure du bassin est le bourrelet Tazoult-Azrafil, qui s'étend du nord-ouest au sud-est sur 75 km. Il comprend plusieurs structures plissées (structures d'Inzegmuir, de Sali, de Reggane et d'Azrafil) et son flanc sud-ouest est affecté par une importante faille normale injectée de dolérites. De grandes failles de direction NO-SE limitent le bassin de Reggane au nord-est (Aliev et al., 1971).

d) Le monoclinale de Reggane-Sud

Le flanc sud-ouest du bassin de Reggane se présente sous forme d'un monoclinale à très faible pendage dans la direction nord-est (1° environ), compliqué par des éléments

structuraux non fermées (structures de Mouila, Mokhtar, Rezeg Allah, Replat, Silex Pointu et Pierre Perdue) et par des failles subméridiennes. Ces structures ont été mises en évidence par la sismique, la région étant recouverte par la couverture mésocénozoïque (Erg Chech-Tanezrouft) (Ghoul et al., 2000).

e) Les failles

Les failles qui affectent le bassin de Reggane peuvent être subdivisées en deux familles principales (Aliev et al., 1971):

- Une famille de direction NW-SE, située le long de la bordure septentrionale du bassin.
- Une autre famille de direction subméridienne, concentrée dans la partie Sud du bassin.
- Il existe deux autres familles de failles de moindre importance qui s'observent : Ce sont les failles E-W et N-E qui se conjuguent aux failles Ougartiennes de direction NW-SE.

1.1.5. Evolution géodynamique du bassin de Reggane

L'évolution géodynamique du bassin de Reggane est très ancienne. Elle est influencée par la présence de boucliers parfois très anciens comme le bouclier Reguibat, stable depuis 1800 à 2000 Ma (Bitam et Fabre, 1996) et un bouclier relativement plus jeune : le Bouclier Targui formé entre 750 Ma et 600 Ma par le collage de blocs (terrane) de compositions et d'âges différents séparés par de grands accidents subméridiens (Black et al., 1994).

a) L'événement panafricain

Cet événement résulte de la collision entre le vieux craton ouest africain et le bouclier Targui. Cette orogénèse aurait provoqué la création et la réactivation dans le socle des failles subméridiennes.

b) Les mouvements anté-hercyniens

Le bassin de Reggane (à l'instar des autres structures de la plateforme saharienne) n'a pas connu de déformations importantes avant la phase tectonique hercynienne. Les seuls événements connus sont liés à des déformations épirogéniques, à des phénomènes glaciaires ou à des rejeux d'accidents cassants du socle, et sont exprimés par des discontinuités dans la couverture paléozoïque. La succession des principaux événements est la suivante :

❖ La phase caradocienne

Dans la région d'étude, comme dans l'ensemble du Sahara, des mouvements de la plate-forme saharienne se sont produits pendant le Caradoc (440 Ma). Ces mouvements se sont traduits par une importante érosion des formations cambro-ordoviciennes (plus de 350 m de grès ont été érodés dans le Bled el Mass). Ces déformations sont considérées comme les contre-coups de la phase taconique dans les Appalaches et le Sud des Mauritanides (Fabre, 1976).

❖ La glaciation fini-ordovicienne

A la fin de l'Ordovicien, une calotte glaciaire de type inlandsis s'est installée sur une grande partie de la plate-forme saharienne. Une importante érosion des formations sédimentaires a accompagné cet épisode glaciaire (Rognon et al., 1968).

❖ La phase ardennaise

A la fin de Silurien et au début de Dévonien, les bordures nord du Hoggar (incluant une partie de l'actuel bassin de Reggane) ont subi les effets lointains de la phase calédonienne majeure (phase ardennaise). Ceci s'est traduit par des ondulations à grand rayon de courbure et à de légères flexures dans la couverture sédimentaire (Beuf et al., 1968).

c) La phase hercynienne

La phase hercynienne est responsable de l'architecture actuelle du bassin de Reggane. Cette phase, qui s'est manifestée par la formation de plis de couverture, a affecté la zone de suture qui unit les deux cratons (craton ouest-africain et bouclier Touareg), ce qui correspond aux flancs Nord-Est (bourrelet Tazoult-Azrafil) et Est (zone haute du Bled El Mass et Azzel Matti) du bassin de Reggane. Les déformations liées à cette phase ont été induites par des mouvements verticaux dus à la réactivation de failles du socle. Cette importante phase tectonique est mal datée en l'absence de sédiments post-carbonifère dans la région. Elle s'est produite après le Stéphanien (dernier étage du Paléozoïque représenté dans la région et affecté par cette phase tectonique) et avant l'émission des dolérites du Jurassique inférieur (Fabre, 1976; Conrad, 1981; Donzeau et al., 1981).

C'est durant cette même période de la fin du Paléozoïque (Permo-Carbonifère) que s'est produits des mouvements verticaux de grande amplitude qui sont responsables de la formation et de l'individualisation du bassin de Reggane (Fabre, 1976; Donzeau et al., 1981).

d) Les mouvements post-hercyniens

Il s'agit principalement de la phase de distension, liée à l'ouverture de l'Atlantique, et d'une phase de plissement, difficile à dater et affectant le Crétacé inférieur (attribuée à la phase autrichienne).

❖ La distension du Jurassique inférieur

Une importante activité magmatique a accompagné les stades précoces de l'ouverture de l'Atlantique central au début du Jurassique (Piqué et Lavelle, 1995). Ce magmatisme, bien connu en Afrique de l'ouest, en Amérique du Nord et au Brésil, a aussi affecté l'Ouest de la plate-forme saharienne en Algérie (Fabre, 1976). Cette phase de distension a ainsi affecté le bassin de Reggane, marquée par la mise en place du magmatisme qui fait l'objet de notre étude.

❖ La phase autrichienne

Bien connue au Sahara central (bassins triasiques), cette phase tectonique est très peu marquée dans la région et affecte le Crétacé inférieur (anticlinaux à faible pendage). Elle pourrait correspondre à des rejeux le long des grandes fractures NE et ENE (Conrad, 1981).

I.2. Le magmatisme mésozoïque du bassin de Reggane

I.2.1. Nature des roches magmatiques dans le bassin de Reggane

Le bassin de Reggane a connu une intense activité magmatique liée aux stades précoces de l'ouverture de l'Atlantique central il y a environ 200 Ma (début du Jurassique). Cette activité magmatique s'est traduite par la mise en place principalement de dolérites. Ces roches magmatiques sont en général massives et compactes, grises ou noires, intermédiaires entre les gabbros grenus, et les basaltes microlitiques. Elles sont de ce fait caractérisées par une texture microgrenue qui leur est spécifique appelée texture doléritique. Les dolérites sont essentiellement constituées par des plagioclases basiques (labrador), de l'augite (pyroxène) et parfois de l'olivine. Par altération, elles donnent des roches vertes appelées diabases ou ophites.

Les dolérites sont par conséquent des roches intrusives de semi profondeur, se présentant soit en gisements massifs : *laccolites* et *lopolites*, soit en couches ramifiées : *sills* et *dykes*. C'est sur cette dernière forme que se présentent les venues doléritiques du bassin de Reggane.

I.2.2. Modes de Gisement

a) En affleurement

Les roches éruptives affleurent en surface sur le flanc oriental redressé du bassin de Reggane (l'axe Aïn Chebbi-Hassi Taïbine à l'est, et dans le Touat au nord-est). Elles se présentent sous forme de sills et de dykes (figure 1.4) :

- dans le Touat, à 85 km au nord-ouest de Reggane, *deux sills de dolérite*, l'un interstratifié dans les couches du Famennien, et le second dans le Namurien, sont reliés par un *dyke*, qui recoupe le Dévonien et le Viséen jusqu'au Namurien ;
- un autre *système de sills* et de *dykes doléritiques* affleure à quelques kilomètres à l'est et au sud-est de Reggane. Ce système, bien représenté sur la carte géologique au 1/200.000 de Reggane, comprend :
 - *le sill d'Aïn ech Chebbi*, de direction nord-sud, qui se suit sur une dizaine de kilomètres et s'interstratifié dans le Tournaisien ;
 - *les dykes de Hassi Taïbine*, qui recoupent toute la série paléozoïque jusqu'au Namurien continental. Il s'agit principalement de *deux dykes* orientés NE-SO, qui se rejoignent au sud-ouest dans le Namurien inférieur. *Le premier dyke*, orienté N50, recoupe *un sill* de direction N-S interstratifié dans le Namurien supérieur. A l'est, *ce dyke* semble alimenter *un second sill* de direction N-S interstratifié dans le Famennien. *Le second dyke*, de direction N70, communique avec *un sill* de direction N-S, dont l'extension et l'épaisseur semblent être considérable. *Ce sill* s'interstratifie dans les formations du Famennien et du Tournaisien, en épousant la forme plissée des roches encaissantes, et se suit sur plus de 100 km au sud ;
 - à une cinquantaine de kilomètres au sud-est de Reggane, un *dyke* orienté NE-SO (30°N), recoupe les séries du Tournaisien et du Viséen, et se suit sur plus de 20 kilomètres.

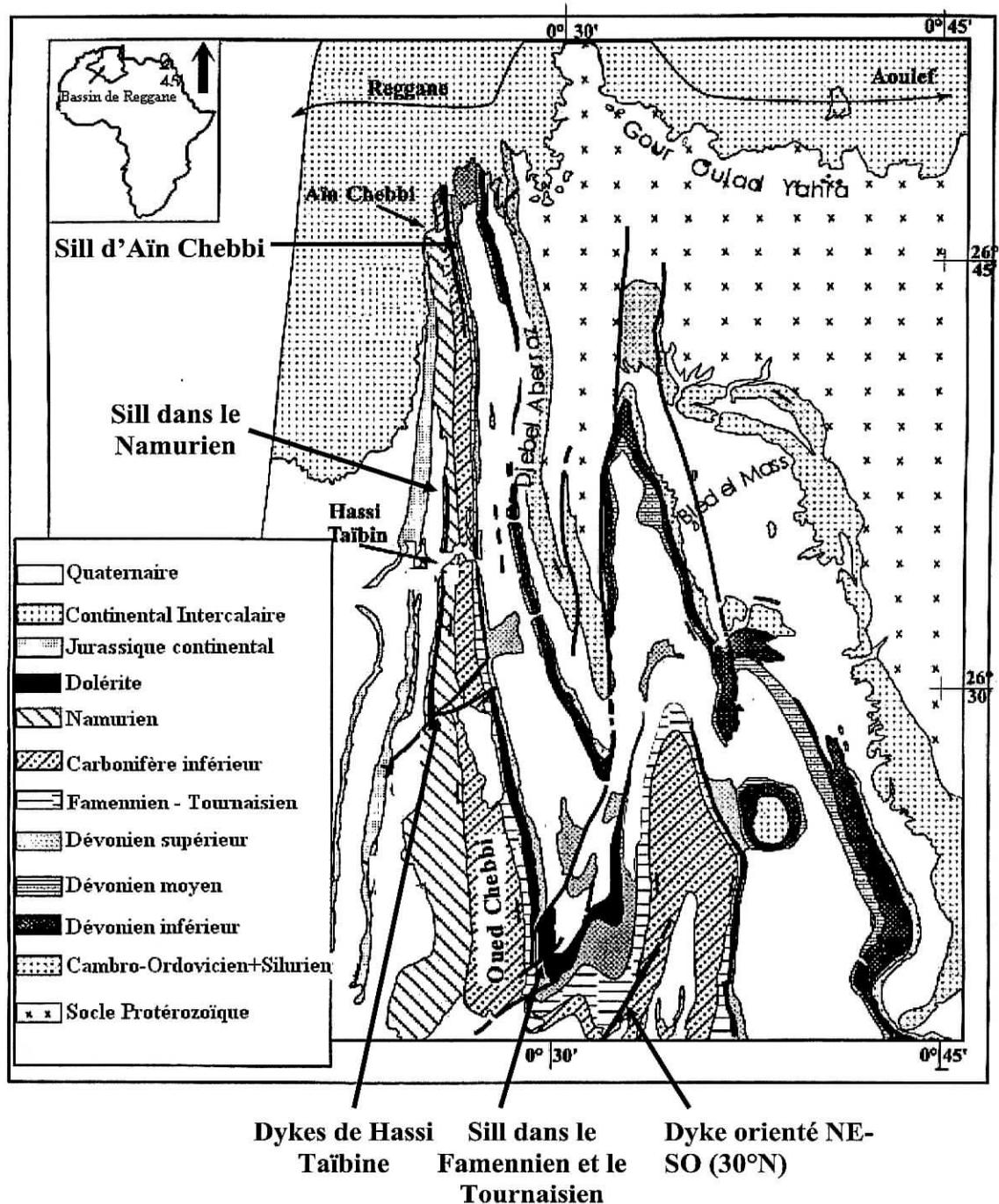


Figure 1.4 : Esquisse géologique de la région de Bled el Mass (Bassin de Reggane) montrant la localisation des sills et des dykes doléritiques (Smith et al., 1998)

b) En sub-surface

❖ Mise en évidence des dolérites en sub-surface

En subsurface les dolérites peuvent être mises en évidence grâce à deux techniques : les diagraphies conventionnelles et la sismique réflexion.

Les dolérites sont des roches très peu radioactives et très compactes, elles sont de ce fait caractérisées par des réponses « courtes » lorsque des diagraphies, telles que le «Gamma ray» et le «sonic» sont appliquées. Toutefois ce type de diagraphies ne nous permet pas de faire une bonne distinction entre ces roches (dolérites) et les roches sédimentaires telles que les grès propres. La seule distinction possible est la reconnaissance de leurs caractères intrusifs ; les dolérites se mettent en place à l'état de magma et donc à une température élevée. Cette mise en place provoque l'apparition des auréoles de contact (figure 1.5) de part et d'autre de la roche intrusive, ce qui ne pourrait être le cas pour des roches sédimentaires ou même pour des roches extrusives.

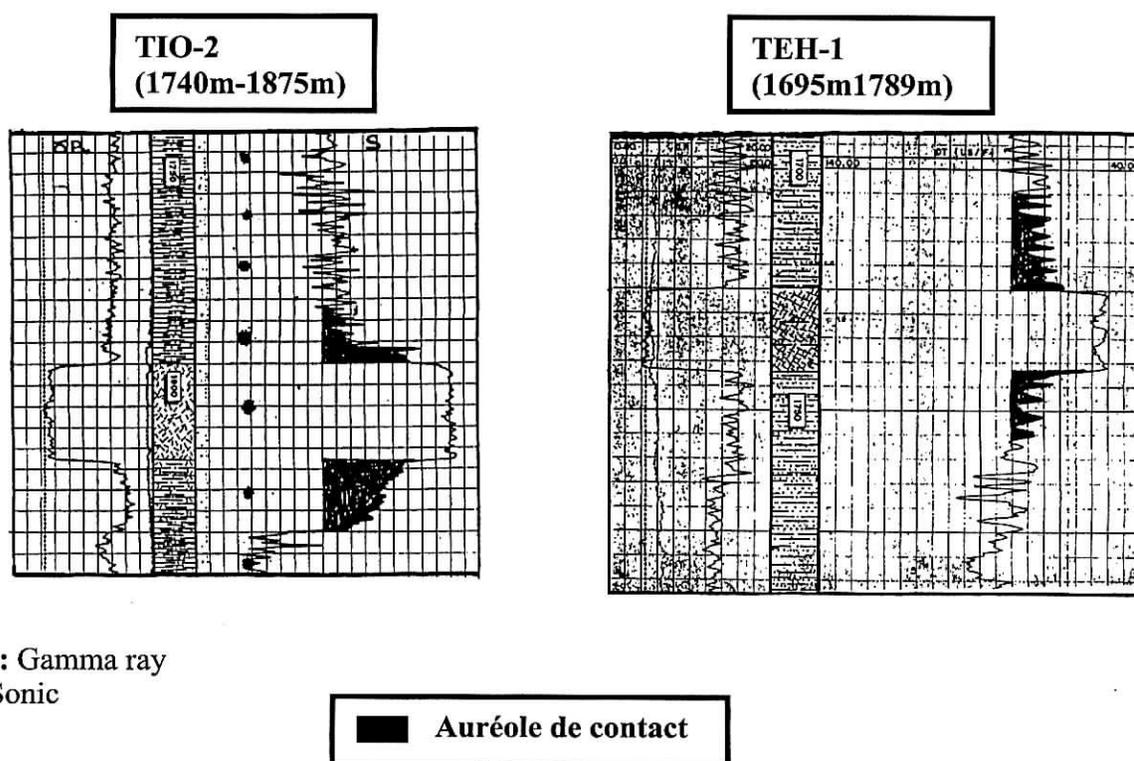


Figure 1.5 : Dolérites vue par Diagraphie (Benseradj, 1996)

En sismique, les dolérites constituent de très bons réflecteurs, en raison du fort contraste lithologique qu'elles provoquent dans la série sédimentaire. Ce sont des roches très denses, qui absorbent une grande partie de l'énergie émise lors de l'acquisition. Grâce à ce caractère, ces roches sont facilement reconnaissables sur les profils sismiques (figure 1.6), tout particulièrement lorsqu'elles changent de niveau ou sont discontinues.

❖ Caractéristiques des dolérites de sub-surface du bassin de Reggane

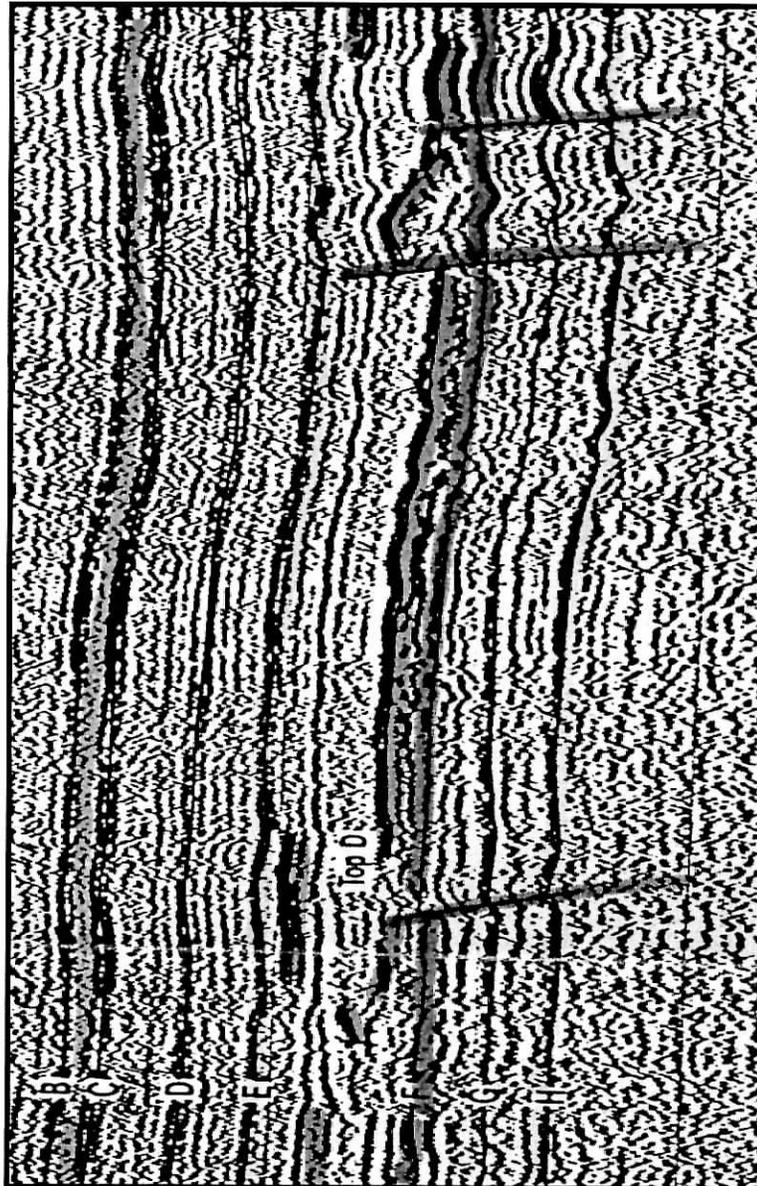
Presque tous les sondages effectués dans le bassin de Reggane ont traversé des dolérites gisant sous forme de dykes ou de sills (figure 1.7). L'examen des log habillés de ces puits (voir tableau A.4) nous a permis de noter que :

- les dolérites sont traversées à des profondeurs variables pouvant aller jusqu'à 3920 m dans le puits DJHN-1 (Nord du bassin) ;
- les dolérites du bassin de Reggane sont surtout répandues dans les séries argileuses du Dévonien supérieur (Famennien) et à moindre degré dans le Carbonifère (Tournaisien, Viséen et Namurien). Seul le puits Br-301 pénètre deux passées de dolérites à 670 m puis à 1004 m de profondeur, situées dans une série donnée comme infracambrienne ;
- certains puits tels que TIO-2, RG-4 et TEH-1 ont traversé des très minces bancs de dolérites dans les dépôts du Dévonien inférieur (Siegénien, Gédinnien) ;
- plusieurs niveaux de dolérites peuvent exister dans une même formation (ou étage) ;
- les épaisseurs varient d'un niveau à l'autre. Elles peuvent être très faibles, comme celles rencontrées dans le Viséen du puits Kl-101 (quelques traces) ou très importantes comme celles du Famennien du puits DJHN-2 où elles atteignent 112 m.

I.2.3. Caractéristiques Pétrographiques des dolérites du bassin de Reggane

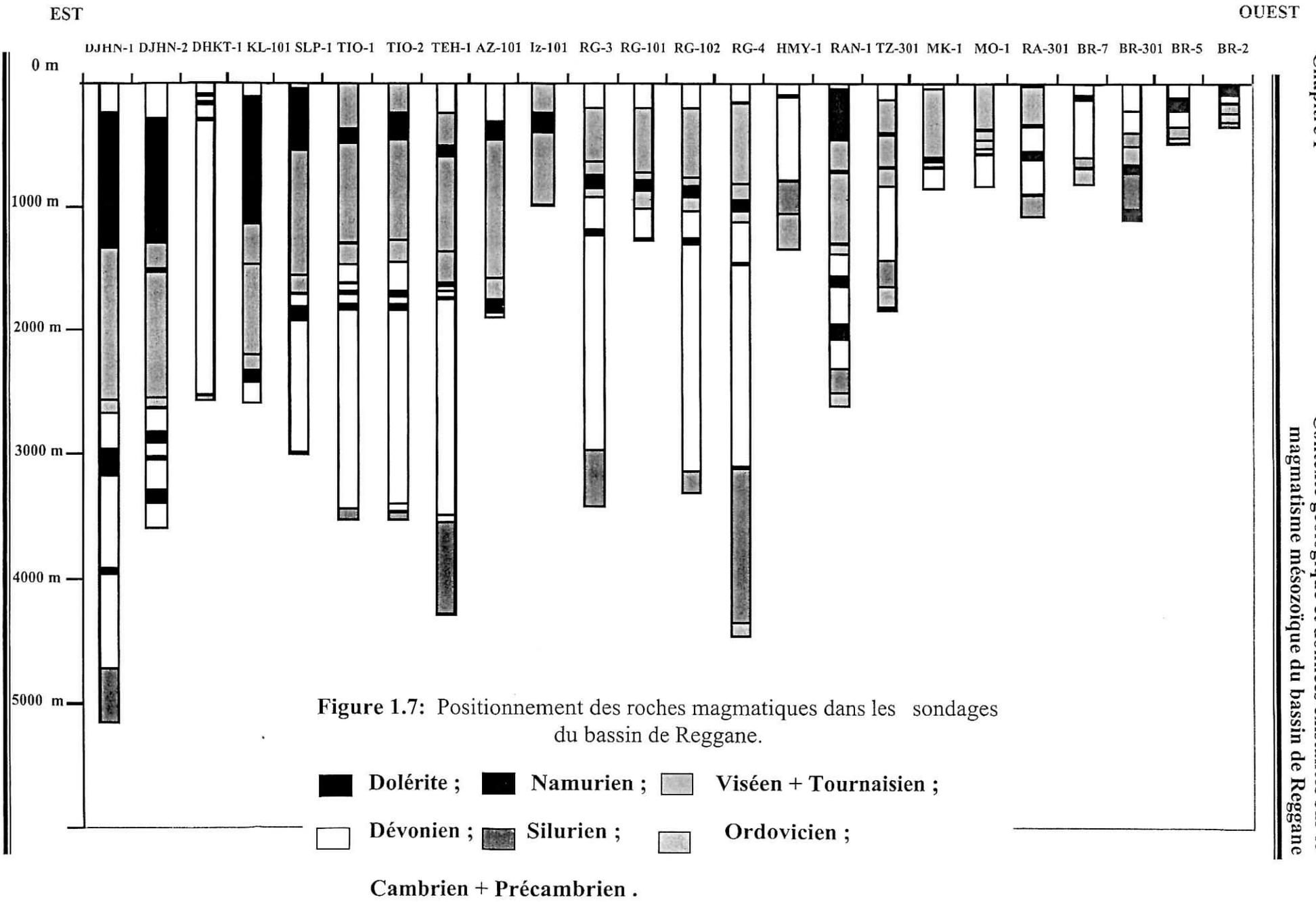
Une étude pétrographique effectuée sur des échantillons prélevés aussi bien en affleurement (dyke de Hassi Taïbine et sill d'Aïn Chebbi) qu'en sondage (puits RAN-1 et sondages S-28 et S-29 de la région de Brini) (Chabou, 2001) a montré que les roches étudiées sont des basaltes à texture doléritique, intersertale ou ophitique. Les principaux minéraux sont le plagioclase (labrador), l'augite et les oxydes de fer essentiellement de la magnétite et de l'ilménite. Les minéraux d'altération sont principalement la chlorite, la calcite, l'épidote et dans certains cas la séricite, le talc et la serpentine (figure 1.8).

Une autre étude faite par la SONATRACH (Benseradj, 1996) effectuée sur des échantillons prélevés en affleurement dans le Bled El Mass (dyke de Hassi Taïbine et sill d'Aïn Chebbi) et au Djebel Ahmar (Touat) a montré que ces roches sont des dolérites caractérisées par une structure ophitique à sub-ophitique. Les principaux minéraux sont les plagioclases et les clinopyroxènes, avec accessoirement de l'orthopyroxène, du feldspath potassique, du quartz secondaire, des oxydes de fer, de l'olivine et de l'apatite.

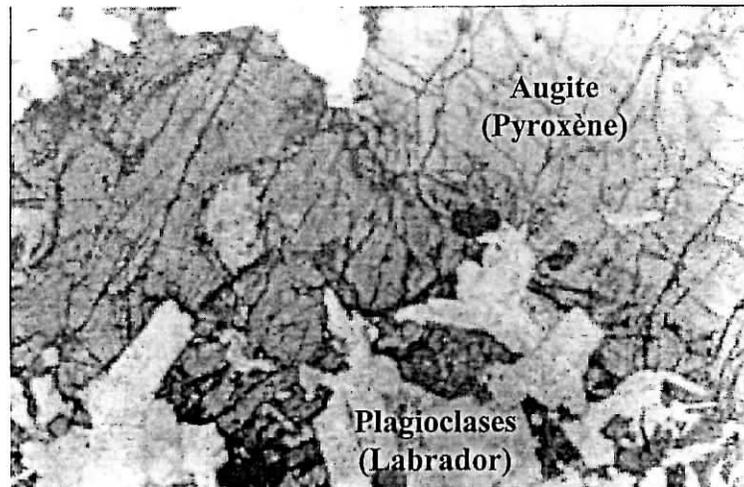


■ Dolerites

Figure 1.6 : Les dolérites vue par section sismiques (section 79bb47)



(a)



(b)

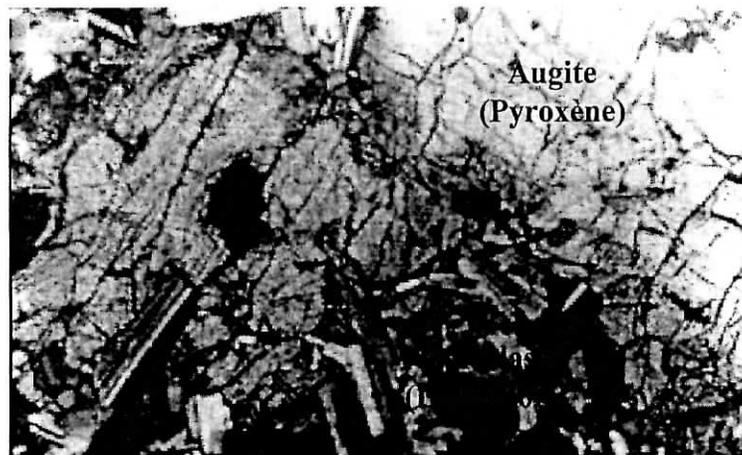


Figure 1.8: Lame mince de l'échantillon S29 (Brini, sud de Reggane)
(a) en lumière naturelle, (b) en lumière polarisée
Texture : doléritique
(Grossissement : 32x) (Chabou, 2001).

I.2.4. Caractéristiques géochimiques des dolérites du bassin de Reggane

Des analyses géochimiques en éléments majeurs ont été effectuées sur plusieurs échantillons du bassin de Reggane (tableau 1.1)(Chabou, 2001 ; Benseradj, 1996). Ces analyses nous permettent de résumer les principales caractéristiques géochimiques de ces roches.

- Avec des teneurs en SiO₂ comprises entre 48,75 et 52,73 %, toutes les roches analysées correspondent à des basaltes.
- Dans le diagramme TAS (LeBas et al., 1986), les échantillons analysés occupent essentiellement le domaine des basaltes et des basaltes andésitiques (figure 1.9).
- Les calculs normatifs CIPW (Cross, Iddings, Pirsson et Washington) indiquent que l'ensemble des roches sont à quartz normatif ($0,69 \leq Q_{norm} \leq 8,064$) (Tableau 1.1). Ces roches occupent le domaine des tholéiites saturées en silice dans le diagramme de Yoder et Tilley (tholéiites à quartz) (figure 1.10).
- Dans le diagramme AFM (Irvine et Baragar, 1971), tous les échantillons se projettent dans le domaine tholéiitique (figure 1.11).
- Dans le diagramme TiO₂-MnO-P₂O₅ (Mullen, 1983) les points représentatifs des échantillons analysés se placent, pour la plupart, entre le champ des tholéiites d'arc insulaire et le domaine des basaltes des rides médio-océanique (M.O.R.B) (figure 1.12).

En résumé, ces caractéristiques et les différents diagrammes indiquent que les roches éruptives du bassin de Reggane sont des *tholéiites à quartz pauvres en titane (LTi de la province magmatique de l'Atlantique central)*.

I.2.5. Données Géochronologiques

Quelques datations géochronologiques par la méthode K-Ar ont été effectuées sur ces roches, et sont indiquées dans le tableau 1.2. Les résultats publiés par J. Conrad (1972, 1984) indiquent un âge jurassique (164 à 192 Ma) pour deux échantillons du Touat et un autre de la région de Reggane.

Une étude inédite plus récente de la SONATRACH (Benseradj, 1996) sur ces mêmes roches confirme leur âge Mésozoïque. De plus, les résultats de mesures effectuées sur les roches plus fraîches (les sills d'Aïn ech Chebbi et le dyke de Hassi Taïbine) sont identiques à celles des autres régions de la PMAC (199 à 201 Ma) et indiquent que toutes les roches de la région de Reggane, à l'instar des autres roches de la PMAC, se sont probablement mises en place à la limite Trias-Jurassique.

En outre, une étude paléomagnétique effectuée sur les dolérites du bassin de Reggane a confirmé leur âge jurassique (limite Trias-Jurassique) (Smith et al., 1998).

I.2.6. Mécanisme de mise en place

Les sills de dolérites se mettent en place de préférence dans les séries argileuses, plus exactement dans les argiles du Dévonien Supérieur (Famennien) et du Carbonifère (Strunien, Tournaisien, Viséen, Namurien) qui ont des épaisseurs très importantes, souvent supérieures à 1000 m (surtout le Famennien). Ainsi, il est possible que l'épaisseur importante de ces formations sédimentaires dans le bassin de Reggane a favorisé le dépôt des roches magmatiques car la quantité de leur mise en place augmente lorsque les dimensions de l'intervalle sédimentaire venait à augmenter également (Boucheneb, 1989).

Une autre explication met en cause le phénomène de sous-compaction qui caractérise les argiles du Dévonien supérieur et du Carbonifère du bassin de Reggane. Les zones de sous compaction sont anormalement riches en eau et très perméables. Ils absorbent facilement les coulées magmatiques en leur sein (Benseradj, 1996).

Enfin, les roches intrusives s'interstratifier dans les sédiments dès que la compaction est inférieure à l'énergie où à la pression de la masse magmatique (Jacquemont, 1971). Les niveaux perméables doivent alors absorber la totalité du magma et c'est probablement la raison pour laquelle on ne connaît pas dans cette région des dolérites dans des niveaux plus jeunes que le Carbonifère inférieur, la montée n'a pas dépassé un certain niveau parce qu'elle s'est trouvée entièrement absorbée avant (Jacquemont, 1971).

I.2.7. Conclusion

Le bassin de Reggane a été le siège d'une importante activité magmatique finitriasique, qui s'est manifestée sous forme de dykes et de sills. La série primaire du bassin est recoupée par des dykes auxquels sont associés des sills qui se sont mis en place surtout dans les couches du Dévonien supérieur (Famennien) et du Carbonifère (Tournaisien et Viséen).

L'importance de ce magmatisme dans le bassin de Reggane a été sous-estimée, car la plus grande partie des roches magmatiques se trouve en sub-surface. Or, ce magmatisme s'est répandu sur l'ensemble du bassin en atteignant une superficie de 140 000 km².

	AB-1	HTB	ACB	RAN-1	S-28	S-29	M2304	M2303	M1401-H	M1401-T	M1408-H	A3006
SiO ₂	52,2	49,19	52,07	48,75	51,51	51,39	51,98	53,23	51,82	52,73	52,3	52,28
TiO ₂	1,303	1,223	1,163	0,93	0,835	0,858	1,15	1,29	1,08	1,17	1,16	1,14
Al ₂ O ₃	13,49	12,98	14,42	13,46	16,15	14,83	14,49	13,98	14,28	14,31	14,26	14,92
FeO*	12,53	11,66	10,86	10,65	8,39	9,44	10,087	11,13	10,171	10,47	10,38	9,352
MnO	0,199	0,188	0,134	0,185	0,142	0,154	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,15
MgO	5,65	5,49	6,1	7,79	6,64	7,51	7,01	5,72	7,64	6,17	6,95	6,52
CaO	8,98	9,28	9,94	11,82	11,45	10,94	10,38	9,48	10,54	9,74	10,44	10,91
Na ₂ O	2,76	2,49	2,2	2,1	2,74	2,25	2,28	2,44	2,12	2,36	2,14	2,11
K ₂ O	0,85	0,69	1,53	0,34	0,64	0,58	0,67	0,81	0,67	0,88	0,66	0,85
P ₂ O ₅	0,174	0,145	0,14	0,097	0,128	0,131	0,14	0,16	0,13	0,14	0,14	0,14
PAF	1,1	7,2	1,1	3,2	1,2	0,7	0,7	1	0,7	1,3	1,10	1
Total	99,236	100,68	99,89	99,52	99,825	98,783	99,31	99,8	99,6	99,75	99,89	99,80
Quartz	4,90	4,07	4,40	0,69	1,51	3,23	4,164	8,064	3,828	6,116	4,285	7,100
Orthose	5,02	9,04	4,08	2,01	3,78	3,43	3,960	4,787	3,960	5,201	3,901	5,024
Albite	23,35	18,61	21,07	17,77	23,18	19,04	19,281	20,635	17,928	19,958	18,098	17,844
Anorthite	21,91	24,95	22,20	26,29	29,88	28,65	27,329	24,806	27,474	25,858	27,359	28,733
Nepheline												
Diopside	17,69	19,12	18,79	25,72	21,03	20,00	18,917	17,259	19,441	17,572	19,259	19,571
Hypersthène	17,32	15,54	15,29	17,29	13,36	17,66	18,642	14,778	19,874	16,707	20,609	11,838
Olivine												
Magnétite	4,06	3,86	3,94	3,52	3,38	3,41	3,812	5,652	4,044	4,493	2,754	6,203
Ilménite	2,47	2,2	2,32	1,77	1,59	1,63	2,185	2,451	2,052	2,223	2,204	2,166
Apatite	0,40	0,32	0,33	0,22	0,30	0,30	0,331	0,379	0,308	0,331	0,331	0,331

Tableau 1.1: Synthèse des analyses géochimiques des roches magmatiques du bassin de Reggane. **AB-1, ACB, M2304 et M2303** : Sill d'Aïn ech Chebbi. **M1401-T** : Sill au nord de Hassi Taïbine. **M1401-H, M1408-H et HTB** : Dyke de Hassi Taïbine. **A3006** : Dyke de dolérite, dans le Touat (Adrar, nord-est du bassin de Reggane). **RAN-1** : Sill dans le Viséen du sondage RAN-1 (707 m). **S-28 et S-29** : Sill sous les formations récentes dans la région de Brini (Sud du Bassin de Reggane). **PAF** = Perte au feu. **Références** : Echantillons Ab-1, ACB, HTB, RAN-1, S-28 et S-29 (Chabou, 2001). Echantillons M2304, M2303, M1401-H, M1401-T, M1408-H et A3006 (Benseradj, 1996).

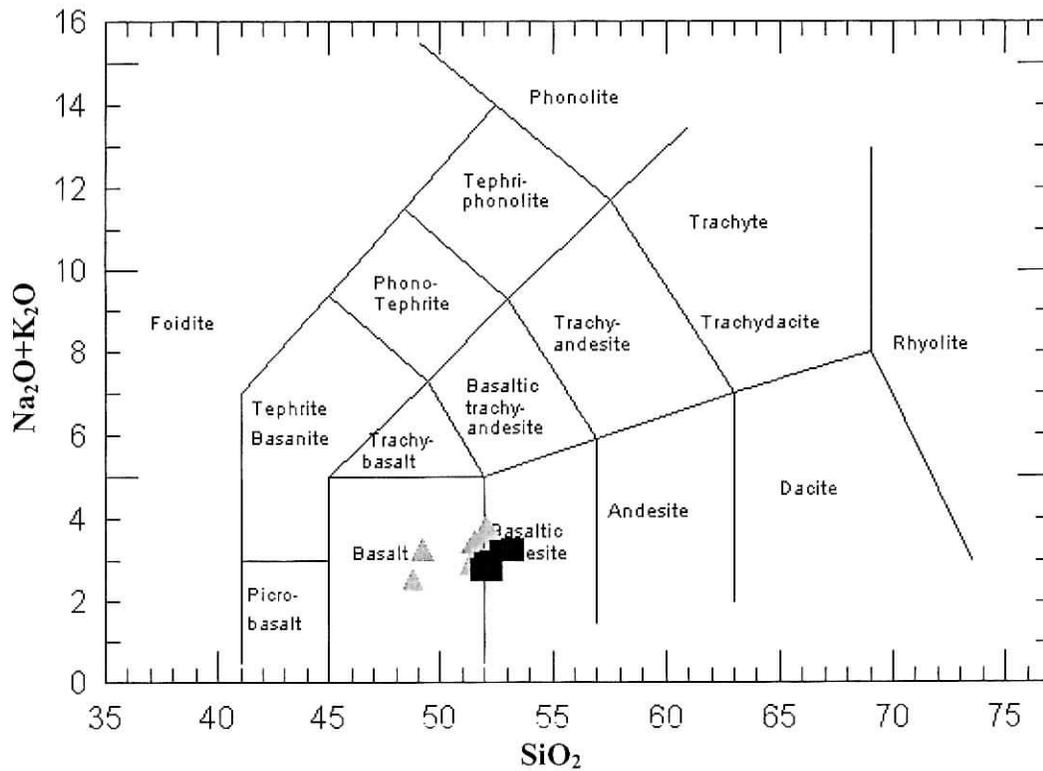


Figure 1.9 : Classification des roches magmatiques triasico-liasiques du bassin de Reggane dans le diagramme TAS (Ce diagramme, ainsi que ceux qui vont suivre, ont été réalisés avec le logiciel IGPET).

Légende :

▲ : Echantillons HTB, ACB, AB-1, RAN-1, S-28 et S-29 étudiés par M.C. CHABOU (2001)

■ : Echantillons M2304, M2303, M1401-T, M1401-H, M1408-H et A3006 étudiés par la JNOC (Benseradj, 1996)

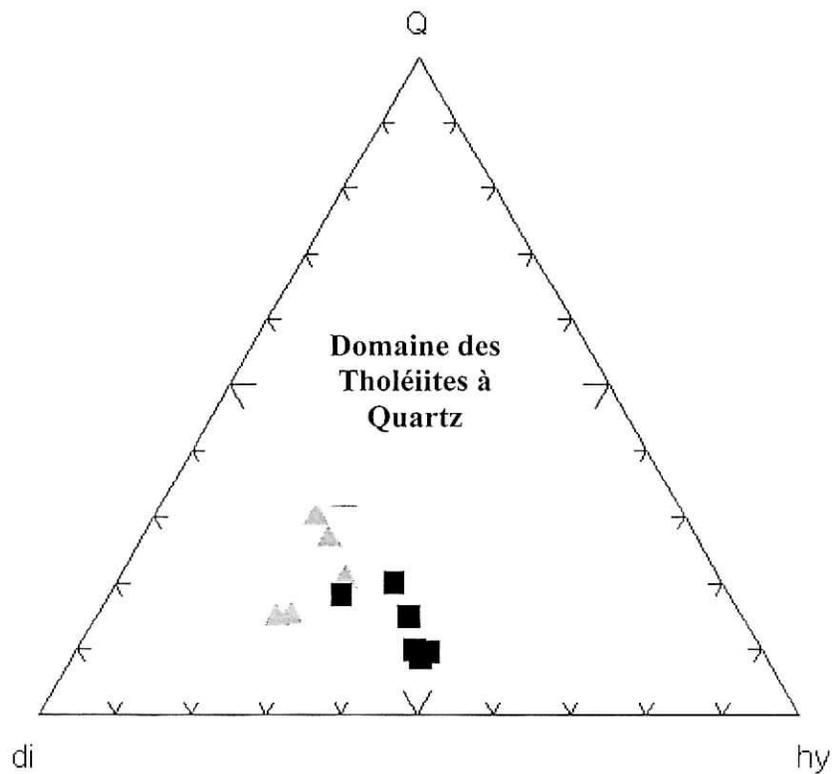


Figure 1.10 : Composition normative des roches magmatiques du bassin de Reggane schématisée dans le diagramme triangulaire di(diopside) hy(hypersthène)-Q(quartz).

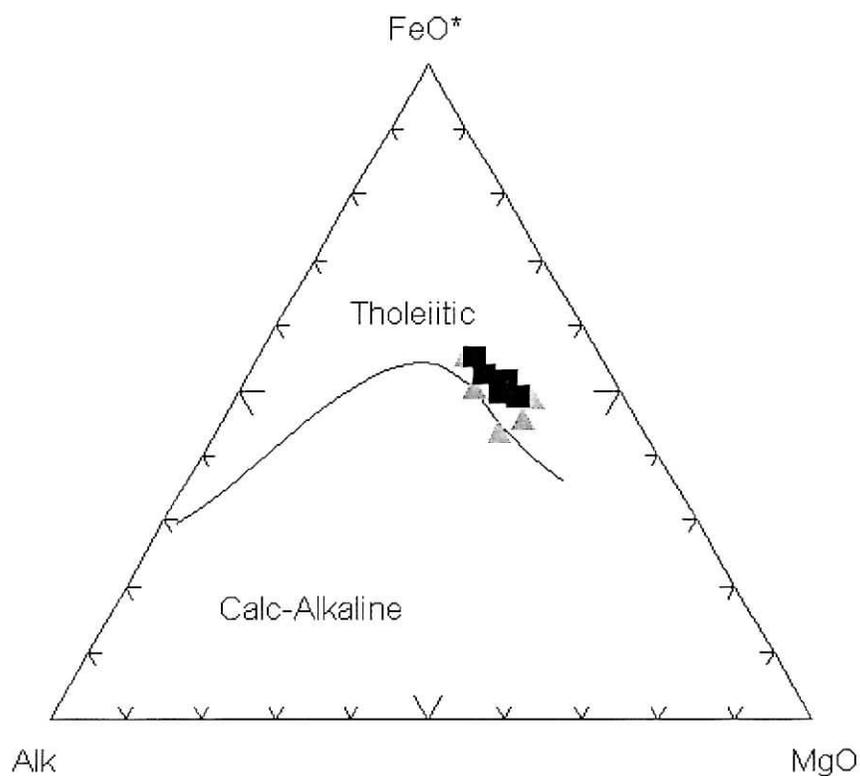


Figure 1.11 : Projection des échantillons dans le diagramme AFM d'Irvine et Baragar.

Alk = $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$.

*FeO** = fer total exprimé en FeO.

Tholeiitic : domaine des roches tholéiitiques.

Calc-Alkaline : domaine des roches calco-alcalines.

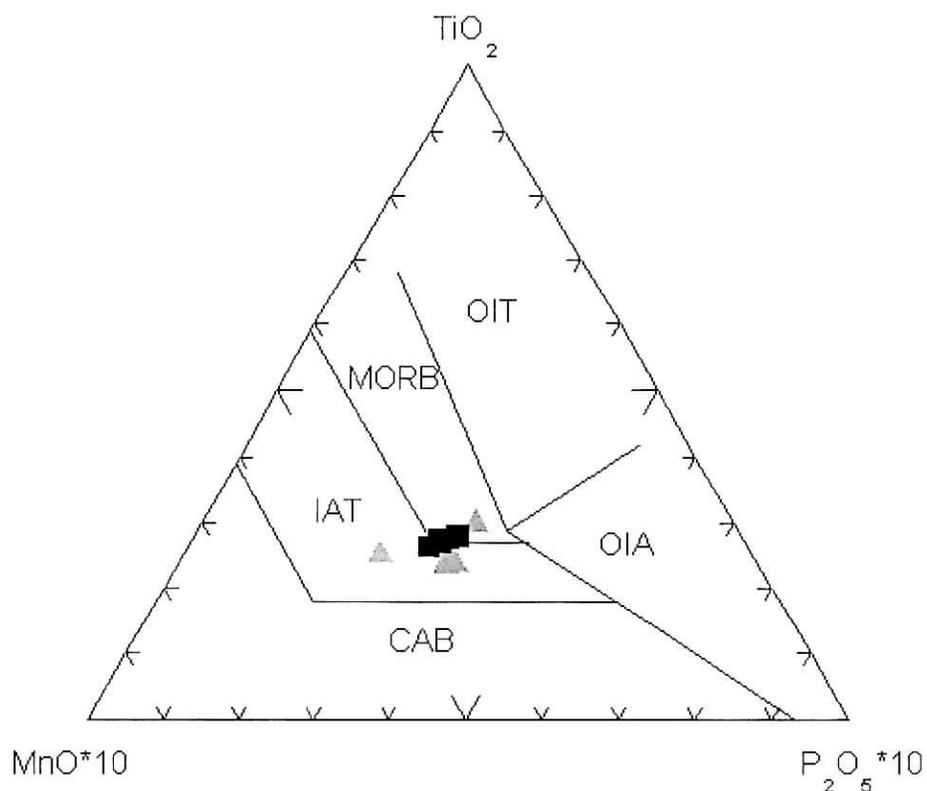


Figure 1.12 : Répartition des roches magmatiques triasico-liasiques du bassin de Reggane dans le diagramme triangulaire TiO_2 - MnO - P_2O_5 de Mullen.

OIA : basaltes alcalins des îles océaniques (ocean island alkali basalt) ; **OIT** : tholéiites des îles océaniques (ocean island tholeiite) ; **MORB** : basaltes des rides médio-océaniques (mid-ocean ridge basalt) ; **IAT** : tholéiites d'arc insulaire (island arc tholeiite) ; **CAB** : basaltes calco-alcalins (calc-alkali basalt).

Type de formation	Localisation	Méthode de datation	Nature de l'échantillon	Age (Ma)	Référence
Dolérite	Touat	K-Ar	Roche totale	185	Conrad, 1984
Dolérite	Touat	K-Ar	Roche totale.	192	Conrad, 1984
M 3006	Touat	K-Ar	Roche totale	164 ± 2	Benseradj, 1996
JC-1644 sill	Reggane	K-Ar	Roche totale	168,9	Conrad, 1972
M2304 sill	Reggane	K-Ar	Roche totale	196 ± 5	Benseradj, 1996
M2303 sill	Reggane	K-Ar	Roche totale	202 ± 2	Benseradj, 1996
M1401-H dyke	Reggane	K-Ar	Roche totale	199 ± 2	Benseradj, 1996
M 1401-T sill	Reggane	K-Ar	Roche totale	187 ± 1	Benseradj, 1996
M 1408-H dyke	Reggane	K-Ar	Roche totale	196 ± 3	Benseradj, 1996

Tableau 1.2 : Datation des dolérites du bassin de Reggane.

CHAPITRE II

**Etude de la répartition spatio-temporelle
du magmatisme mésozoïque du bassin
de Reggane**

II.1. Introduction

Pour étudier la répartition spatio-temporelle des intrusions doléritiques dans le bassin de Reggane, il est nécessaire de réaliser des cartes en isopaques et des coupes stratigraphiques.

Les cartes nous donnent une vue en 2D et nous renseignent sur la distribution des intrusions magmatiques dans l'espace ainsi que la localisation des zones infectées par ce magmatisme.

Les coupes stratigraphiques nous donnent une vue en 2D mais nous renseignent aussi sur l'évolution dans le temps de l'activité magmatique.

Il existe un troisième outil qui permet de visualiser la distribution dans l'espace et dans le temps à la fois : c'est le bloc diagramme en 3D qui est une représentation graphique dans l'espace tridimensionnel.

II.2. Réalisation des cartes en isopaques du magmatisme du bassin de Reggane

II.2.1. Méthodologie

La carte en isopaques est la représentation des variations latérales d'épaisseur d'un banc, d'une couche, d'une formation, ou d'un intervalle stratigraphique au moyen des courbes reliant les points d'égale épaisseur. Pour réaliser ce type de carte, on a besoin d'un logiciel et d'une méthode d'interpolation. Le choix de cette dernière dépend du type de données, de la surface à cartographier et du temps de traitement désiré. Dans ce travail on a utilisé le logiciel d'interpolation SURFER 7 et l'inverse du carré de la distance comme méthode d'interpolation.

a) Description du logiciel d'interpolation (d'après Landim, B 2002)

SURFER est un logiciel commercialisé et développé par la Golden Software Inc. Il est utilisé pour la réalisation de cartes à partir des données distribuées dans l'espace.

C'est un important outil pour le technicien ou le chercheur, car il facilite son travail en lui évitant le traçage des cartes avec des règles, des rapporteurs ou autres instruments, réduisant ainsi le temps de ce processus.

Ce programme utilise des algorithmes mathématiques pour produire les courbes et permet d'optimiser le travail de l'utilisateur. Initialement développé sous DOS, il est actuellement utilisé sous WINDOWS. La dernière version de ce logiciel est la version 8, la version utilisée dans ce travail étant la version 7.

❖ Concepts de base

Les cartes qui seront produites par le logiciel SURFER vont s'afficher dans le secteur vide (figure 2.1). Le menu, situé au dessus, permet de sélectionner les procédures pour accéder aux données, réaliser, visualiser et éditer des cartes.

Dans le menu (figure 2.2) on trouve les icônes suivantes :

FILE : dans cette icône on peut trouver les options pour ouvrir, fermer et sauvegarder les fichiers, importer et exporter des fichiers sous différents formats utilisés par SURFER.

EDIT : est utilisé essentiellement pour copier, coller, effacer, sélectionner et identifier des objets (cartes, échelles, légendes, symboles etc.), ou de refaire des procédures exécutées précédemment.

VIEW : est utilisée pour définir la manière de visualiser les figures, les échelles et les règles auxiliaires.

DRAW : Permet d'ajouter des dessins ou un texte aux cartes réalisées.

ARRANGE : utilisé pour la manipulation des objets de la figure, tels que la rotation et l'ordre (superposition) de ces objets.

GRID : ces commandes sont les plus importantes du programme, et sont utilisées pour la réalisation du maillage (quadrillage de la figure).

MAP : contient les outils de visualisation des cartes produites, qui peuvent être : une carte de courbes de niveau, carte de positionnement des points, carte de vecteurs et surface 3-D (wireframe). On peut aussi trouver des commandes permettant la superposition des autres cartes.

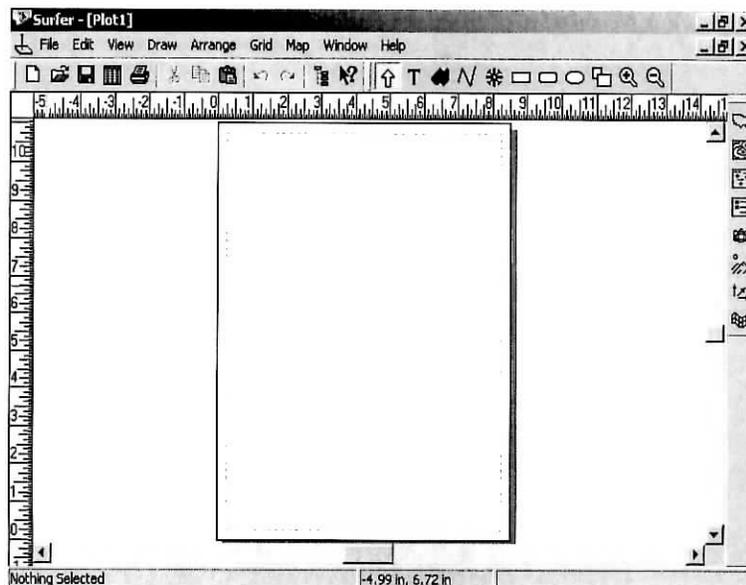


Figure 2.1 : L'écran initial du SURFER 7

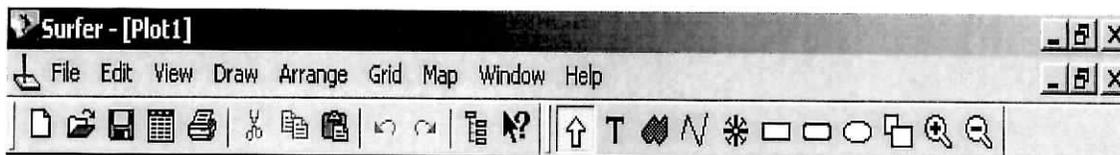


Figure 2.2 : Le menu du programme

WINDOW : utilisé pour l'organisation des fenêtres du tableau de traçage et du tableau de données.

HELP : possède des informations qui peuvent être nécessaires pour comprendre les algorithmes du programme et leur fonctionnement.

❖ **Fichier des Données**

En créant un fichier de données, on peut construire une carte en utilisant les coordonnées spatiales des points désignées successivement par les lettres X, Y et Z. Où X, est la position du point suivant l'axe des ordonnées (EST-OUEST), Y est la position du point suivant l'axe (NORD-SUD), et Z la valeur observée de la variable en ce point.

SURFER possède un tableau pour l'introduction des données. Il est aussi possible d'importer des tableaux de divers logiciel comme Excel ou Grapher.

Pour accéder aux tableaux de données il suffit de sélectionner : FILE | NEW | WORKSHEET (figure 2.3). Lorsque le tableau des données est ouvert, on peut remplir les cellules avec les données, et placer des étiquettes dans la première ligne des colonnes avec le nom de variables (figure 2.4). D'habitude la première colonne contient les valeurs de X, la seconde les valeurs Y et dans la troisième les valeurs de la variable Z. On peut introduire dans le tableau diverses variables Zi, mais le programme exécute seulement une variable à la fois (figure 2.5).

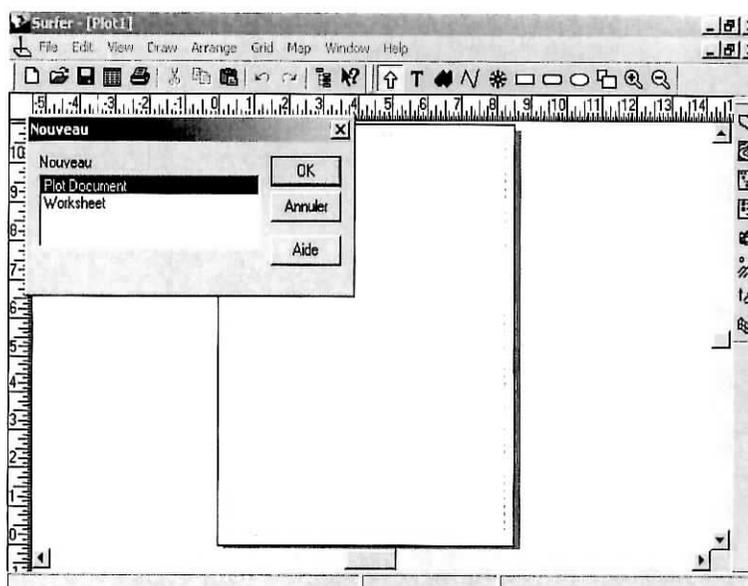


Figure 2.3 : Ouverture du tableau des données

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Puits	X(m)	Y(m)	Ev				
2	AZ-101	824777,32	2961134,1	0				
3	AZSE-1	828106,19	2959740,9	27,5				
4	EOB-1	845778,21	2896447,0	0				
5	DJHN-1	706137,07	3035178,6	36				
6	DJHN-2	712419,33	3024571,3	22				
7	I2-1	783420,42	3003941,9	0				
8	I2-2	811365,08	3000970,1	0				
9	I2-4	812352,64	3001183,6	0				
10	I2-5	812830,81	3005201,2	0				
11	I2-101	785022,04	2997786,9	103				
12	KL-101	751817,36	2972067,1	2				
13	KT-1	683488,49	3088660,7	0				
14	KT-2	683346,98	3083579,0	0				
15	KT-2-bis	682449,96	3081379,7	0				
16	KT-3	679960,89	3079464,5	0				
17	KT-6	652557,11	2955333,0	0				
18	KT-7	694215,21	2931801,5	100				

Figure 2.4 : Exemple de tableau de données

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Puits	X(m)	Y(m)	Ev	Em			
2	AZ-101	824777,32	2961134,1	0	1171			
3	AZSE-1	828106,19	2959740,9	27,5	1120			
4	EOB-1	845778,21	2896447,0	0	400			
5	DJHN-1	706137,07	3035178,6	36	1379			
6	DJHN-2	712419,33	3024571,3	22	1331			
7	I2-1	783420,42	3003941,9	0	175,7			
8	I2-2	811365,08	3000970,1	0	150,7			
9	I2-4	812352,64	3001183,6	0	92,5			
10	I2-5	812830,81	3005201,2	0	176,5			
11	I2-101	785022,04	2997786,9	103	975			
12	KL-101	751817,36	2972067,1	2	1050			
13	KT-1	683488,49	3088660,7	0	274			
14	KT-2	683346,98	3083579,0	0	31			
15	KT-2-bis	682449,96	3081379,7	0	340			
16	KT-3	679960,89	3079464,5	0	337			
17	KT-6	652557,11	2955333,0	0	299			
18	KT-7	694215,21	2931801,5	100	447			

Figure 2.5 : Exemple du tableau de données à plusieurs variables

La valeur de la variable Z dépend des coordonnées X et Y, c-à-d à chaque valeur de Z correspond un point du plan ayant pour coordonnées (X, Y). Cette valeur de Z peut être la teneur du minerais, la vitesse de propagation des ondes, la côte topographique ou toute autre

variable. Si on utilise plusieurs variable (Z_i), on peut les ajouter dans des colonnes successives (figure 2.5).

On peut effectuer des modifications sur la cellule sélectionnée B6 (colonne B, ligne 6) (figure 2.5), en changeant sa valeur.

En exécutant la commande `FORMAT | CELL PROPERTIES` on peut changer les propriétés des cellules sélectionnée, on peut ainsi modifier le format numérique (décimales, par exemple); l'alignement (`ALIGNMENT`) et la couleur de fond (`BACKGROUND`). Le menu format (`FORMAT`) présente encore des possibilités de changer la largeur de la ligne ou de la colonne.

L'icône `DATE`, possède plusieurs commandes à savoir :

`SORT` : permet de classer les données par ordre croissant ou décroissant ;

`TRANSFORM` : permet de créer une nouvelle colonne qui est le résultat d'opérations mathématiques des autres colonnes.

`STATISTICS` : présente les statistiques d'une colonne, ligne, de tout le tableau ou une partie sélectionnée par l'utilisateur.

L'icône `EDIT` du tableau des données (Worksheet) présente des options de nettoyage (`CLEAR`), d'insertion (`INSERT`) ou d'effacement (`DELETE`) des lignes, colonnes ou d'une partie du tableau.

`SURFER` présente divers formats pour l'enregistrement des données. De préférence, on utilise le format du tableur Excel (`.xls`), on peut également utiliser le format de données de `SURFER`, d'extension (`.dat`).

Après avoir enregistré les données, cette fenêtre peut être fermée et on passe par la suite au tableau de traçage (`Plot Document`).

❖ Cartographie

La partie la plus importante dans la réalisation des cartes est le choix de la méthode d'interpolation. Différentes méthodes existent et produisent des résultats différents.

La première étape est de sélectionner le fichier des données par la commande `GRID|DATA` (figure 2.6), par la suite on ouvre le fichier en sélectionnant la commande `OUVRIR`.

Dans le menu `SCATTERED DATA` (figure 2.7) on peut trouver les options liées aux données.

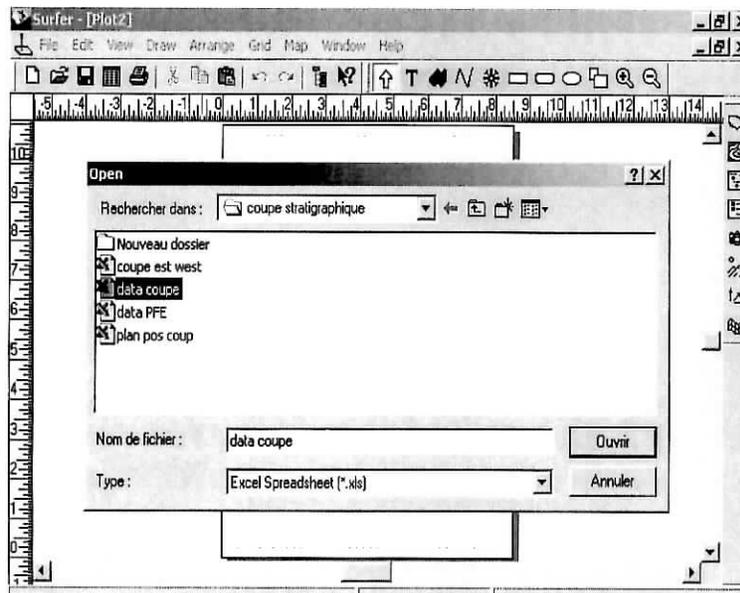


Figure 2.6 : Ouverture du fichier de données

❖ Les méthodes d'interpolation

Après la vérification des données, on doit définir la maille d'interpolation, les limites maximales et minimales de cette maille et l'espacement des points. Le choix de la méthode d'interpolation est très important pour la réalisation de la carte (figure 2.7).

SURFER dispose de diverses méthodes d'interpolation, à savoir :

- le Krigeage ;
- l'inverse du carré de la distance;
- Méthode de SPLINE, qui fournit un résultat raisonnable pour une rapide évaluation du comportement spatial de la variable.

Après la sélection de la méthode d'interpolation et les options, on clique sur la touche OK, pour produire un fichier de la maille d'échantillonnage d'extension (.grd).

❖ Carte des courbes de niveau

La carte des courbes de niveau, présente des courbes d'isovaleurs, appelées isolignes. Par exemple, la courbe "70"(figure 2.8) représente les points ayant des valeurs de la variable égale à 70 unités.

L'option de couleurs permet une meilleure visualisation des grandes et petites valeurs de la variable.

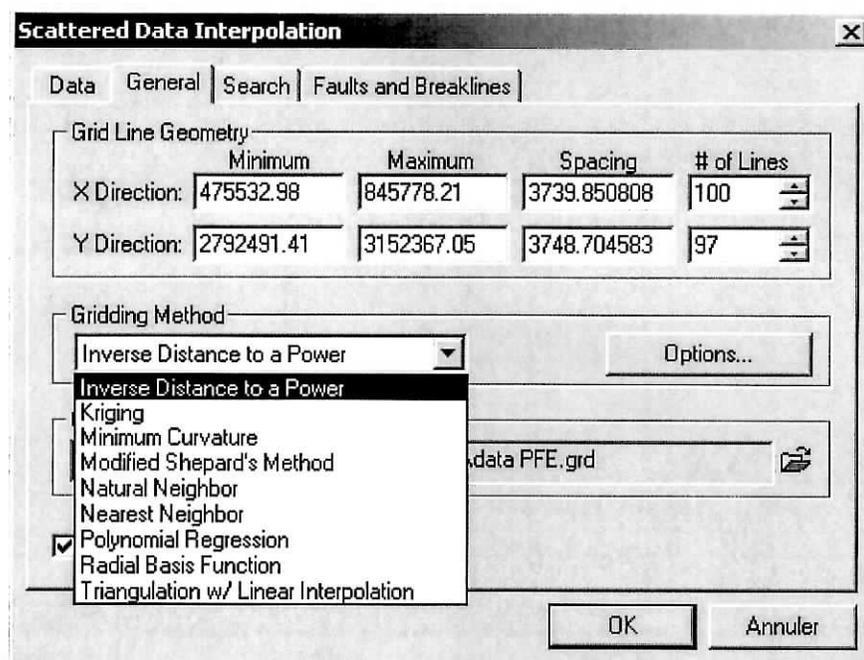


Figure 2.7 : Méthodes d'interpolation disponible

❖ **Création de la carte**

Pour créer la carte, il suffit de choisir l'option NEW CONTOUR MAP de la commande MAP| CONTOUR MAP, et de choisir le fichier de la maille (.grd), produit par la procédure précédente d'interpolation.

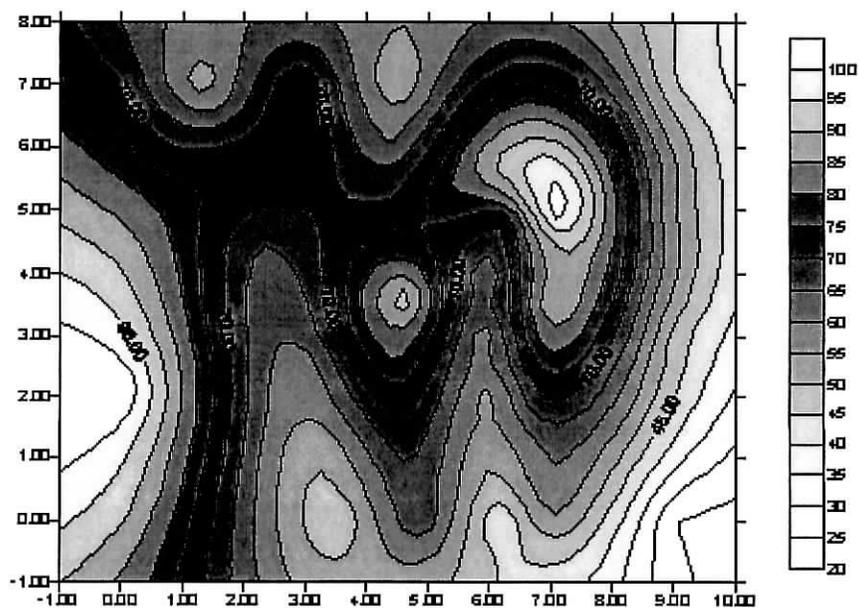


Figure 2.8 : Cartes des courbes de niveau

❖ **Édition de la carte**

La carte produite peut être éditée en double cliquant sur elle même ou a partir de menu DRAW et ARRANGE.

Avec ces outils il est possible de choisir les couleurs, changer les échelles de couleurs, étiqueter les isolignes, la couleur et les épaisseurs des lignes. L'échelle de couleur qui accompagne la carte peut aussi être édité.

❖ **Carte des Points**

La carte des points est réalisée par le menu MAP|POST MAP|NEW POST MAP, elle indique la position spatiale des échantillons.

Dans le menu (figure 2.10) on peut définir un symbole pour le point, sa dimension et sa couleur et même d'étiqueter les points avec le nom de l'échantillon qui aura été spécifié dans le fichier des données.

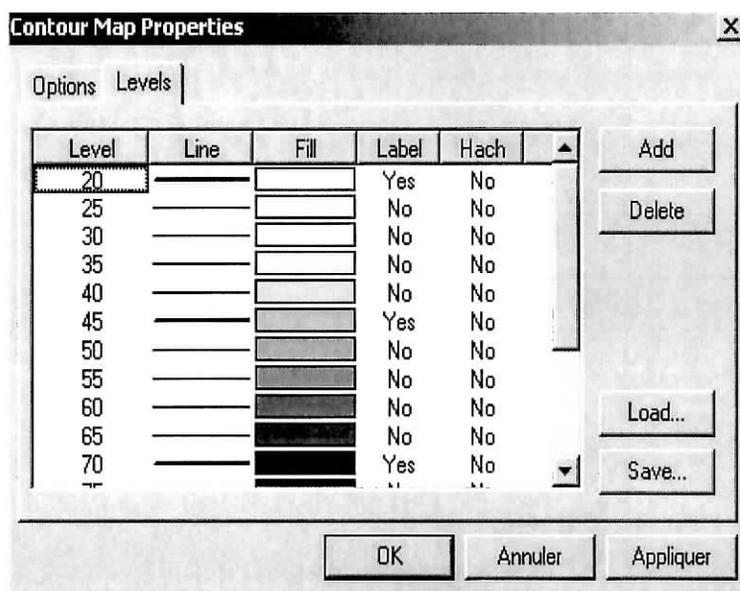


Figure 2.9 : Edition de la carte

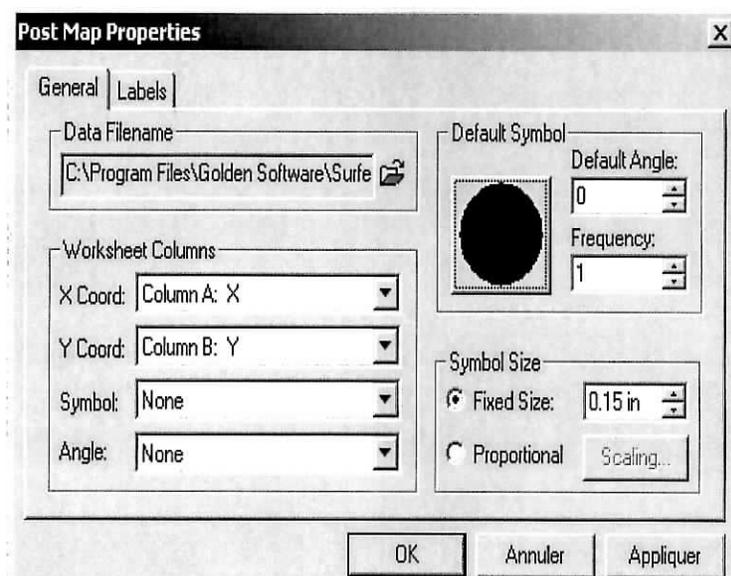


Figure 2.10 : Menu des cartes de point

❖ Surface 3-D

La Surface 3-D (wireframe), permet de visualiser dans l'espace le comportement de la variable. On peut la créer à partir du fichier de la maille d'interpolation (.grd) par le menu MAP|WIREFRAME.

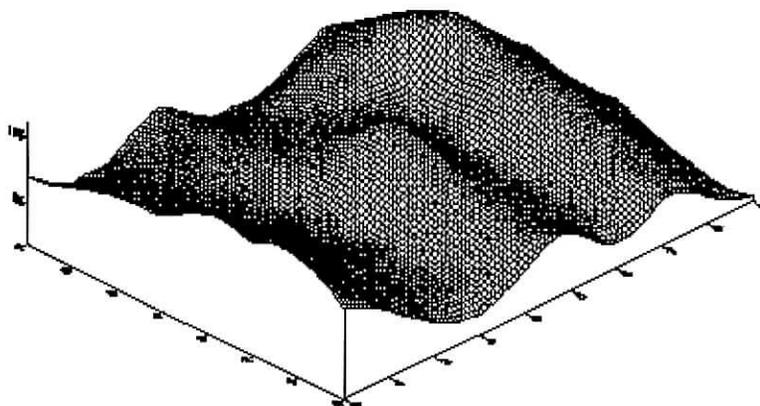


Figure 2.11 : Surface 3D

❖ Superposition des Cartes

Une autre application intéressante de SURFER, est la possibilité de superposer plusieurs cartes dans une même figure. Dans la figure suivante (figure 2.12) , on représente une carte topographiques d'une île et sa surface en 3D. On sélectionne les deux cartes (en appuyant sur la touche Shift) et en exécutant la commande MAP|OVERLAY MAPS, les deux cartes seront superposés.

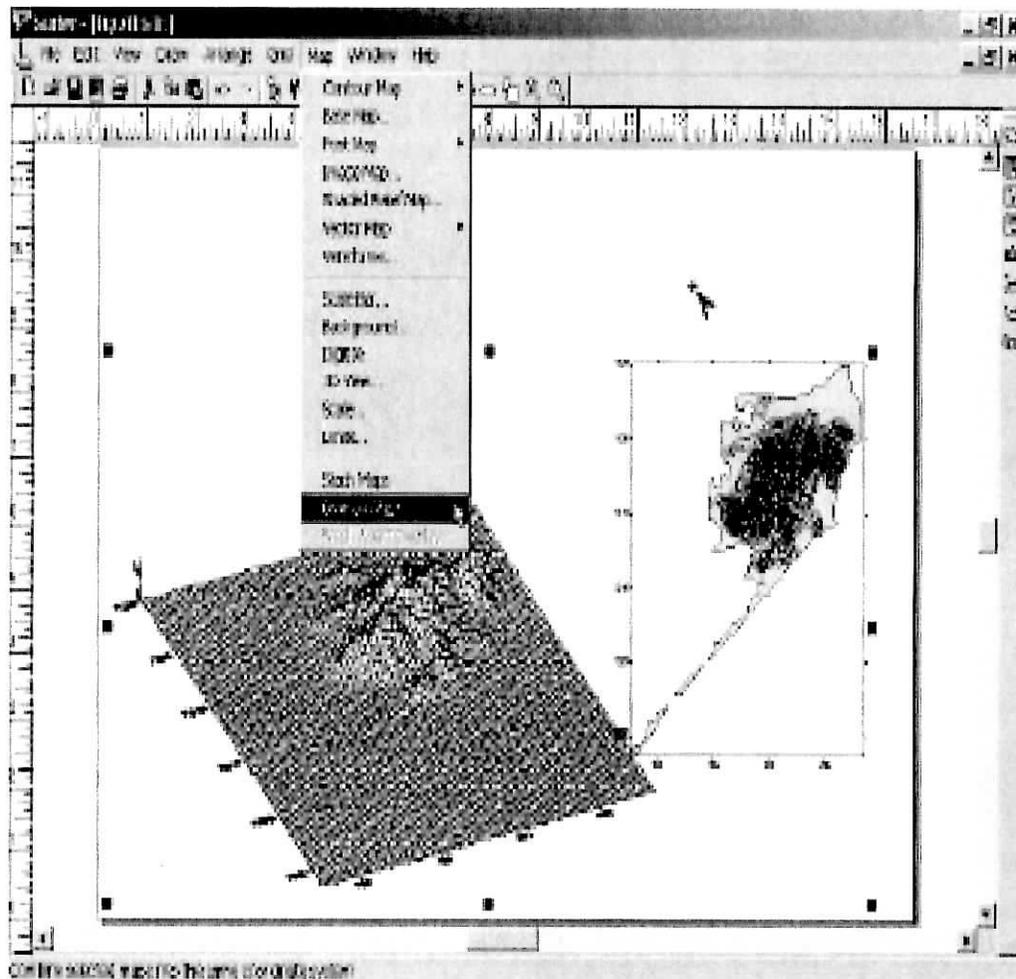


Figure 2.12 : Superposition des cartes

b) Méthode d'interpolation utilisée

Pour réaliser les cartes en isopaques, on a choisit la méthode de l'inverse du carré de la distance (méthode de Shepard). Ce choix est justifié par le nombre insuffisant de données en rapport avec l'étendue de la région d'étude (140 000 Km²) ; Cette méthode est la plus fréquemment utilisée dans ce cas de figure et donne les meilleurs résultats.

L'équation utilisée pour cette méthode (d'après Davis, J.C., 1986) est la suivante:

$$\hat{Z} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_{ij}^n} Z_i}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_{ij}^n}}$$

Où

- \hat{Z} : la valeur estimée de la variable (Z) ;
- d_{ij} : la distance entre le point (i) observé et le point à estimé ;
- Z_i : valeur de variable en un point connu.
- $n = 2$

c) Réalisation des cartes

Pour confectionner les cartes en isopaques du magmatisme mésozoïque du bassin de Reggane, il est nécessaire de déterminer les épaisseurs des intrusions magmatiques. Pour cela on a effectué dans un premier temps une recherche bibliographique. Il existe 74 puits (Exploration, Core drill etc...) dans le bassin de Reggane, et la plupart ont traversé les roches magmatiques (dolérites) à différentes étapes stratigraphiques : Namurien (2 puits); Viséen (13 puits); Tournaisien (7 puits); Strunien (2 puits); Famennien (16 puits); Frasnien (2 puits); Siegénien (1 puits); Gédinien (1 puits). D'après ces résultats on constate que la plupart des intrusions doléritiques ont injecté le Famennien, le Tournaisien et le Viséen.

Les données de forage se présentent sous la forme de Logs Habillés à l'échelle 1/500. Ce document est constitué d'une colonne stratigraphique, interprétée à partir de l'analyse des carottes et des cuttings, calée en profondeur à l'aide de diagraphies instantanées. Les réponses se présentent sous forme d'enregistrements graphiques, qui varient d'un faciès à l'autre. Les outils diagraphiques sont le Gamma Ray et le Sonic. Leur interprétation permet de reconstituer une colonne lithostratigraphiques. A partir de ces documents on peut tirer toutes les informations concernant les puits (coordonnées géographiques, la description lithologique et les épaisseurs des intrusions) (voir tableau Annexe 5).

Pour la réalisation des cartes en isopaques, on a utilisé le logiciel SURFER 7. Le fichier des données comprend les épaisseurs des roches magmatiques, les coordonnées UTM (voir annexe 2) des puits correspondants. La méthode d'interpolation choisie est l'inverse du carré de la distance.

II.2.2. Présentation des cartes en isopaques

a) Cartes en isopaques des roches magmatiques par étages stratigraphiques et épaisseurs totales

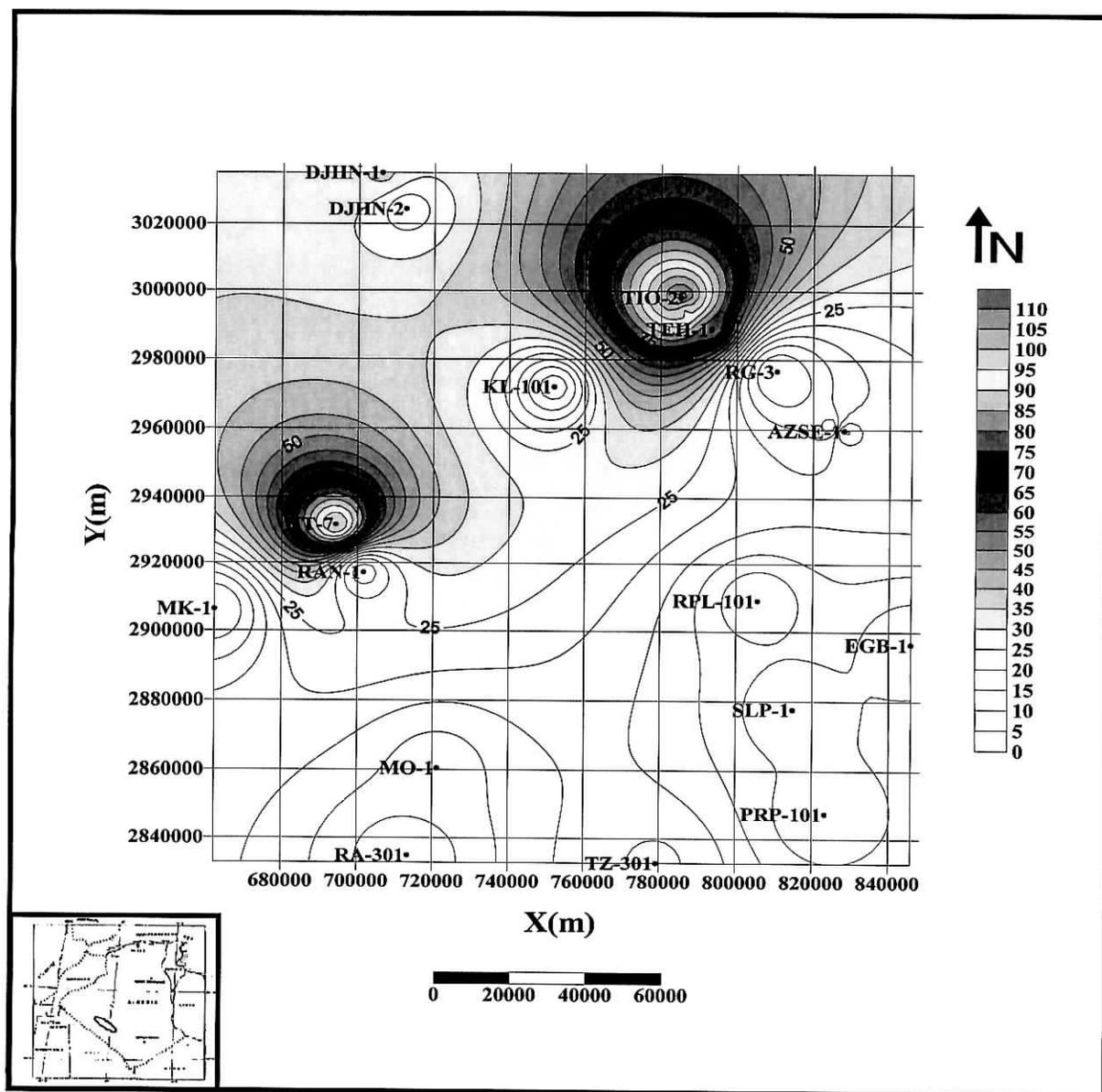


Figure 2.13 : Carte en isopaques des roches magmatiques dans le Viséen du bassin de Reggane

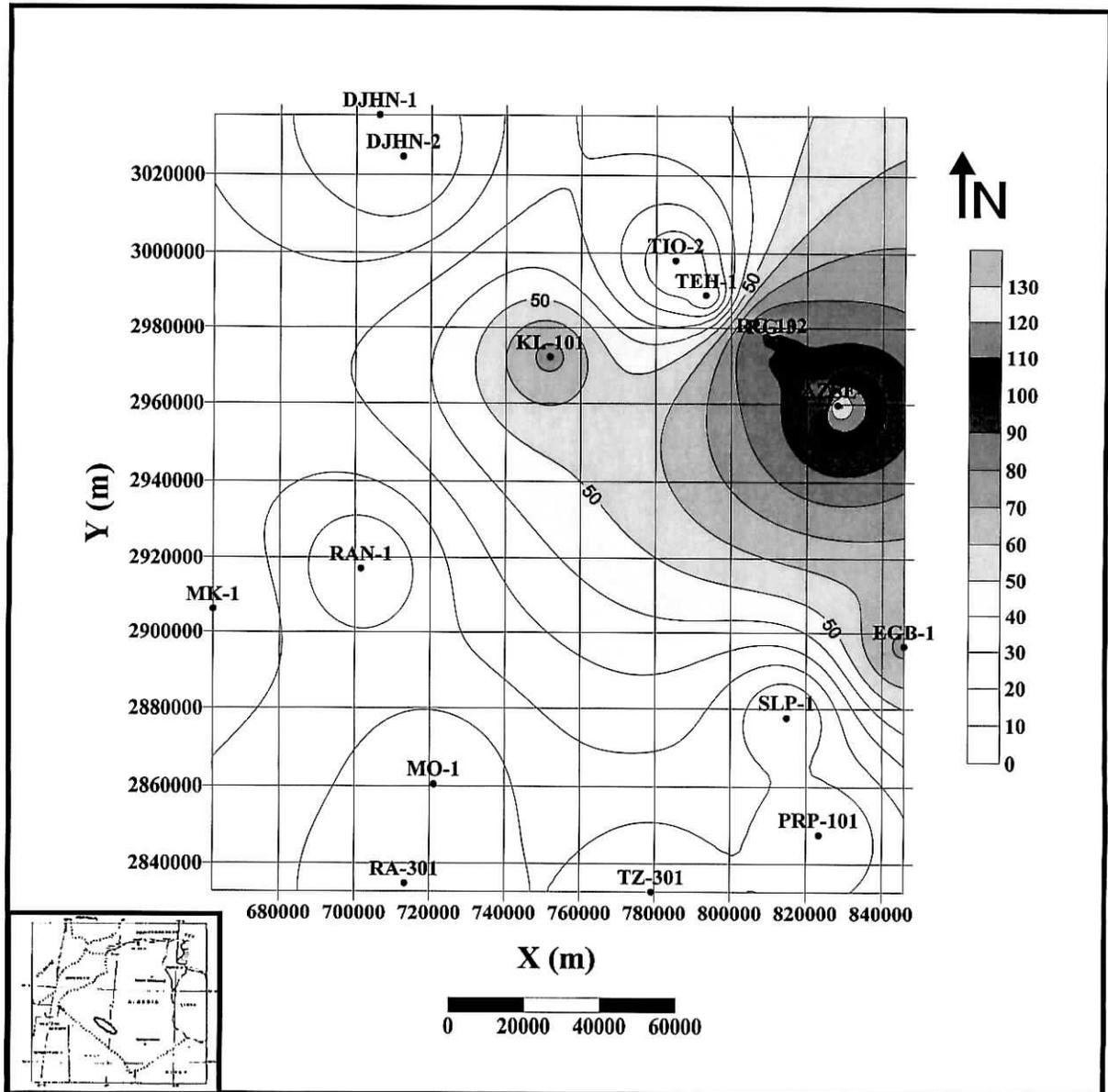


Figure 2.14 : Carte en isopaques des roches magmatiques dans le Tournaisien du bassin de Reggane

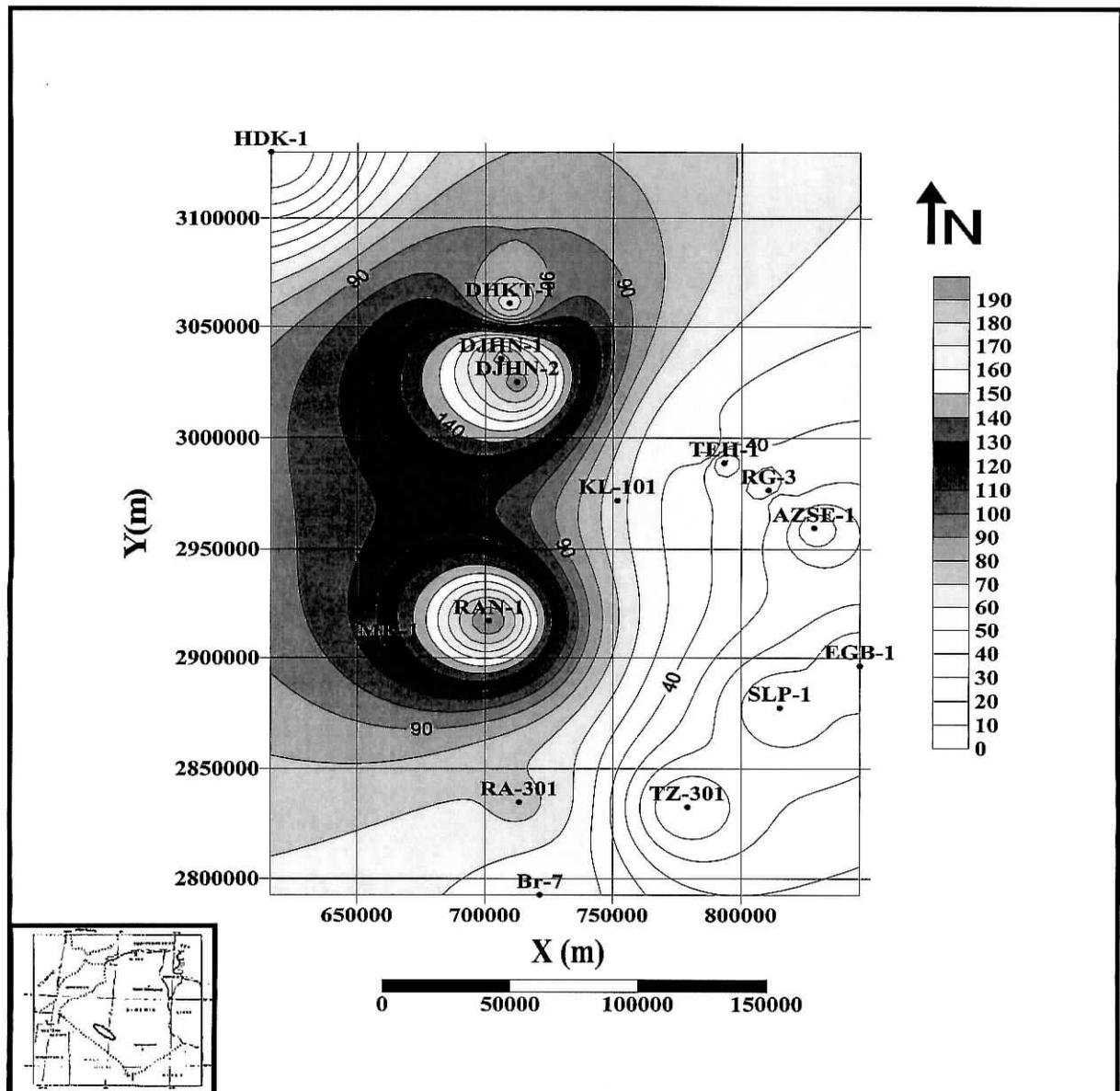


Figure 2.15 : Carte en isopaques des roches magmatiques dans le Famennien du bassin de Reggane

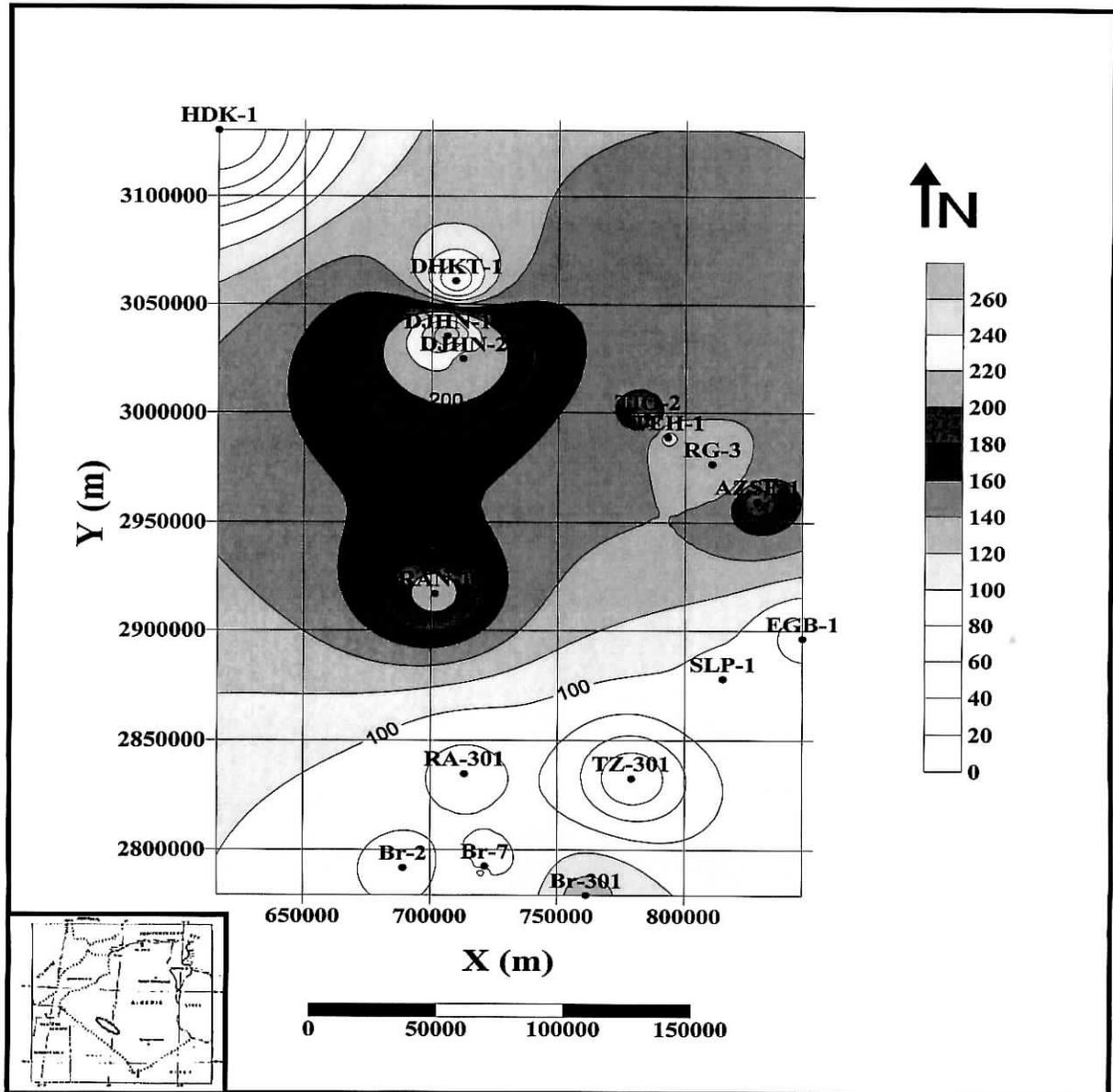


Figure 2.16 : Carte en isopaques des roches magmatiques (épaisseur totale) du bassin de Reggane

b) Cartes en isopaques des étages stratigraphiques injectés par les roches magmatiques

Ces cartes ont été réalisées dans le but de comparer les épaisseurs des roches magmatiques et des étages stratigraphiques, pour détecter une éventuelle corrélation entre les épaisseurs.

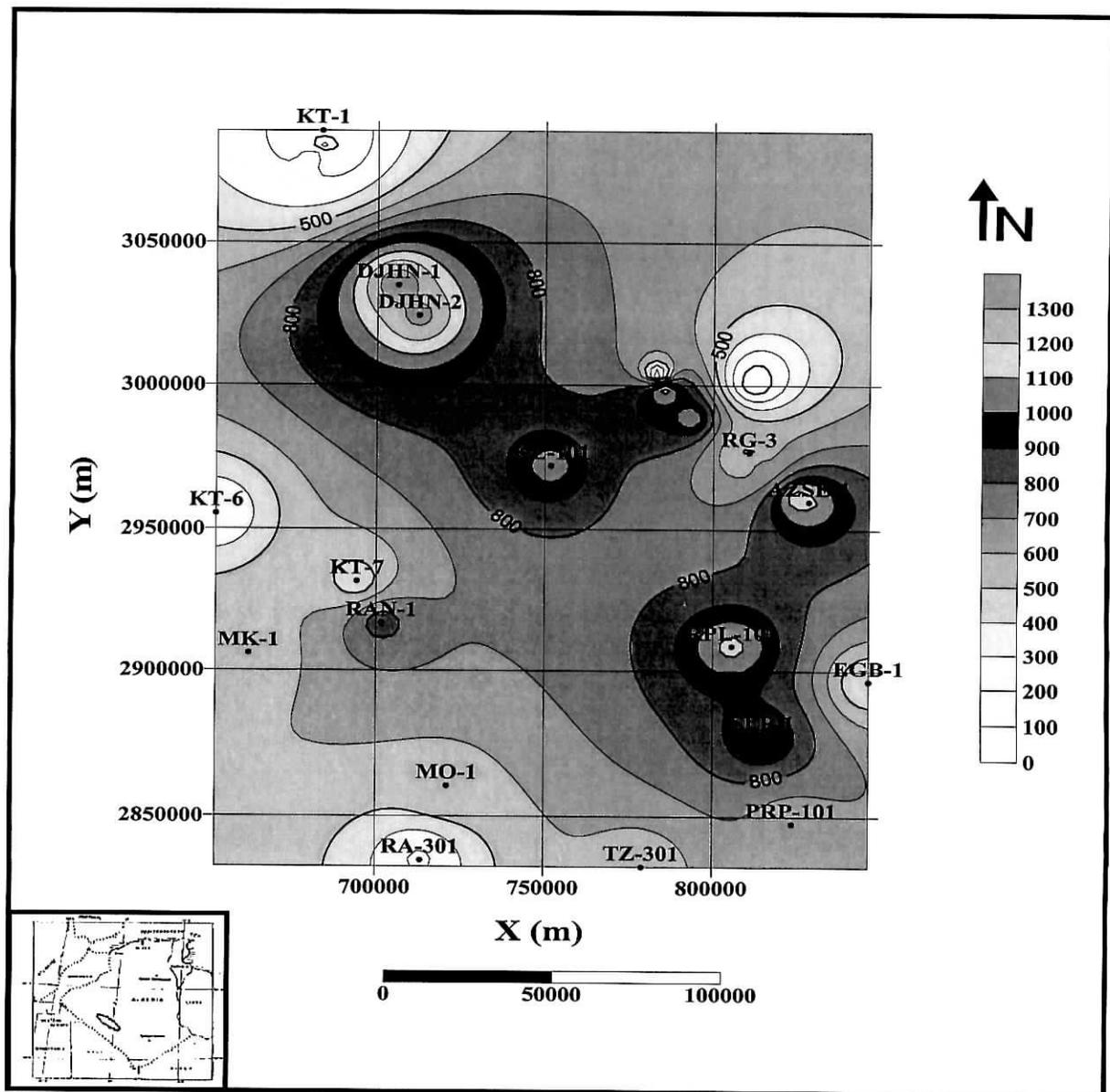


Figure 2.17 : Carte en isopaques du Viséen du bassin de Reggane

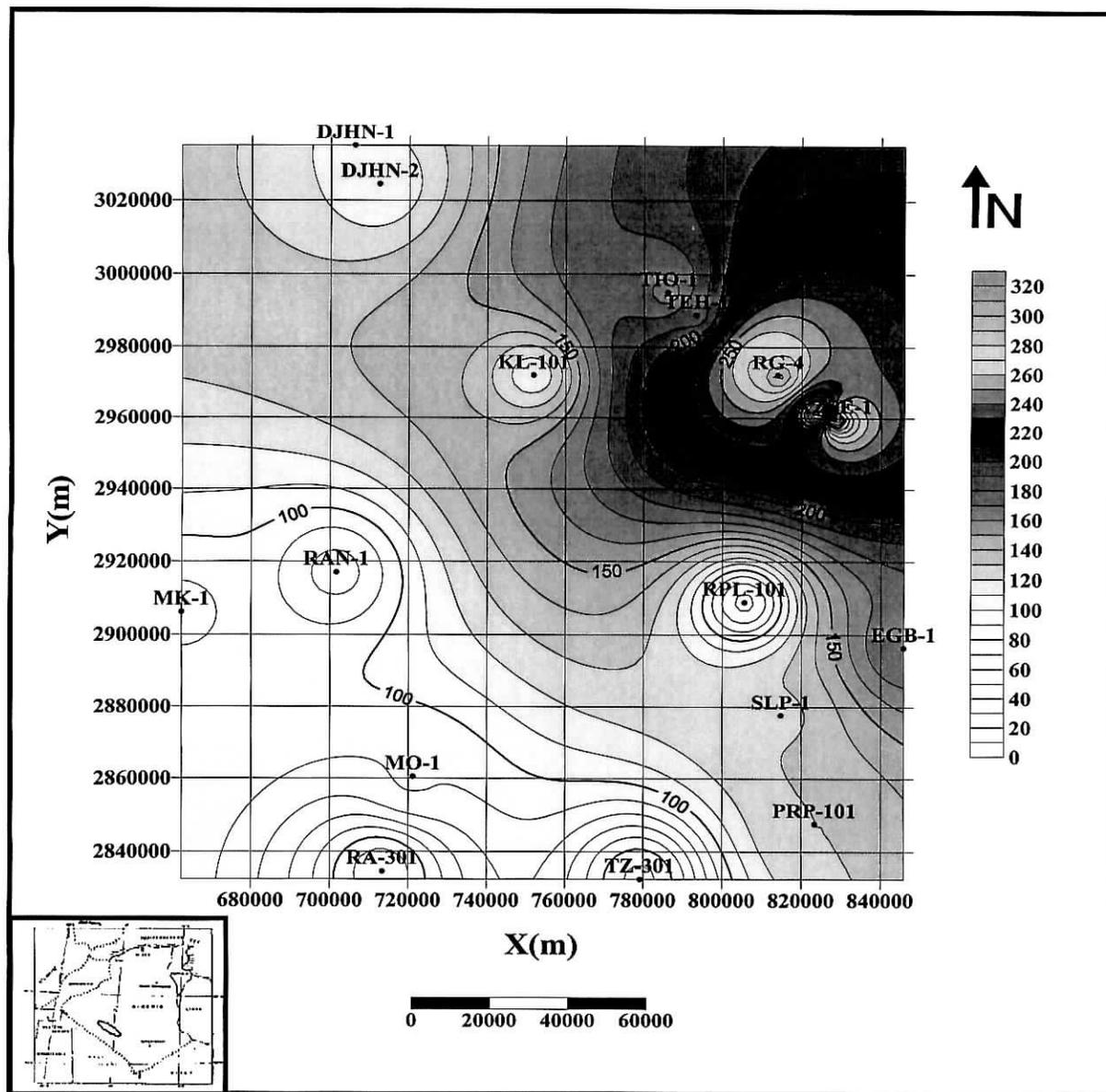


Figure 2.18 : Carte en isopaches du Tournaisien du bassin de Reggane

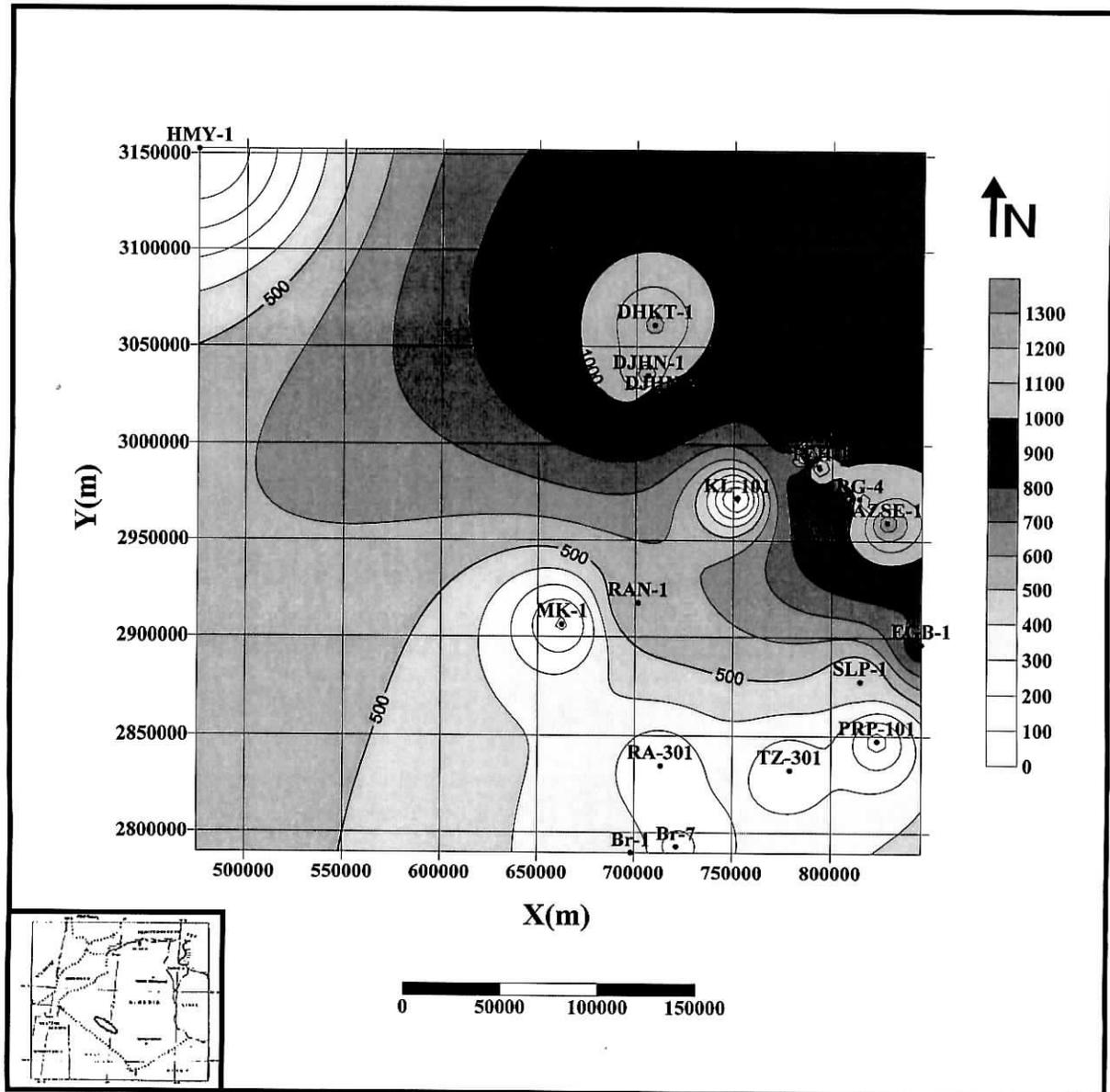


Figure 2.19 : Carte en isopaques du Famennien du bassin de Reggane

II.2.3. Interprétation des cartes

a) Carte en isopaques du magmatisme associé au Viséen

En analysant cette carte (figure 2.13), on remarque que les intrusions doléritiques se sont déposées en grandes quantités au Nord et au Nord-Ouest du bassin. Les maximums d'épaisseurs se situent le long de la direction NE-SO et peuvent dépasser 105 m et 95 m respectivement aux puits TiO₂ et KT-7. Cette carte nous indique la présence probable d'une faille de direction NE-SO qui a atteint le Viséen. Les dykes de la PMAC sont orientés le long de cette direction (Exemple : les dykes de Ksi-Ksou et de Hassi Taïbine en Algérie). Par contre, en comparant cette carte avec celle des épaisseurs du Viséen (figure 2.17), on remarque qu'il n'y a pas de corrélations entre la puissance des couches du Viséen et celle des roches magmatiques.

b) Carte en isopaques du magmatisme associé au Tournaisien

Dans le Tournaisien, les intrusions se sont mis en place principalement le long de la direction de bourrelet Tazoult-Azrafil (figure 2.14). Le magma est probablement remonté en suivant une faille de direction NW-SE. Cette faille est bien connue en subsurface : c'est la grande faille du Touat, dont le rejet dépasse 1000 m et qui est injectée de dolérite (Aliiev et al., 1971). Cette carte nous indique par contre que cette faille a du s'amortir au Tournaisien.

L'épaisseur maximale des roches magmatiques est atteint au puits AZSE-1 avec plus de 120 m. la puissance des intrusions magmatiques diminue considérablement vers le Nord-Est.

La comparaison de cette carte avec celle des épaisseurs du Tournaisien dans le bassin de Reggane (figure 2.18) nous indique dans ce cas que le maximum d'épaisseur des roches magmatiques se concentre dans la région du maximum d'épaisseur du Tournaisien. Il est possible qu'il existe dans ce cas une corrélation entre la puissance des formations de cet étage stratigraphique et celle des roches magmatiques.

c) Interprétation de la cartes en isopaques du magmatisme associé au Famennien

L'examen de la carte en isopaques des roches magmatiques dans le Famennien (figure 2.15) du bassin de Reggane montre que les maximums d'épaisseurs se présentent dans les régions du Djebel Heirane Nord et de Rezeg Allah Nord qui peuvent dépasser 190 m.

Dans ce cas, la mise en place de ces roches magmatiques s'est probablement faite selon une faille de direction sub-méridienne (N-S) qui a du s'amortir au Famennien. On remarque par contre que la grande faille de direction NW-SE n'a pas joué un rôle important dans la mise en place de ce magmatisme dans le Famennien. Si il semble exister une corrélation entre l'épaisseur du Famennien et celle des roches magmatiques dans les puits DJHN-1 et 2 (figure 2.19), cette corrélation n'est pas vérifier selon le direction NW-SE ou l'épaisseur du Famennien est importante, notamment au puits AZSE-1 où l'épaisseur des intrusions magmatiques dans le Famennien est par contre nulle.

d) Interprétation de la carte en isopaques du magmatisme (épaisseurs totale)

A partir de l'analyse de la carte en isopaques des épaisseurs totales des roches magmatiques dans le bassin de Reggane (figure 2.16), on constate qu'un maximum d'épaisseur se trouve concentré dans les régions du Djebel Heirane Nord et de Rezeg Allah Nord dont l'épaisseur peut dépasser les 260 m.

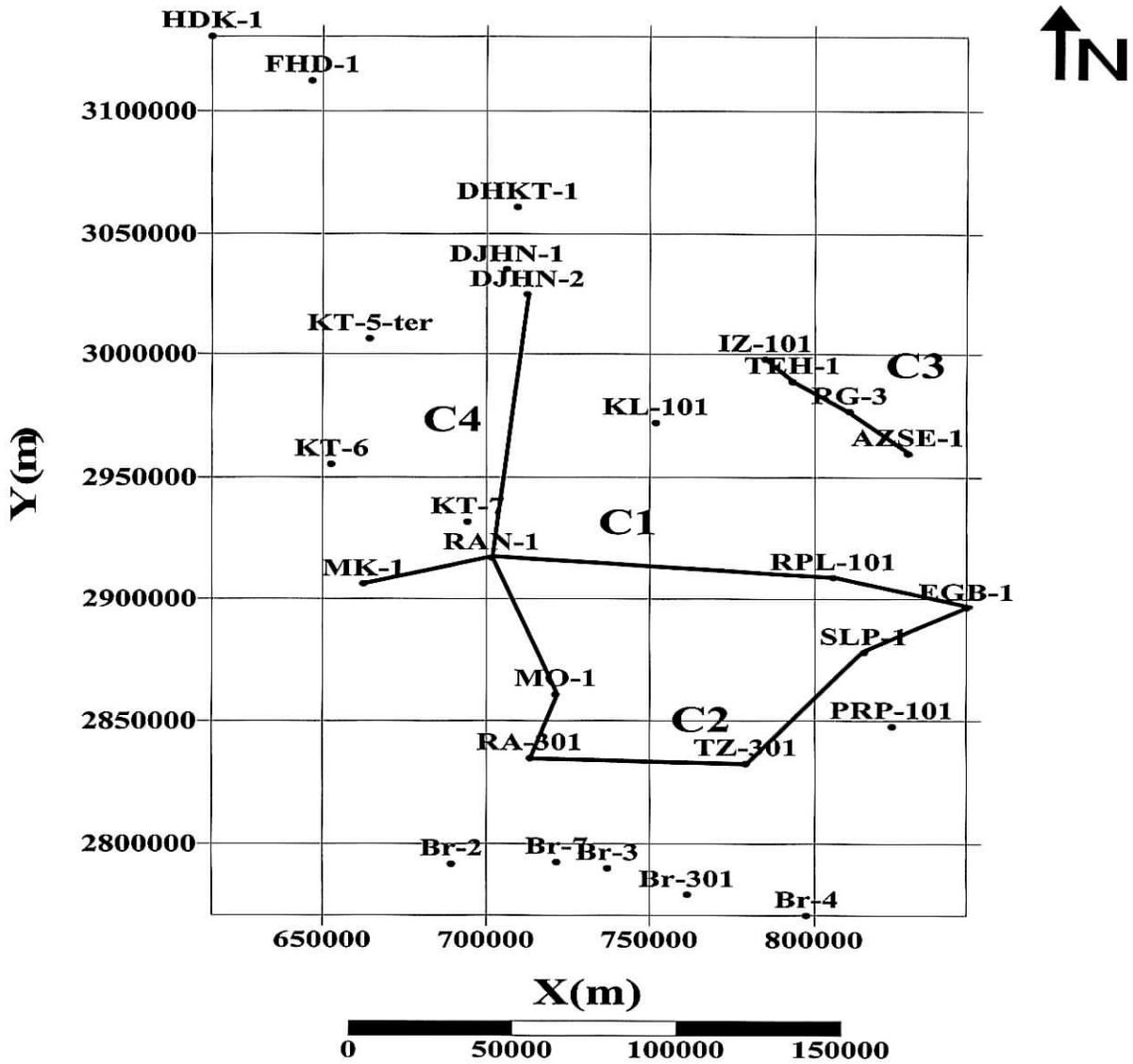
Ces roches présentent une épaisseur importante suivant la direction NW-SE (AZSE-RGTIO-DJHN). C'est le long de cette direction que s'alignent les principales structures du flanc Nord-Est du bassin de Reggane. Les maximums d'épaisseurs observés dans la région de DJHN-1 et 2 pourraient se situer à l'intersection de deux accidents, l'un de direction NW-SE et l'autre de direction N-S.

II.3. Réalisation des coupes géologiques

II.3.1. Méthodologie

Une coupe est une représentation de la section de terrain montrant les différents étages stratigraphiques. L'objectif de ce travail est de réaliser des coupes N-S, E-W, NE-SW, NW-SE, pour montrer l'évolution des intrusions doléritiques dans le temps. Pour cela, nous avons prélevé les épaisseurs, les côtes absolues du toit et du mur des étages où se concentrent les roches magmatiques : Viséen, Tournaisien et Faménnien. On a sélectionnée des puits pour chaque direction. Le plan de positionnement de ces puits et des coupes stratigraphiques sont donnés par la figure 2.20.

La corrélation est réalisée en reliant les différents toits et murs de chaque étages stratigraphiques ainsi que ceux des intrusions magmatiques.



C1 : coupe N°1; C2 : coupe N°2 ; C3 : coupe N°3 ; C4 : coupe N°4

Figure 2.20 : Plan de position des puits et des coupes stratigraphiques

II.3.2. Présentation des coupes

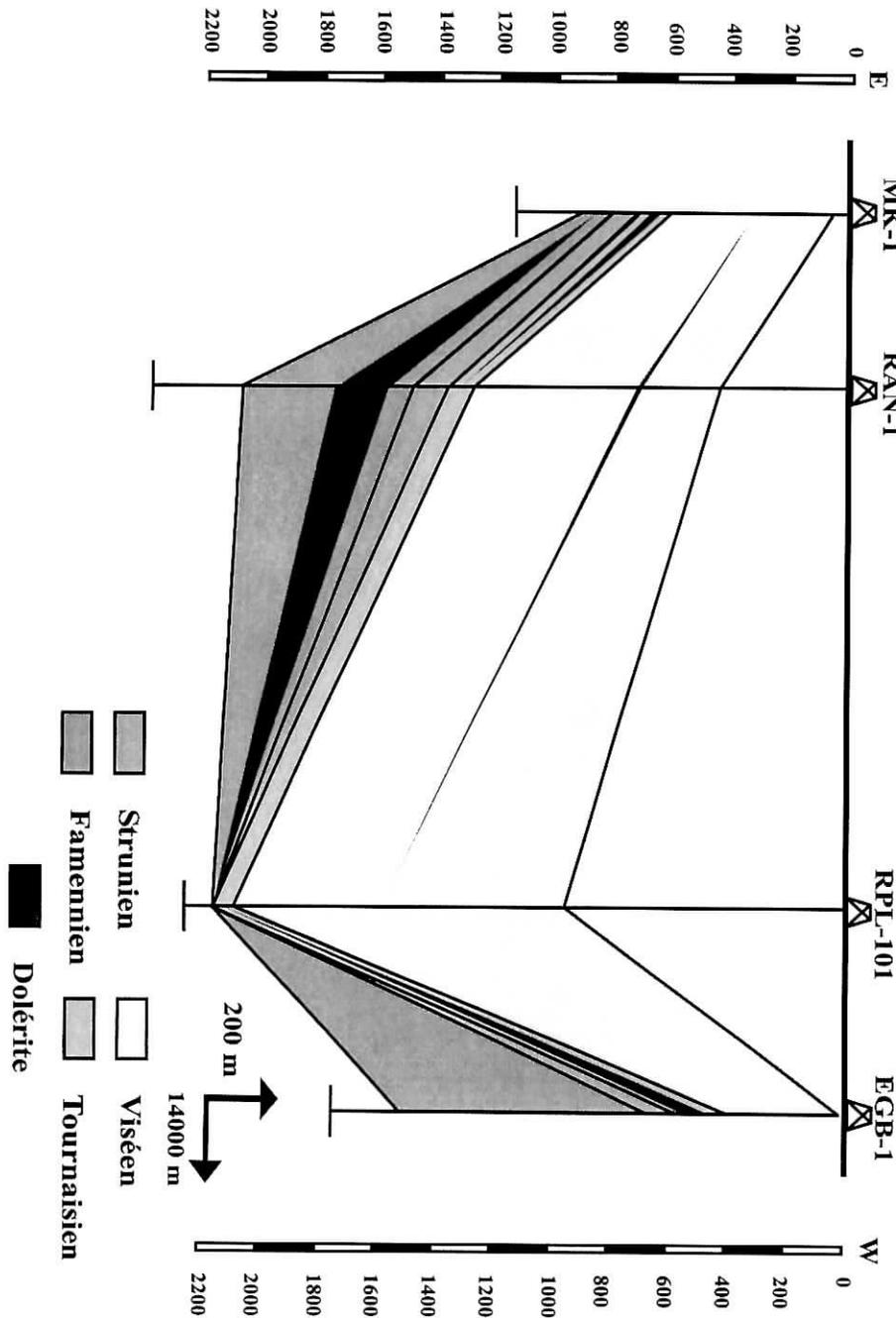


Figure 2.21 : Coupe stratigraphique N°1, suivant la direction E-W

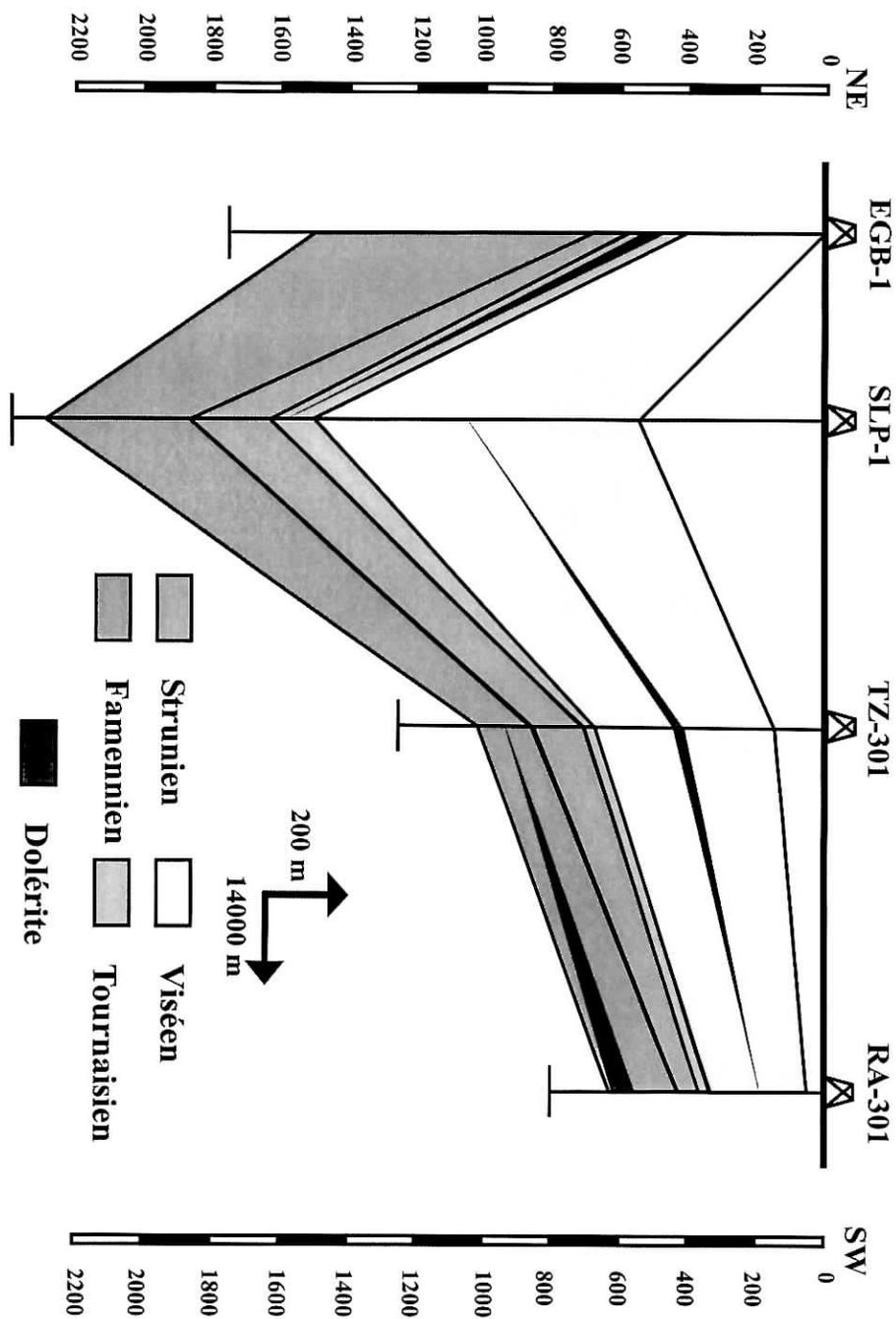


Figure 2.22 : Coupe stratigraphique N°2, suivant la direction NE-SW

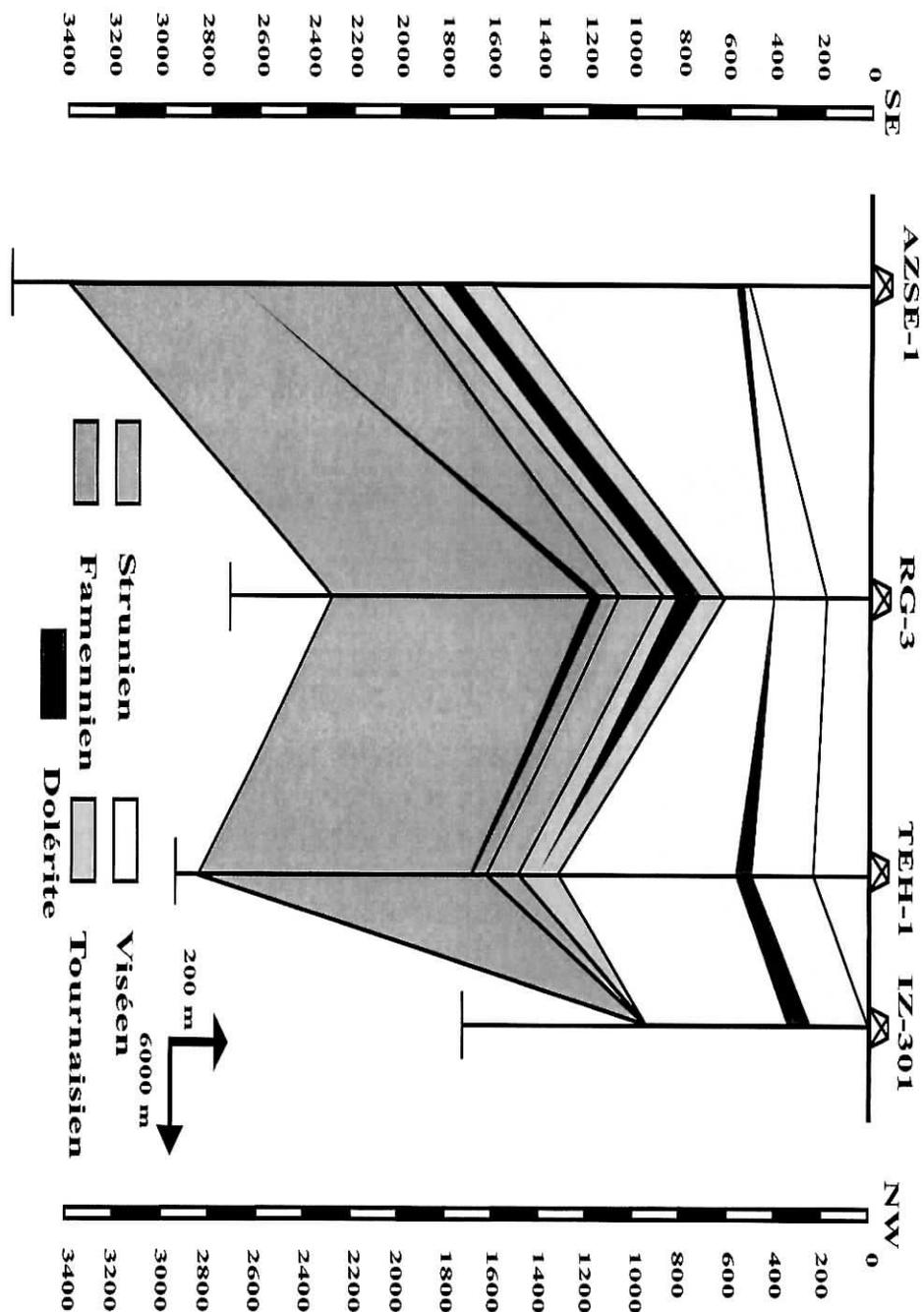


Figure 2.23 : Coupe stratigraphique N°3, suivant la direction NW-SE

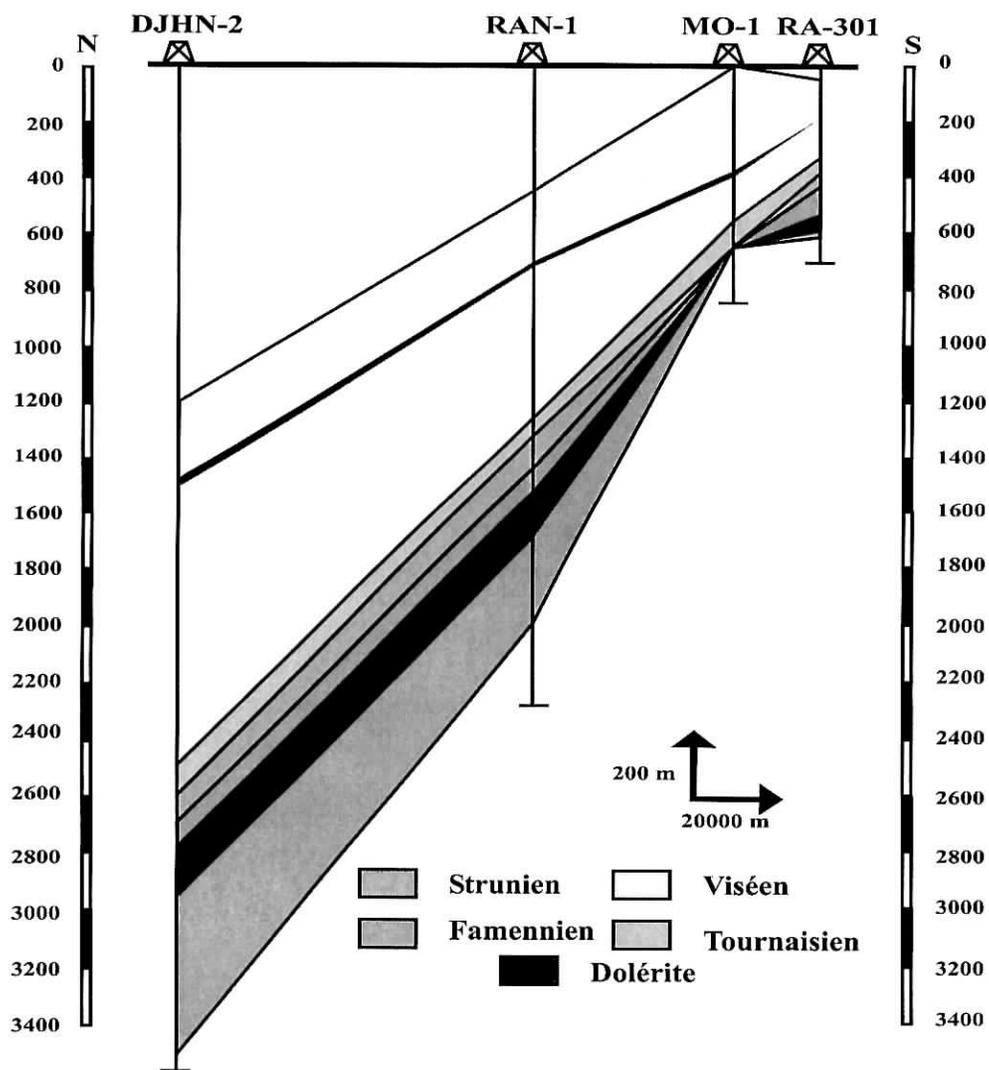


Figure 2.24 : Coupe stratigraphique N°4, suivant la direction N-S

II.3.3. Interprétation des coupes

a) Coupes Stratigraphiques N°1

La coupe traverse les puits MK-1, RAN-1, RPL-1 et EGB-1 suivant la direction Est-Ouest (figure 2.21). On remarque que le maximum d'épaisseur des roches magmatiques se concentre autour du puits RAN-1 dans le Famennien et le Viséen. Pour ce dernier étage, il est possible que l'intrusion magmatique du puits RAN-1 soit due à un dyke qui traverse le puits, étant donné l'épaisseur réduite de la roche et sa nature pétrographique (Chabou, 2001). Dans ce cas, l'évolution de l'épaisseur de la dolérite dans le Viséen selon les directions Est et Ouest est peut être exagérée.

Dans le Tournaisien, l'épaisseur des roches magmatiques diminue de l'Est vers l'Ouest entre MK-1 et RAN-1, augmente de nouveau entre RAN-1 et EGB-1.

Dans le Famennien, le maximum d'épaisseur se concentre autour de RAN-1.

Enfin, on note la disparition des roches magmatiques autour du puits RPL-1.

b) Coupe stratigraphique N°2

La coupe comprend les puits EGB-1, SLP-1, TZ-301 et RA-301 suivant la direction NE-SW (figure 2.22). En direction du SW, on remarque une diminution, puis une disparition des épaisseurs des dolérites dans le Tournaisien. Le contraire se produit pour les intrusions doléritiques dans le Viséen et surtout dans le Famennien, où on remarque une augmentation sensible des épaisseurs.

c) Coupe stratigraphique N°3

Suivant la direction NW-SE, les dolérites ont été rencontrées pratiquement par tous les sondages dans le Viséen. Plus on se dirige du NW vers le SE, plus l'épaisseur diminue. Au Tournaisien, les intrusions sont très importantes surtout en direction du SE (figure 2.23).

Dans le Famennien l'épaisseur des dolérites est très faible.

d) Coupe Stratigraphiques N°4

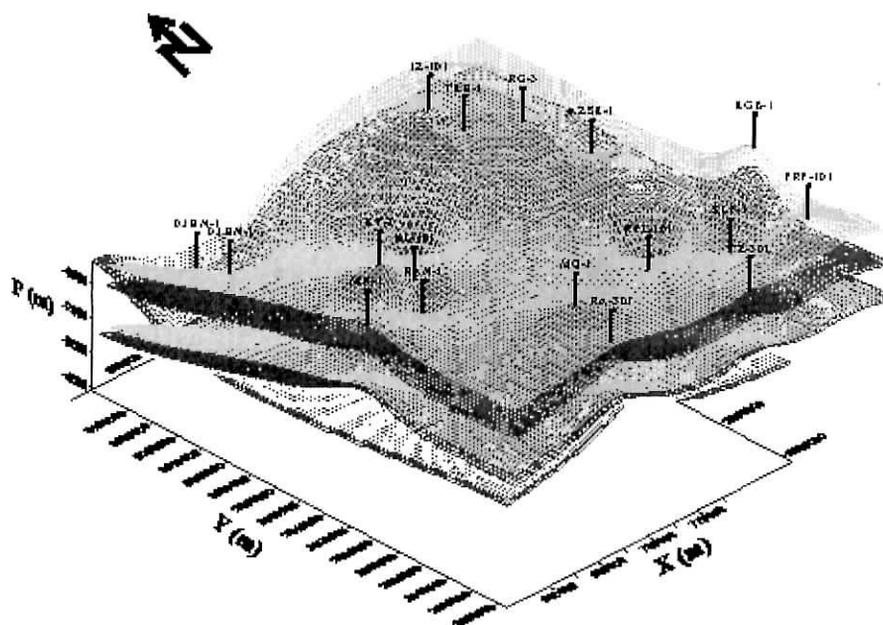
Suivant la direction Nord-Sud l'épaisseur des roches magmatiques diminue dans le Famennien en direction du Sud (figure 2.24). En même temps, l'épaisseur des argiles du Famennien diminue aussi. Par contre, l'épaisseur des dolérites dans le Viséen demeure presque constante du Nord au Sud, de la même manière que l'épaisseur des argiles du Viséen. Existe-il une corrélation entre les épaisseurs des intrusions magmatiques et celle des étages ?

II.4. Réalisation de bloc diagramme en 3D

II.4.1. Méthodologie

Le bloc diagramme en 3D est une représentation graphique qui permet de visualiser la distribution des intrusions magmatiques dans l'espace tridimensionnel. Dans ce travail le bloc diagramme est réalisé à l'aide de logiciel de modélisation géologiques Wireframe 3D, c'est une plate forme composée par différents modules, en introduisant les côtes du toit et du mur des étages stratigraphiques et des intrusions magmatiques.

II.4.2. Présentation de bloc diagramme en 3D



- Mur et toit du Viséen
- Mur du Tournaisien
- Mur et toit du Famennien
- Mur et toit des intrusions magmatiques

Figure 2.25 : Bloc diagramme en 3 D du magmatisme du bassin de Reggane

II.4.3. Interprétation du bloc diagramme en 3D

L'analyse du bloc diagramme en 3D nous permet de constater que :

- Les intrusions doléritiques s'étendent sur de très grandes distances, pouvant ainsi occuper toute la superficie ou presque du bassin de Reggane ;
- Les dolérites du bassin de Reggane, comme celles qui affleurent sont plissées; ceci indique qu'une phase de plissement se serait produite après la mise en place des dolérites (Jurassique inférieur).

II.5. Conclusion

La réalisation des cartes en isopaques, des coupes stratigraphiques et du bloc diagramme en 3D nous permettent de constater que :

- Les roches présentent un maximum d'épaisseur dans les régions du Djebel Heirane Nord et de Rezeg Allah Nord.
- Ces roches présentent aussi une épaisseur importante suivant une direction NW-SE (AZSE-RG-TIO-DJHN). C'est le long de cette direction que s'alignent les principales structures du flanc Nord-Est du bassin de Reggane. Les maximums d'épaisseurs observés dans la région de DJHN-1 et 2 pourraient se situer à l'intersection de deux accidents, l'un de direction NW-SE et l'autre de direction N-S.
- Les maximums d'épaisseurs dans le Famennien se concentrent dans les régions du Djebel Heirane Nord et de Rezeg Allah Nord.
- Les maximums d'épaisseurs dans le Tournaisien se concentrent suivant une direction NW-SE.
- Les maximums d'épaisseurs dans le Viséen se situent le long d'une direction NE-SO. Les dykes de la PMAC sont orientés le long de cette direction (Exemple : les dykes de Ksi-Ksou et de Hassi Taibine en Algérie).

CHAPITRE III

**Influence du magmatisme mésozoïque
du bassin de Reggane sur
l'accumulation des hydrocarbures**

III.1. Introduction

La mise en place d'une quantité importante de roches magmatiques d'âge mésozoïques dans le bassin de Reggane, a dû avoir une importante influence sur son potentiel en hydrocarbures.

La relation entre les venues magmatiques et les gisements d'hydrocarbures demeure encore obscure car très peu d'études lui ont été consacrées. Certains auteurs pensent que l'intrusion des roches magmatiques dans les bassins sédimentaires a joué un rôle néfaste et destructeur sur d'éventuelles accumulations d'hydrocarbures, et diminuent les chances de trouver des gisements d'hydrocarbures importants (P. Jacquemont, 1971).

Cependant, ceci n'est pas toujours vrai car il existe en fait assez d'exemples de gisements d'hydrocarbures associés à ces venues magmatiques ; ainsi, dans le Sahara nord oriental, les riches gisements pétroliers de la Province triasique (Hassi Messaoud, Rhourde el Baguel, Guellala etc...) et gaziers de Hassi R'mel sont associés à des roches magmatiques (doc. SH).

Le bassin de Reggane n'a pas encore livré jusqu'à présent d'importants gisements d'hydrocarbures, car de faibles travaux d'exploration ont été consacrés à ce bassin. Ainsi, pour une superficie de 140 000 km², seulement soixante-quatorze forage ont été réalisés. Récemment, la découverte de gisements de gaz dans son flanc nord a relancé l'intérêt pour l'exploration des hydrocarbures dans cette région.

III.2. Généralités

Les hydrocarbures sont une matière première d'importance capitale. La totalité des chercheurs et spécialistes en géologie pétrolière affirment actuellement que le pétrole est d'origine organique.

On appelle système pétrolier la portion d'un bassin sédimentaire, où tous les constituant géologiques nécessaires à la formation et à la rétention du pétrole sont rassemblés, et qui a connu les conditions physiques et chimiques indispensables à la maturation d'huile ou de gaz.

Les constituants géologiques sont au nombre de quatre (4) :

- ✓ Une roche mère ;
- ✓ Une roche réservoir appartenant à un système de drains ;
- ✓ Une roche couverture ;
- ✓ Un piège.

Il faut qu'un processus d'enfouissement progressif de la roche mère produise les conditions thermiques de sa maturation chimiques.

III.2.1. La genèse des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont le résultat de la transformation au cours de l'enfouissement de sédiments riches en matière organique (figure 3.1). Ces sédiments se déposent le plus souvent dans des dépressions lacustres ou marines, en milieu confiné et anoxique (sans oxygène). Sous l'action des transformation bactériennes, la matière organique, d'origine planctonique, principalement algaire ou provenant de débris de végétaux, aboutit à la formation du *kérogène* : c'est une sorte de pétrole embryonnaire, c'est la dégradation biochimique de la matière organique.

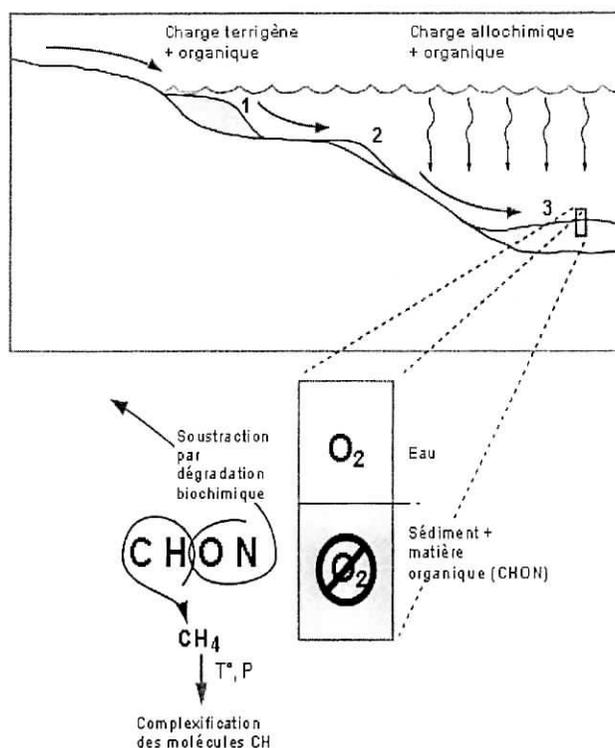


Figure 3.1 : Genèse des hydrocarbures

Au cours de l'enfouissement, le kérogène est amené à des températures et à des pressions de plus en plus élevées, se transformant en hydrocarbures liquides ou gazeux. Le schéma qui suit (figure 3.2) résume ce qui se passe à mesure de l'enfouissement et comment se forme l'huile et le gaz.

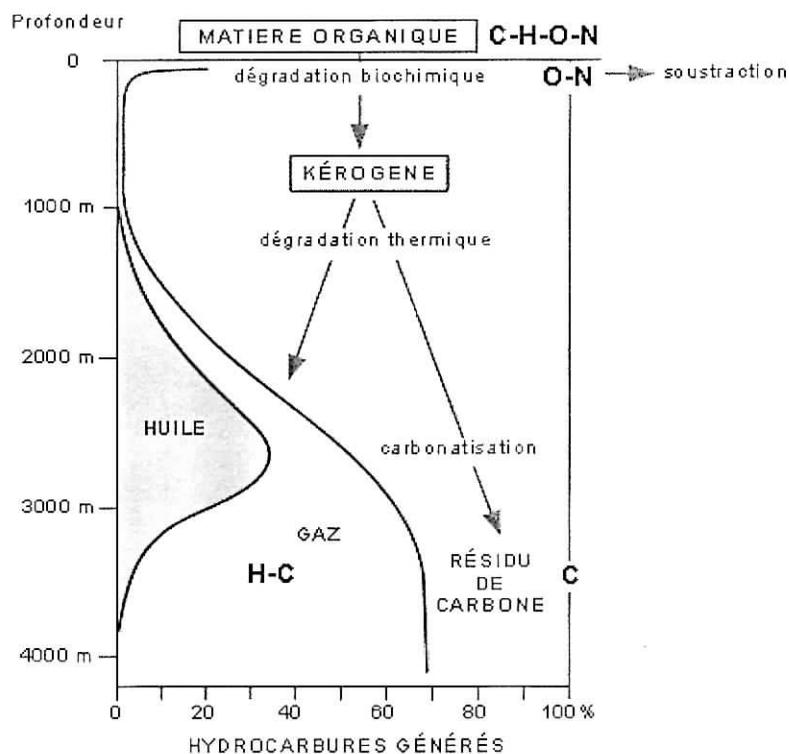


Figure 3.2 : Les différents types d'hydrocarbures générés au cours de l'enfouissement

A partir de ce schéma, on voit donc qu'il y a des conditions spécifiques d'enfouissement pour former de l'huile et du gaz. En langage pétrolier, on appelle *fenêtre à huile* : la fourchette de profondeurs pour que se forme de l'huile, et *fenêtre à gaz* : la où se forme le gaz. Ce qui explique aussi que dans un champs de pétrole il y a pratiquement toujours de l'huile et du gaz.

Ces valeurs de profondeur ne sont pas absolues ; elles sont indicatives car le gradient géothermique peut varier d'une région à l'autre. En effet, ce qui importe, c'est la température à laquelle ont été portés les kérogènes. On sait que le gradient géothermique, défini par le flux de chaleur qui traverse la croûte terrestre, peut varier d'une région à l'autre.

«Une région qui a connu du magmatisme récent aura un gradient géothermique plus élevé qu'une région où le magmatisme a cessé depuis longtemps et, par conséquent, le pétrole s'y forme à de plus faibles profondeurs» (A. Perredon, 1980)

III.2.2. La migration des hydrocarbures

Après la formation d'une certaine quantité d'hydrocarbures liquides et gazeux, sous forme de gouttelettes disséminées dans une roche dite *roche mère*, ces gouttelettes sont expulsées sous des conditions géologiques de la roche mère, puis transportées dans une roche perméable pour venir se concentrer dans ce qu'on appelle une *roche réservoir* où le pétrole se trouve dans les pores de la roche ; une sorte de roche éponge ; ce processus est appelé migration (figure 3.3).

On peut distinguer deux types de migration d'hydrocarbures à savoir :

- 1) *La migration primaire (figure 3.4.a.)* : c'est la phase qui correspond à l'expulsion des hydrocarbures juste après leurs genèse vers les roches réservoirs sur de faibles distances ;
- 2) *La migration secondaire (figure 3.4.b.)* : désigne le déplacement dans le drain vers la roche réservoir, jusqu'à trouver un *piège*.

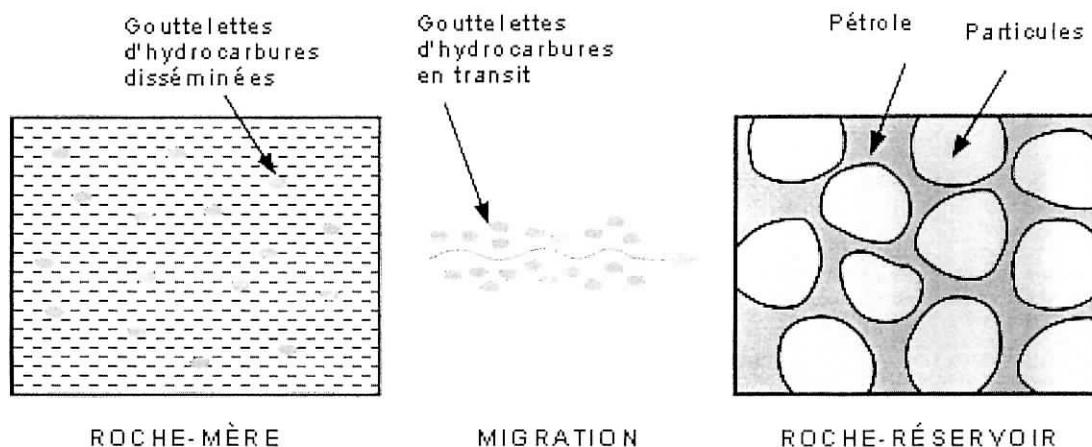


Figure 3.3 : Migration des hydrocarbures

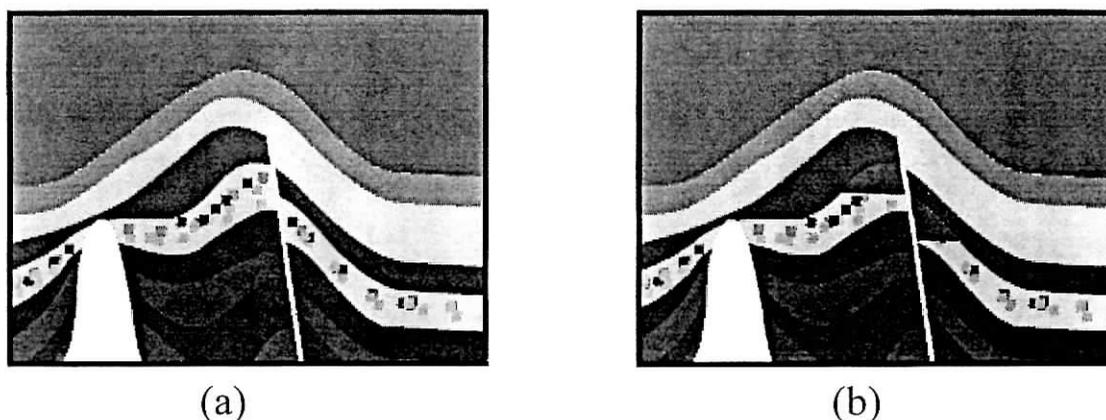


Figure 3.4 : Les types de migration des hydrocarbures

III.2.3. Les pièges

Les hydrocarbures, soumis aux sollicitations de diverses actions de pression de terrain, de déplacement des aquifères ou de différence de densité par rapport à l'eau, ont tendance à se déplacer au sein des couches perméables. Pour que le pétrole et le gaz se concentrent et forment des gisements, il faut qu'ils soient arrêtés par des barrières, réalisant ainsi des *pièges*.

Un piège, condition indispensable de tout gisement, est une zone où le réservoir, couvert par une couche imperméable, est fermé latéralement par des terrains imperméables ou par une déformation des couches. On distingue ainsi, classiquement, des pièges stratigraphiques et des pièges structuraux.

a) Les pièges stratigraphiques (Figure 3.5)

Sont constitués par une variation latérale des caractéristiques de la roche réservoir passant à des terrains imperméables ou par des phénomènes de sédimentation donnant naissance à un « biseau de sédimentation ». Dans le premier cas réalisé en particulier dans certains récifs fossiles, le réservoir est sensiblement limité aux pièges, comme dans de nombreux gisements de l'Alberta, au Canada. Dans le cas des pièges par biseau, la concentration est l'aboutissement direct d'une migration plus ou moins longue arrêtée par la disparition de la porosité et de la perméabilité. Cette fermeture peut être provoquée par la superposition en discordance d'une couche imperméable.

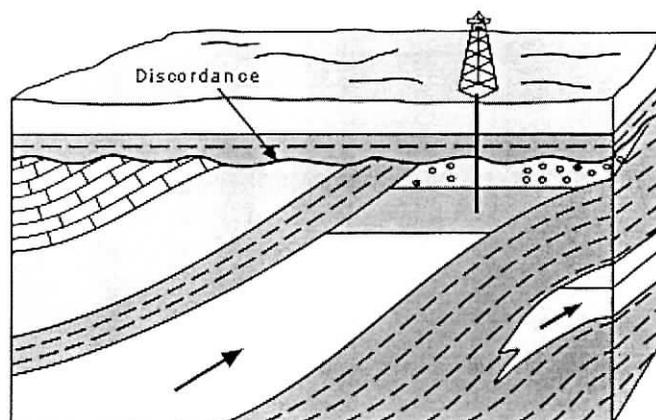


Figure 3.5 : Piège stratigraphiques (discordance et biseau sédimentaire)

b) Les pièges structuraux

Sont constitués par une déformation des couches sédimentaires, généralement postérieure aux dépôts. Les pièges par failles (figure 3.6) correspondent à des fractures brutales qui ferment une couche réservoir en la mettant directement en contact avec un terrain imperméable.

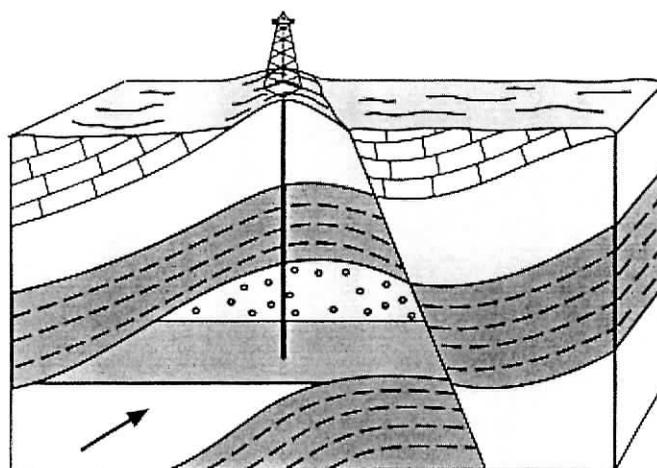


Figure 3.6 : Piège par faille

Les pièges anticlinaux (figure 3.7), sont les plus nombreux et les plus importants ; ils sont dus à des déformations souples des couches sédimentaires décrivant des voûtes naturelles qui permettent l'emprisonnement des hydrocarbures migrant dans les niveaux réservoirs ; les anticlinaux productifs sont souvent alignés suivant de grandes zones hautes régionales, comme on le constate au Sahara. Un certain nombre de pièges structuraux, montrant souvent des failles et les anticlinaux, sont dus à la montée de dôme de sel (figure 3.8.).

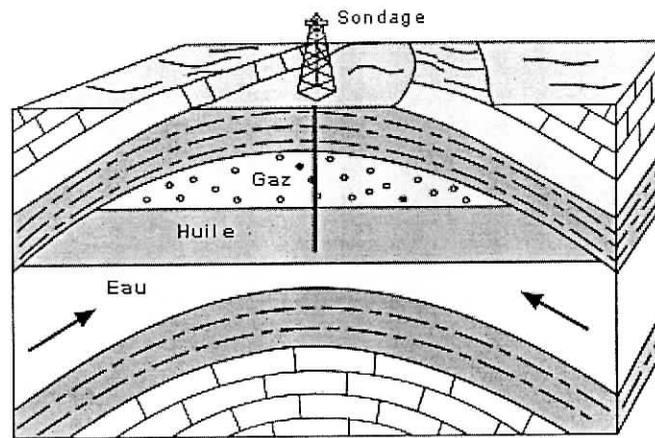


Figure 3.7 : Piège anticlinal

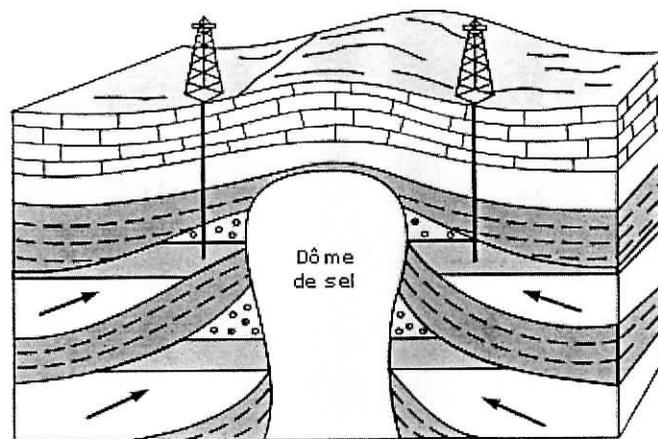


Figure 3.8 : Piège mixte associé à un diapir

La recherche constitue le premier objectif de la prospection pétrolière. Si l'existence d'un gisement implique l'association des trois conditions que l'on vient de voir (présence d'hydrocarbures, de réservoirs et de pièges) seul le troisième permet la localisation de gisement et peut être déterminé avec précision à partir de la surface.

Il importe néanmoins que les pièges soient situés dans des zones régionales favorables, au voisinage des zones de genèse des hydrocarbures ou sur le trajet de leurs migrations. On est amené ainsi à rechercher plus particulièrement les pièges formés dans des zones de changements de faciès où peuvent coexister à faible distance des milieux favorables à la genèse des hydrocarbures, et d'autres favorables aux dépôts des roches-réservoirs. Ce sont ces zones, géologiquement différenciées, qui constituent ce qu'on appelle les provinces pétrolières.

III.3. Aperçu sur le système pétrolier du bassin de Reggane

III.3.1. Les roches mères

Dans le bassin de Reggane, les roches mères principales sont les argiles radioactives du Silurien et celles du Dévonien supérieur (Frasnien), et à moindre degré les argiles du Dévonien moyen et du Viséen.

III.3.2. Les roches réservoirs

Dans le bassin de Reggane, il existe deux réservoirs principaux :

- 1) **Le Cambro-Ordovicien** : Cette formation est constituée de grès quartziques moyens à grossiers mal consolidés et caractérisés par de bonnes caractéristiques pétro-physique ; porosité 10 à 20 % et perméabilité 2000 à 7000 md.
- 2) **Le Dévonien inférieur** : Il représente le principal réservoir dans la région, Il comprend :
 - **L'Emsien** : constitué par un banc de grès d'une vingtaine de mètres, considéré comme compact surtout dans le Nord du bassin (TiO-1 ; TZ-1 ; RG-3), le forage HDK-1 a révélé un Emsien productif de gaz.
 - **Le Siégénien-Gédinien** : formé par 4 barres gréseuses, avec un total de 20-50 m de grès utiles. Ses caractéristiques pétro-physique sont :
 - porosité moyenne de 11 % ;
 - perméabilité égale à 50 md ;
 - saturation en gaz de 60-80 %.

Des débits appréciables ont été enregistrés au niveau de ce réservoir avec 340 000 m³ /j à RG-4 et 20 000 m³ /j à TiO-2.

III.3.3.. Les roches couvertures

Dans le bassin de Reggane, la couverture des réservoirs du Dévonien inférieur est assurée par les argiles du Dévonien moyen et supérieur, ainsi que par les argiles du Dévonien inférieur.

Les argiles du Silurien sont bien développées et constituent une bonne couverture pour le réservoir ordovicien.

III.3.4. Les Piéges

a) Les piéges structuraux

Ils sont fréquents sur le flanc Nord-Est du bassin et cela sous forme d'anticlinaux et de piège contre failles.

b) Les piéges stratigraphiques

Ils sont rencontrés au Sud du bassin, là où un amincissement des formations est observé.

III.4. Influence de l'évènement thermique triasico-lisique sur le système pétrolier du bassin de Reggane

Un évènement thermique majeur d'âge triasico-liasique (200 ma) à été mis en évidence dans le bassin de Reggane et coïncide avec l'ouverture de l'Atlantique centrale (figure 3.9). Cet évènement thermique aurait eu une grande influence sur la maturation de la matière organique dans le bassin du Reggane (P. Logan et I. Duddy, 1998).

Les études effectuées sur le bassin de Reggane ont montré que la maximum de génération des hydrocarbures s'est effectué vers 300-350 Ma ; cette génération est due à l'enfouissement. Cependant, on a récemment découvert qu'une deuxième phase se serait produite à la limite Trias Jurassique conduisant à l'augmentation du degré de maturation de la matière organique, épuisant ainsi le potentiel pétrolier de la première phase et favorisant à la formation des gisement de gaz. Ceci explique peut être le fait que la majorité des puits forés sur le flanc nord du bassin de Reggane aient produit du gaz sec. Une partie du bassin renferme une importante quantité de roches magmatiques (dolérites) (figure 2.17) et la matière organique aurait été cuite à un degré avancé.

Selon certains auteurs (Wilson, 1997 ; Oyarzun et al., 1997), la genèse de la province magmatique de l'Atlantique Central a été interprétée en termes d'interaction entre un point chaud et la lithosphère continentale. Ce panache se serait mis en place sous le craton ouest africain. Pour rendre compte de l'étendue de la province, ces auteurs supposent que le matériel du panache a été entraîné par les courants mantelliques vers le nord-est, en empruntant les zones de faiblesses de la lithosphère et notamment les régions ayant été affectées par l'orogénèse pan-africaine et hercynienne. Ce panache serait responsable de l'évènement thermique qui aurait affecté l'Afrique de l'Ouest et notamment les bassins occidentaux du Sahara algérien.

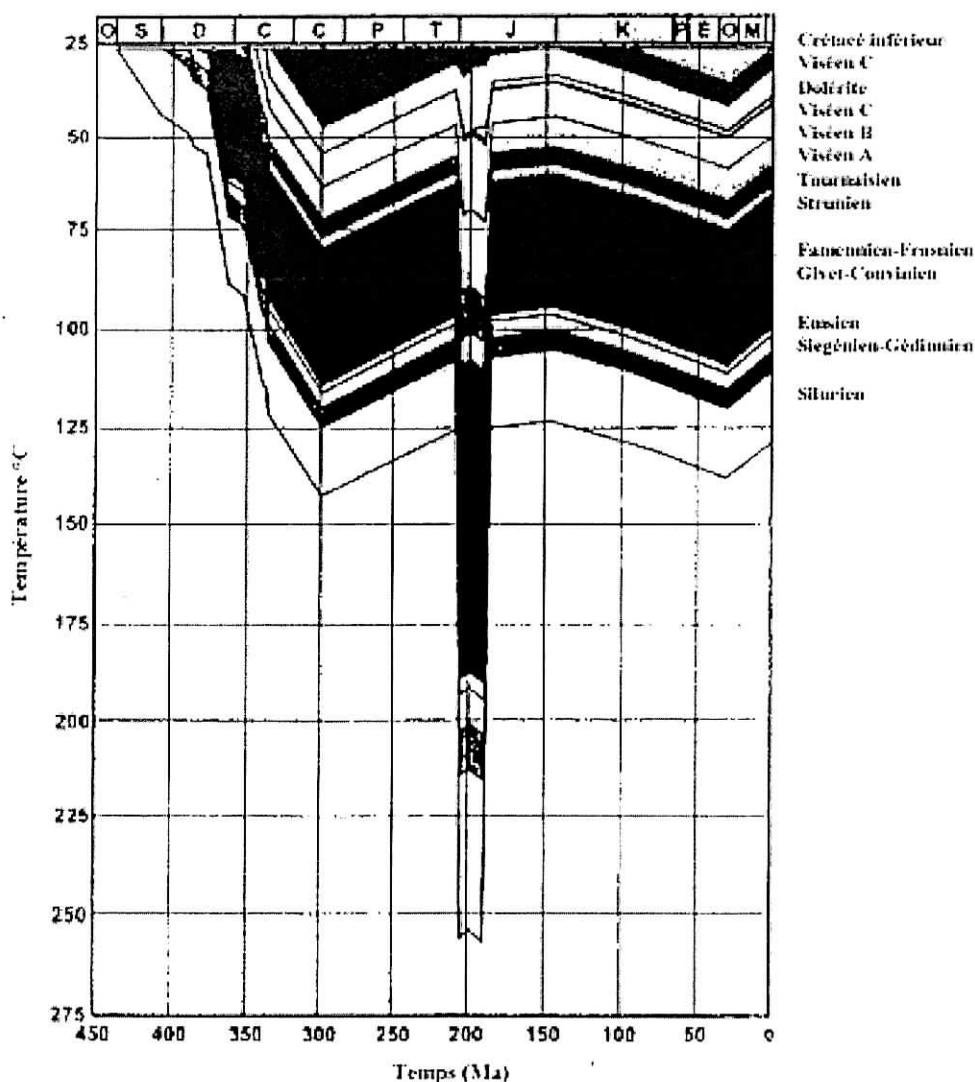


Figure 3.9 : Histoire thermique du bassin de Reggane (puits RG-3)
(P. Logan et I. Duddy, 1998)

Légende : O : Ordovicien ; S : Silurien ; D : Dévonien ; C : Carbonifère ; P : Permien ;
T : Trias ; J : Jurassique ; K : Crétacé ; P : Paléocène ; E : Eocène ;
O : Oligocène ; M : Miocène.

III.5. Conséquences de la mise en place des dolérites sur le potentiel en hydrocarbures du bassin de Reggane

III.5.1. Sur les roches réservoirs

Le contact des formations éruptives avec les roches réservoirs encaissantes provoque un métamorphisme de contact avec obstruction des vides intergranulaires par un ciment chloriteux dans des zones d'épaisseur très réduites en contact direct avec les sills où les dykes (figure 3.10) (Etienne et Le Fournier, 1959 ; Benseradj, 1996).

La pénétration et la dilatation du dyke favorise l'apparition des fissures dans l'encaissant, ces fissurations seront traversées par des solutions hydrothermales qui vont lessiver le réservoir en améliorant les propriétés pétro-physique aux alentours des dykes (auréole de contact). Plus loin, lorsque ces solutions sont refroidies la précipitation des minéraux dissous va détériorer les qualités des réservoirs, et ceci pourrait expliquer la dégradation de certains réservoirs dans le bassin de Reggane, où les dykes doléritiques sont nombreux (cas du sondage SLP-1).

III.5.2. Sur les roches mères

La mise en place des intrusions doléritiques dans les argiles sous-compactées du Dévonien supérieur (Famennien) et du Carbonifère (Viséen) considérées comme étant des roches mères de second degré a conduit à l'augmentation brusque de la maturation, sous l'effet de la chaleur aux alentours des sills et des dykes, ce qui explique des taux élevés de stade d'évolution de la matière organique et sa transformation en hydrocarbures (>2%).

Ces zones sont aussi caractérisées par la présence de minéraux argileux tels que l'illite et la chlorite, dont le degré d'ordre notamment la cristallinité s'accuse habituellement avec la température et la pression (figure 3.11). Toutes ces caractéristiques déterminent un stade d'évolution assez avancé de la matière organique (catagenèse), lequel n'est généralement atteint qu'à de grandes profondeurs d'enfouissement dépassant généralement 4 à 6 km.

Les argiles dévoniennes et carbonifères n'ayant pas atteint ces profondeurs, il est donc clair que le principal facteur responsable de cette maturation est le flux thermique dégagé par les intrusions magmatiques et que la maturation est limitée aux auréoles de contacts formées lors de la mise en place des dolérites.

III.6. Influence du magmatisme sur la formation des pièges et des roches couvertures

Les dykes et les sills peuvent constituer des barrières de perméabilité en formant alors des pièges susceptibles d'accumuler des hydrocarbures (pièges contre dyke) (figure 3.12). Les sills, lorsqu'ils ne sont pas fracturés, peuvent jouer le rôle de roches couvertures.

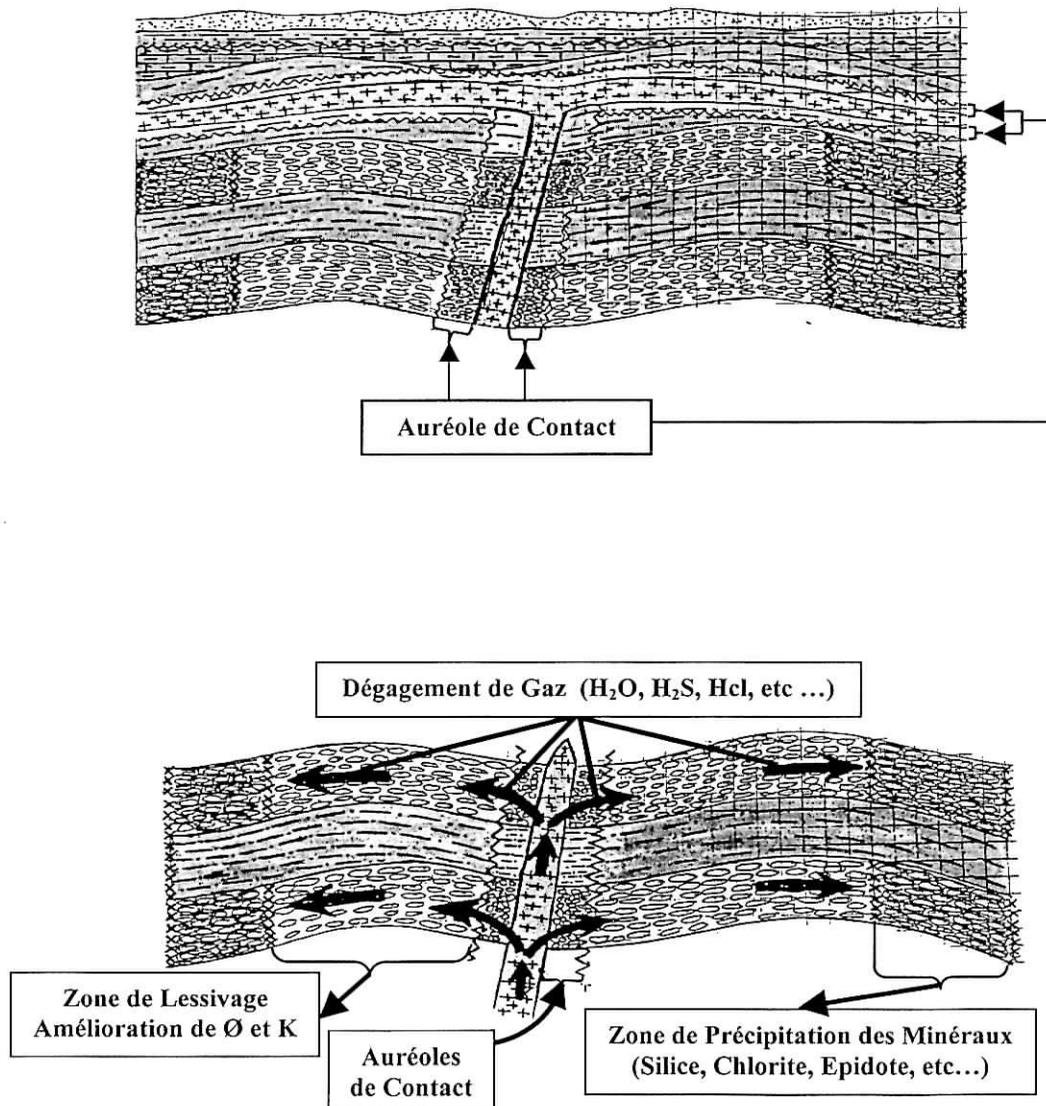


Figure 3.10 : Influence des dolérites sur les roches réservoirs
(d'après M. Benseradj, 1996)

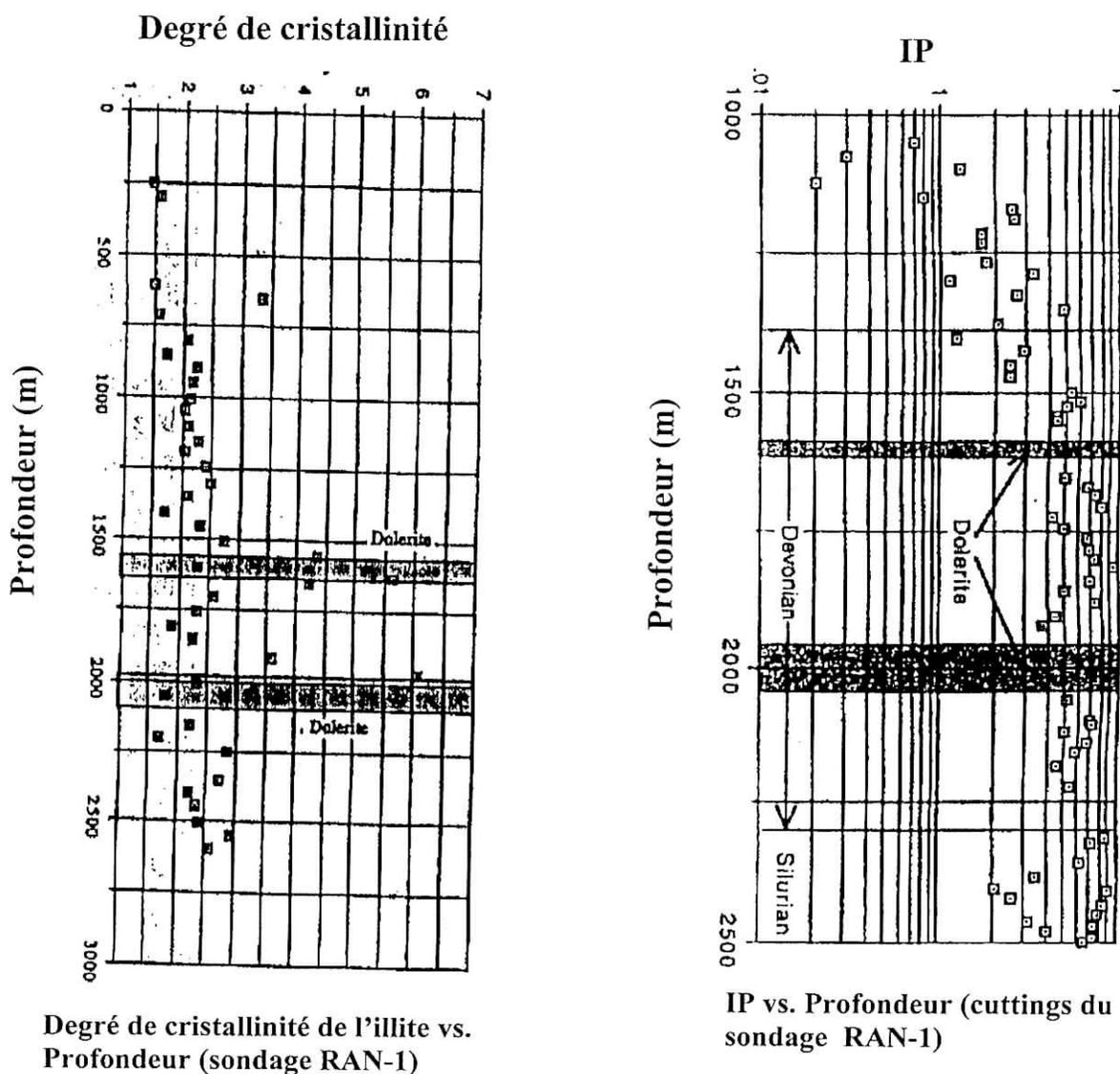
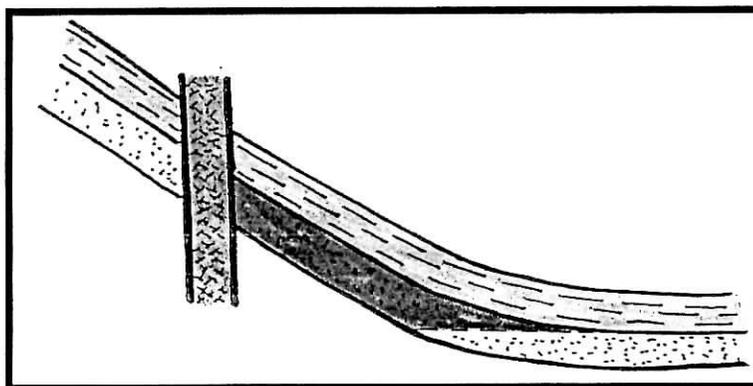
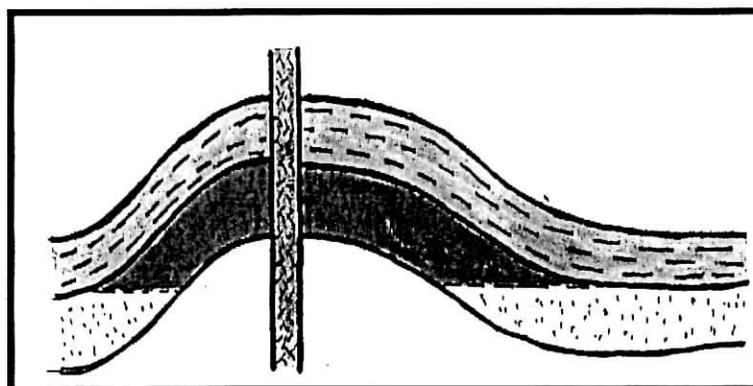


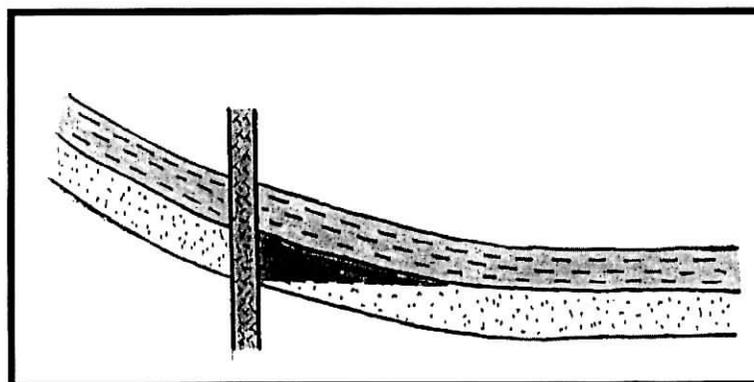
Figure 3.11 : Effets des dolérites sur les argiles et la matière organique. Exemple du sondage RAN-1 (d'après M. Benseradj, 1996).
IP = indice de production.



(a) Cas pouvant être rencontrés au Sud-Ouest du bassin de Reggane



(b) Cas pouvant être rencontrés au Nord du bassin de Reggane



(c) Cas pouvant être rencontrés au Sud-Est du bassin de Reggane

Figure 3.12 : Pièges contre dykes (d'après M. Benseradj, 1996)

Dans les bassins triasiques du Sahara oriental algérien, des coulées de basaltes jouent le rôle de couverture dans plusieurs réservoirs d'hydrocarbures. Cependant, la couverture magmatique peut avoir une influence négative en constituant un écran de perméabilité empêchant l'alimentation des réservoirs situés au-dessus.

III.7. Conclusion

La mise en place des dolérites a pour effet :

- la détérioration de la qualité des réservoirs (porosité et perméabilité) par le développement d'un ciment métamorphique (solutions hydrothermales) ;
- l'amélioration de la qualité des réservoirs aux alentours des dykes et des sills ;
- l'augmentation du degré de maturation de la matière organique des roches mères ;
- le remplissage des failles par les roches magmatiques (dolérites) ce qui conduit à la formation de barrières de perméabilités empêchant la migration secondaire des hydrocarbures et donc l'alimentation de certains réservoirs.

La mise en évidence d'un événement thermique contemporain à la mise en place des dolérites dans le bassin de Reggane pourrait conduire à une révision de l'histoire thermique du bassin, et notamment sur le degré de maturation des roches mères.

CONCLUSION GENERALE

- Le bassin de Reggane a été le siège d'une importante activité magmatique fini-triasique, qui s'est manifestée sous forme de dykes et de sills. La série primaire du bassin est recoupée par des dykes auxquels sont associés des sills qui se sont mis en place surtout dans les couches du Dévonien supérieur (Famennien) et du Carbonifère (Tournaisien et Viséen).
- Les cartes en isopaques des roches magmatiques du bassin de Reggane nous permettent de suivre les variations des épaisseurs de ces roches à l'échelle du bassin, et de localiser la direction des accidents majeurs qui ont contrôlés la montée du magma lors de la phase de distension jurassique. Ainsi, les maximums d'épaisseurs des roches magmatiques se situent le long des directions NW-SE et N-S. Par contre, dans le Viséen, les maximums d'épaisseurs se situent le long d'un accident orienté NE-SO (probablement un dyke).
- La mise en place de ce magmatisme, contemporain d'un évènement thermique majeur récemment mis en évidence dans le bassin de Reggane pourrait avoir une influence non négligeable sur son potentiel en hydrocarbures. Ainsi, il est recommandé d'effectuer une étude détaillée sur le rôle de cet évènement thermique sur la maturation des roches mères dans le bassin.

ANNEXES

ANNEXE 1

CARTES EN ISOPAQUES (ISOPACH MAP)

A.1.1. Définition

La carte en isopaques est la représentation des variations latérales d'épaisseur d'un banc, d'une couche, d'une formation, ou d'un intervalle stratigraphique au moyen des courbes reliant les point d'égale épaisseur. Ce type de carte permet d'illustrer la configuration géométrique d'un corps tridimensionnel.

Si l'épaisseur reconnue en forage n'est corrigée ni de la déviation ni du pendage on obtient une carte d'épaisseur apparente. Si elle tient compte de ces deux effets, on aura une carte en isopaques vraie.

La carte d'épaisseur apparente (isochore map) se définit par la relation :

$$E_a = C_2 - C_1$$

La carte en isopaques vraie se définit par la relation (figure A.1.1) :

$$E_r = (C_2 - C_1) (\cos \delta \cos \alpha - \sin \delta \sin \alpha \cos \gamma)$$

Avec :

- E_r : épaisseur réelle de la formation à cartographier ;
- C_2 et C_1 : respectivement les côtes de la base et du sommet de la formation considérée ;
- α : angle de pendage (par rapport à l'horizontal de la formation) ;
- δ : déviation du trou de sonde ;
- γ : différences entre l'azimut de pendage et celui de la déviation.

A.1.2. Utilisation des cartes en isopaques

La carte en isopaques permet de schématiser l'évolution des épaisseurs d'un banc, d'une couche d'une formation ou d'un intervalle stratigraphique, à l'échelle locale (étude de détail) ou régionale (étude d'un bassin).

➤ Etude régionale

Ce type de carte constitue pour la tranche géologique considérée un des documents de base pour toute interprétation. Cette carte permet de localiser les principales caractéristiques tectonique et structurale d'un bassin (localisation des hautes fonds et des zones de subsidence, position des lignes de rivages, des accidents synsédimentaires ; zones de flexures ou de failles, etc...) ainsi que ces dimensions et sa forme à l'époque du dépôt du niveau retenu.

➤ Etude de détail

Plus l'échelle est grande, la densité des points de contrôle est élevée et l'intervalle étudié restreint, plus il est possible de faire apparaître les caractéristiques de détail d'une partie d'un bassin, d'une structure ou d'un champ : amincissement sur les sommets de la structure ; délimitations de zones singulières : récifs, diapirs, haute fonds, chenaux et barres sableuses ; zone d'érosion .

A.1.3. Avantages des cartes en isopaques

Les carte en isopaques est assez simple à établir à partir des données de surface où de subsurface et d'usage très répandu, mais son interprétation est parfois délicate. La comparaison des isochrones entre deux marqueurs sismiques avec la carte des isopaques géologiques du même intervalle, apporte des éléments de contrôle des données géophysiques et éventuellement permet de mieux apprécier les lois de vitesse ou les variations de faciès.

L'association de carte en isopaques avec des cartes de faciès (carte isolithes, cartes d'isorapport, isopourcentage, d'entropie, de répartition de la lithologie et des faunes ou flores) constitue le document le plus généralement réalisé. Ce sont les document fondamentaux dans l'étude des processus géologiques et sont indispensable dans l'élaboration des synthèses stratigraphiques.

A.1.4. Elaboration des cartes en isopaques

Pour réaliser les cartes en isopaques on a besoin des épaisseurs réelles de la couche déterminés à partir des log habillés. L'élaboration d'une telle carte peut être effectuée manuellement en rapportant tous les données sur la carte de positionnement des puits. Ainsi, on note les épaisseurs devant le puits correspondant, puis on trace les courbes d'égale épaisseur. Les cartes en isopaques peuvent aussi être réalisées à partir d'un logiciel (Surfer, Géosof, etc...), en introduisant nos données et en choisissant une méthode d'interpolation adéquate, l'ordinateur nous donnera alors une carte assez représentatives de notre couche.

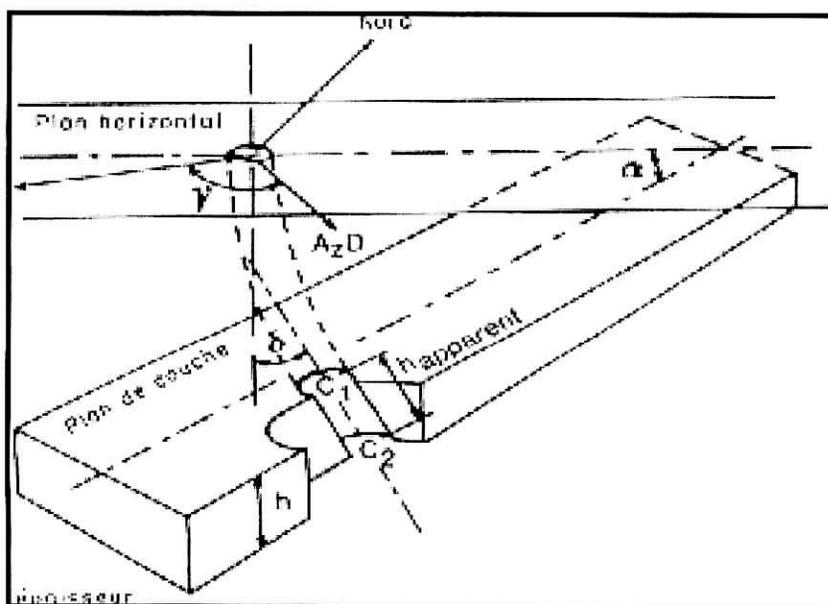


Figure A.1.1 : Calcul de l'épaisseur réelle. Correction des effets du pendage

ANNEXE 2

Les coordonnées UTM (Universal Transvers Mercator)

A.2.1. Introduction

Le système de coordonnées U.T.M. permet de représenter les coordonnées géographiques d'un point du globe terrestre au moyen d'un quadrillage basé sur la projection dite de Mercator.

Il est principalement utilisé par les Forces Armées, mais il devient de plus en plus populaire en raison de sa simplicité d'utilisation et des possibilités qu'il offre, notamment en matière de calculs assistés par ordinateur.

A.2.2. Le système de projection U.T.M.

Le système U.T.M. est fondé sur une division de la surface terrestre en carrés basés sur les méridiens et les parallèles.

Chaque carré est lui-même divisé en carrés secondaires, eux-mêmes divisés à nouveau en carrés plus petits, et ainsi de suite. Il n'y a pas de limite théorique à la profondeur des divisions, celle-ci dépendant uniquement de la précision de l'outil utilisé (cartes, récepteur G.P.S., etc.).

➤ Les fuseaux

Le monde est divisé en fuseaux ayant une amplitude de 6° en longitude, numérotés d'ouest en est de 1 à 60 ($360 = 60 \times 6$) en partant du méridien 180° .

Ainsi l'Algérie par exemple, est traversée par trois fuseaux :

- le fuseau n° 30 (longitude allant de 6° ouest à 0°) ;
- le fuseau n° 31 (longitude allant de 0° à 6° Est) ;
- le fuseau n° 32 (longitude allant de 6° Est à 12° Est).

➤ Les bandes

Horizontalement, le monde est divisé en bandes d'une amplitude de 8° en latitude, (figure A.2.1) identifiées par une lettre allant de C à X (à l'exception des lettres I et O qui pourraient être confondues avec les chiffres 1 et 0).

Ainsi, l'Algérie est traversée par les bandes :

- Q (latitude de 16° nord à 24° nord) ;
- R (latitude de 24° nord à 32° nord) ;
- S (latitude de 32° nord à 40° nord) ;

➤ **Les carrés de 100 km**

Chaque rectangle de 6° sur 8° est découpé en carrés de 100 km de côté. Chaque carré de 100 km est identifié par deux lettres.

Les lettres se suivent dans l'ordre alphabétique (à l'exception des lettres I et O) de l'ouest vers l'est et du sud au nord.

➤ **Les carrés de 10 km**

Les carrés de 100 km de côté se divisent en cent carrés de 10 km de côté. Pour les identifier, on utilise deux chiffres allant de 0 à 9 chacun, indiquant respectivement la position du carré en abscisse (horizontalement) et en ordonnée (verticalement).

➤ **Les carrés de 1 km**

Comme ci-dessus, les carrés de 10 km de côté sont divisés en carrés de 1 km de côté qui sont identifiés de la même manière par un couple de deuxièmes chiffres accolés respectivement aux chiffres représentant les carrés de 10 km.

Ainsi, par exemple, 07 15 représente le carré 7 5 de 1 km de côté situé à l'intérieur du carré 0 1 de 10 km de côté.

A.2.3. Conversion des coordonnées géographique en coordonnées UTM

Dans le bassin de Reggane, les puits appartiennent à deux faisceaux 30 et 31, mais vu que la plupart de ces puits se trouvent dans le faisceau 30 nous avons choisie ce faisceau pour notre conversion afin d'homogénéiser les coordonnées. La conversion est effectué par un logiciel de conversion (figure A.2.2).

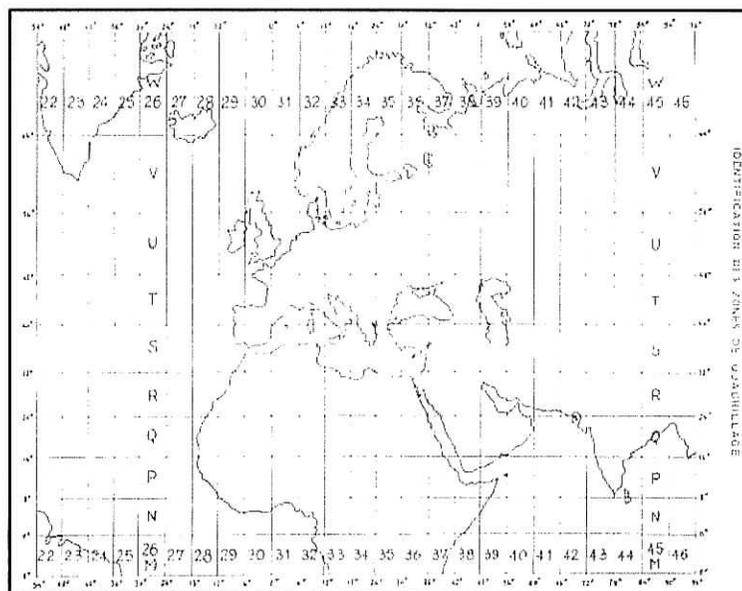


Figure A.2.1 : Identification des zones de quadrillage

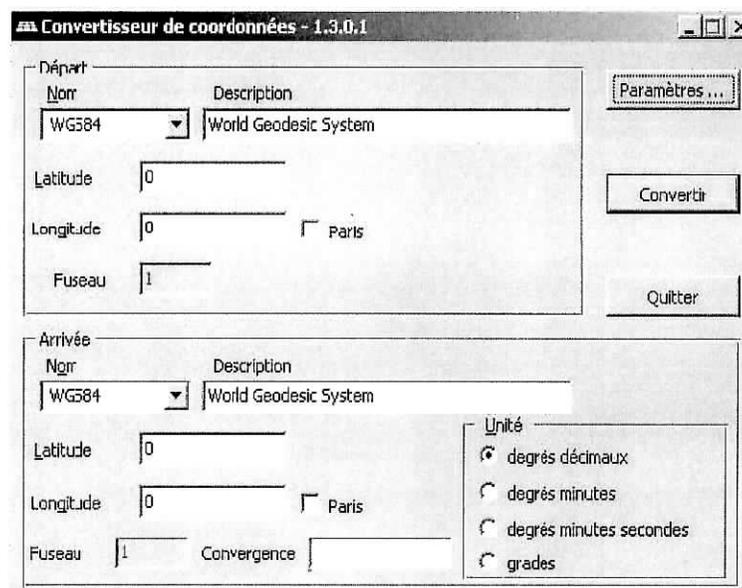


Figure A.2.2 : Menu du logiciel convertisseur

ANNEXE 3

Tableau synoptique des coordonnées UTM des puits du bassin de Reggane

Puits	sigles	Coordonnées UTM	
		X (m)	Y (m)
El Ahmar	AM-1	749073,3	3022238,66
El Ahmar	AM-2	738322,42	3001857,28
El Ahmar	AM-3	744770,8	3021382,8
Azrafil	AZ-101	824777,32	2961134,12
Azrafil Sud Est	AZSE-1	828106,19	2959740,85
Bou Bernous	BB-1	522251,81	3071683,7
Bou Bernous	BB-2	534281,97	3085834,72
Bou Bernous	BB-3	562105,53	3118901,98
Brini-1	Br-1	698347,54	2789146,94
Brini-2	Br-2	689296,02	2791694,75
Brini-3	Br-3	737091,87	2789954,25
Brini-4	Br-4	797498,89	2770419,61
Brini-5	Br-5	720007,79	2790004,6
Brini-6	Br-6	761598,19	2769684,9
Brini-7	Br-7	721507,29	2792491,41
Brini-301	Br-301	761446,18	2779072,3
Erg El Agueiba	EGB-1	845778,21	2896447,04
Djebel Heirane	DH-1	706899,15	3059944,71
Djebel Heirane Nord	DJHN-1	706137,07	3035178,58
Djebel Heirane Nord	DJHN-2	712419,33	3024571,31
Kahal Tabelbala	DHKT-1	709431,43	3060973,25
Feidj El Had	FHD-1	646639,59	3112132,99
Hassi M'Dakan	HDK-1	616340,33	3129926,62
Hassi Meriem	HMY-1	475532,98	3152367,05
In Zegmir	IZ-1	783420,42	3003941,94
In Zegmir	IZ-2	811365,08	3000970,05
In Zegmir	IZ-3	812659,92	2999928,06
In Zegmir	IZ-4	812352,64	3001183,64
In Zegmir	IZ-5	812830,81	3005201,21
In Zegmir	IZ-7	810037,26	3006671,84
In Zegmir	IZ-8	783017,45	3005904,21
In Zegmir	IZ-101	785022,04	2997786,91
Kahlouche	KL-1	750160,58	2972034,06
Kahlouche	KL-101	751817,36	2972067,07
KahalTabelbala	KT-1	683488,49	3088660,71
KahalTabelbala	KT-2	683346,98	3083579,04
KahalTabelbala	KT-2-bis	682449,96	3081379,73
KahalTabelbala	KT-3	679960,89	3079464,54
KahalTabelbala	KT-4	677405,72	3051999,06
KahalTabelbala	KT-5-bis	666211,54	3001240,03
KahalTabelbala	KT-5-ter	664219,37	3006107,34

Annexe 3 : suite.

Puits	sigles	Coordonnées UTM	
		X (m)	Y (m)
KahalTabelbala	KT-6	652557,11	2955333,01
KahalTabelbala	KT-7	694215,21	2931801,48
Mokhtar	MK-1	662411,21	2906215,6
Mouilah	MO-1	721161,68	2860481,22
Pierre Perdue	PRP-101	823369,4	2847561,03
Razzek Allah	RA-301	713387,26	2834712,83
Razzek Allah Nord	RAN-1	701565,04	2917078,53
Reggane	RG-1	810203,35	2976604,69
Reggane	RG-2	808117,76	2971500,7
Reggane	RG-3	810477,22	2976703,88
Reggane	RG-4	813932,2	2972229,6
Reggane	RG-101	810080,15	2974876,29
Reggane	RG-102	810609,96	2976922,82
Replat	RPL-101	805577,8	2908900,69
Silex pointu	SLP-1	814861,85	2877638,36
Tout El Henna	TEH-1	793257,47	2988828,44
Tiouliline	TIO-1	786024,08	2994975,87
Tiouliline	TIO-2	785154,23	2998036,37
Tidikelt	TK-105	893525,21	3005673,19
Titaf	TT-1	787874,75	3019847,32
Timmassekht	Tmst-1	764632,84	3031863,73
Timmassekht	Tmst-2	764364,62	3031549,97
Timmassekht	Tmst-4	763784,38	3030397,92
Timmassekht	Tmst-5	762919,94	3029671,05
Timmassekht	Tmst-6	760981,36	3029013,85
Chebbi	Cb-1	845282,38	2964204,24
Chebbi	Cb-2	844981,6	2964072,74
Chebbi	Cb-3	843993,75	2963768,45
Chebbi	Cb-4	843447,45	2963507,04

ANNEXE 4

Description Lithologiques des roches magmatiques du bassin de Reggane

Dans ce qui suit, nous reportons la description des roches magmatiques rencontrées par différents sondages telles qu'elle est donnée dans les rapports de fin sondages.

EGB-1

- **450-521 m** : Roche éruptives composées de minéraux blanc, gris clair à gris noir et gris verdâtre, translucide, cristalline dure avec fine passées de calcaire gris clair tendre et d'argile noire, silteuse micacées. Abondance de Pyrite

AZSE-1

- **554-581 m** : Roches éruptives noires dures et compactes ;
- **1795-1929 m** : Roche éruptives (dolérites) clairs à gris sombre, parfois verdâtre cristallines à microcristalline dure, pyriteuse ;
- **2058-2090.5 m** : Roches éruptives grises à gris, microcristalline, dures.

RG-4

- **944-1039 m** : Dolérite grise à gris-foncé et gris-verdâtre, parfois vitreuse, microcristalline dure.
- **1443-1461 m** : Dolérite grise à gris-foncé parfois gris-verdâtre vitreuse microcristalline à cristalline dure.
- **3086-3087 m ; 3089-3091 m** : niveaux de roches éruptives verte et blanc verdâtre, parfois grise compactes dures.

KL-101

- **859,5-861,5 m ; 912,8-913,20 et 927-951 m** : dolérites ;
- **1039-1041 m ; 1458 – 1460 m** : dolérites ;
- **2360-2432 m** : dolérite parfois fissurée ;
- **2584,6 m -.....** : dolérite ;

SLP-1

- **1816-1912 m** : Roche cristalline noirâtre à structure ophitique : dolérite. Dans certaines cassures, on note la présence de plaques verdâtres, lamelleuses d'aspect noire ou d'un dépôt noir d'aspect graphiteux avec stries de glissement. Métamorphisme de contact très important au toit et au mur de la dolérite.

TEH-1

- **512-515 m** : Passées de roches éruptives ;
- **525-599 m** : Dolérite vitreuse, microcristalline noire parfois blanchâtre, dur ;
- **1625-1626 m ; 1632-1635 m ; 1640-1643 m** : Roches éruptives intercalées dans des grès gris-clair ;
- **1725-1742 m** : Roche éruptive grise, cristalline, translucide, dure, parfois blanchâtre, moyennement dure, rares cristaux vert. Traces de calcite ;
- **3486-6489 m ; 3498-3501 m ; 3504-3507 m** : Passées de roches éruptives, brun-foncé et vert sombre mouchetée de noir, dur avec sphérules verdâtre et rougeâtre, d'aspect micro-conglomératique.

AZ-101

- **1745-1834 m** : Dolérite.

DHKT-1

- **110-124 m** : Roche éruptive gris clair cristalline ;
- **153-187 m** : Roche éruptive ;
- **298 – 315 m** : Roche éruptive.

IZ-101

- **249-280 m** : Dolérite passant à des argilolithes et à des quartzitiques.
- **280-302 m** : Dolérite.
- **332-396 m** : Dolérite.

RAN-1 :

- **706 à 718 m (dans le Viséen) :** Bancs de roches éruptive.
- **1561 à 1632 m (dans le Famennien) :** Roches éruptives avec fines passées d'argile gris-foncé à noire, indurée, feuilletée, silteuse et micacée.
- **1930 à 1966 m (dans le Frasnien) :** Roches éruptives sombre et gris-clair, micro-grenue, très durès et argile grise, indurée, feuilletée, parfois micacée et pyriteuse.
- **1975 à 2067 m (dans le Frasnien):** Roches éruptives sombre, texture microgrenue, très dure, mouchetée de minéraux noirs, rarement verts, aspects vitreux à fissures subverticales remplies de calcaire et de pyrite.

DJHN – 1

- **1218-1224 m (6 m) :** banc de roches éruptive noire à texture grenue à micro-grenue et vitreux.
- **1289-1325 m (36 m) :** roche éruptive noire et vert-olive parfois gris-clair à texture microgrenue à grenue
- **2954,5 – 3180 m :** alternance de roches éruptives gris clair à gris foncé et vert sombre cristalline dure et d'argile grise à gris foncé, indurée, silteuse et micacée et d'argile noire métamorphisée avec traces de grès gris clair très fin silico-argileux dur.
- **3920 – 3961 m :** roche éruptive gris-vert, blanchâtre, et gris clair à sombre, microgrenue à grenue, dur, parfois altéré, pyriteux, micacé, et mouchetée de minéraux sombre à verdâtre.

DJHN – 2

- **1514-1536,5 m :** roche éruptive gris verte foncée microgrenue, tendre avec rares passées d'argile rouge-brique légèrement carbonatée à brune indurée
- **2840-2917,5 m (87,5 m) :** roches éruptives, mouchetées blanches noires, dures et microcristallines.
- **3040-3044 m :** roches éruptives mouchetées.
- **3297,5- 3410 m :** roches éruptives gris-blanches à blanches parfois sombre, texture micro-grenue à grenue, à inclusions noires et vertes, très dures. Traces d'argile grise-foncée mouchetée.

TiO– 1

- **381-398,5 m et 412,5 – 488 m :** dolérite grise à gris-noire et gris foncé-verdâtre, vitreux tachetée de noire avec passées de grès blanc très fin bien consolidé.

- **1613-1624 m, 1684-1705 m, 1793-1794 m, 1801,5-1821,5 m, 1832-1874 m** : 6 sills doléritiques intercalés dans les argiles. (1832-1833 ; 1835-1836,5 ; 1838-1840 ; 1843-1845 ; 1847-1854 ; 1873-1874).

Description de l'ensemble : dolérites gris-vert à gris-blanchâtre et gris brunâtre, microcristalline.

TiO- 2

- **253-309 m** : alternance de dolérite grise, noire et gris-verdâtre microcristalline, de siltstone beige à marron, dur et blanc, tendre, et de grès blanc très fin à fin bien consolidé. (dolérite : 253-260 m et 275-287 m)
- **309 – 401 m** : dolérite grise à gris-noire et gris-verdâtre, microcristalline à vitreuse.
- **427-428,5 m ; 430,5-433,5 m ; 448-454 m** : dolérites microcristallines intercalées dans des argiles grises.
- **1682-1694,5 m ; 1718-1720,5 m ; 1795-1816,5 m ; 1816,5- 1833 m** : roches éruptives grises et blanches microcristallines vitreuses dures (4 sills doléritiques intercalés dans des argiles gris-foncé).
- **3392-3393 m ; 3405-3407 m ; 3408-3409 m ; 3421-3423 ; 3437-3439** : 5 sills doléritiques, roches éruptives rouge à marron et vert sombre, dures.

RG-101

- **795-882,5 m** : dolérite
- **1233-1264,75 m** : dolérite

RG-102

- **841-925 m** : dolérite
- **1240-1280 m** : dolérite.

Métamorphisme de contact : **806-841 m et 925-928 m, 1230-1240 m et 1280 – 1310 m**

RG-3

- **750-850 m** : dolérite gris-noir à gris-verdâtre, cristalline parfois vitreuse.
- **1169,5-1171,5 m ; 1175,5-1226,5 m** : dolérites grise à fines passées d'argile métamorphique.

ANNEXE 5

Tableau synoptique des roches magmatiques des sondages du bassin de Reggane

Nom de puit	Sigle	coordonnées géographiques		Zs (m)	Ec(m)	Pt(m)	Et(m)	ES
		longitude	latitude					
Azrafil	AZ-101	00°15'53''E	26°44'10''	281	89	1745	89	Tournaisien
Azrafil Sud Est	AZSE-1	0°17'52''E	26°43'22''	283,21	194	554	27,5	Viséen D
						1795	134	Tournaisien
						2058	32,5	Strunien
Bou Bernous	BB-1	02°46'27''W	27°46'18''		36	365,5	36	Famennien
Brini-1	Br-1	01°01'53''W	25°12'27''	260	>30	26	> 30	Sous le récent
Brini-2	Br-2	01°07'15''W	25°13'54''	266	73	23	73	Sous le récent
Brini-5	Br-5	00°48'59''W	25°12'44''	249	108	115	108	Sous le récent
Brini-7	Br-7	00°48'04''W	25°14'04''	277	54	89	54	Sous le récent
Brini-301	Br-301	00°24'27''W	25°06'25''	277	128	670	46	Infracambrien
						1004	82	Infracambrien
Erg El Agueiba	EGB-1	0° 27'29''E	26°08'53''	285,4	71	450	71	Tournaisien
Djebel Heirane Nord	DJHN-1	00°54'53''W	27°25'36''	269	276	1218	6	Namurien
						1289	36	Viséen
						2954	84	Famennien
						3044	8	Famennien
						3076	2	Famennien
						3081	99	Famennien
						3920	41	Frasnien
Djebel Heirane Nord	DJHN-2	00°51'11''W	27°19'48''	261	216	1514	22	Viséen
						2840	78	Famennien
						3040	4	Famennien
						3298	112	Famennien
Kahal Tabelbala	DHKT-1	00°52'37''W	27°39'32''	245	65	110	14	Famennien
						153	34	Famennien
						298	17	Famennien
Hassi Meriem	HMY-1	03°15'00''W	28°30'00''	390	18	88	18	Frasnien
In Zegmir	IZ-8	00°08'40''W	27°08'56''	180,77	13,2	213	2	Viséen C2
						228	>11,2	Viséen C2
In Zegmir	IZ-101	00°07'34''W	27°04'31''	172	103	249	17	Viséen
						280	22	Viséen
						332	64	Viséen
Kahlouche	KL-101	00°27'57''W	26°50'59''	227	106	859	2	Namurien
						912	1	Namurien
						927	24	Namurien
						1039	2	Namurien
						1458	2	Viséen
						2360	72	Tournaisien-Strunien
						2584	> 1	Famennien
Kahal Tabelbala	KT-7	01°03'05''W	26°29'44''	277,8	>100	370	>100	Viséen
Mokhtar	MK-1	01°22'25''W	26°16'07''	266	27	614	27	Tournaisien

Annexe 5 : suite

Mouilah	MO-1	00°47'36''W	25°50'53''	250	7	374	2	Viséen
						466	5	Viséen
Razzek Allah	RA-301	00°52'30''W	25°37'00''	245	72	538	18	Famennien
						561	5	Famennien
						572	49	Famennien
Razzek Allah Nord	RAN-1	00°58'48''W	26°21'42''	250	208	706	12	Viséen
						1561	71	Famennien
						1930	33	Famennien
						1975	92	Famennien
Reggane	RG-3	00°07'30''E	26°52'47''	271	154	745	100	Tournaisien
						1170	2	Famennien
						1175	52	Famennien
Reggane	RG-4	00°09'31''E	26°50'19''	264	117	944	95	Tournaisien
						1443	18	Famennien
						3086	2	Gédinnien
						3089	2	Gédinnien
Reggane	RG-101	00°07'14''E	26°51'48''	273	> 119	795	87	Tournaisien
						1233	> 32	Famennien
Reggane	RG-102	00°07'35''E	26°52'54''	273	124	841	84	Tournaisien
						1240	40	Famennien
Silex pointu	SLP-1	00°08'41''E	25°59'08''	264	96	1816	96	Strunien
Tout El Henna	TEH-1	00°02'43''W	26°59'34''	228	111	512	3	Viséen
						525	74	Viséen
						602	1	Viséen
						1625	7	Strunien
						1725	17	Famennien
						3486	3	Gédinnien
						3498	3	Gédinnien
						3504	3	Gédinnien

Annexe 5 : suite

Tout El Henna	TEH-1	00°02'43''W	26°59'34''	228	111	512	3	Viséen
						525	74	Viséen
						602	1	Viséen
						1625	7	Strunien
						1725	17	Famennien
						3486	3	Gédinnien
						3498	3	Gédinnien
						3504	3	Gédinnien
Tiouliline	TIO-1	00°07'00''W	27°02'59''	157	159	381	18	Viséen
						412	76	Viséen
						1613	11	Famennien
						1684	21	Famennien
						1793	1	Famennien
						1802	19	Famennien
						1832	1	Famennien
						1835	1	Famennien
						1838	2	Famennien
						1843	1	Famennien
						1847	7	Famennien
						1873	1	Famennien
Tiouliline	TIO-2	00°07'29''E	27°04'39''	169	180	253	7	Viséen
						275	12	Viséen
						309	92	Viséen
						427	1	Viséen
						430	3	Viséen
						448	6	Viséen
						1682	12	Famennien
						1718	2	Famennien
						1795	21	Famennien
						1816	16	Famennien
						3392	1	Siegénien
						3405	2	Siegénien
						3408	1	Siegénien
						3421	2	Siegénien
3437	2	Siegénien						
Tanezrouft	TZ-301	0°13'15''W	25°35'15''	258	21	400	21	Viséen

BIBLIOGRAPHIE

- Aliev, M., Aït Laoussine, N., Avrov, V., Aleksine, G., Barouline, G., Lakovlev, B., Korj, M., Kouvykine, J., Makarov, V., Mazanov, V., Medvedev, E., Mkrtchiane, O., Moustafinov, R., Oriev, L., Oroudjeva, D., Oulmi, M., Saïd, A., 1971.** Structures géologiques et perspectives en pétrole et en gaz du Sahara algérien. Altamira-Rotopress, S.A., Madrid, Espagne, 275 p.
- Bayer, R., Lesquer, A., 1978.** Les anomalies gravimétriques de la bordure orientale du craton ouest africain : géométrie d'une suture pan-africaine. Bull. Soc. Géol. France, 20, 863-876.
- Benseradj, M., 1996.** Etude des dolérites dans le bassin de Reggane. Conséquences sur les accumulations en hydrocarbures. Rapport inédit. Sonatrach, Exploration, 37 p.
- Beuf, S., Biju-Duval, B., De Charpal, O., Gariel, O., Bennacef, A., Black, R., Arene, J., Boissonnas, J., Cachau, F., Guerange, B., Gravelle, M., 1968.** Une conséquence directe de la structure du bouclier africain : l'ébauche des bassins de l'Ahnet et du Mouydir au Paléozoïque inférieur. Publ. Serv. Geol. Algérie (Nelle Série), 38, 105-134.
- Beuf, S., Biju-Duval, B., De Charpal, O., Rognon, R., Bennacef, A., 1971.** Les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara. Sédimentation et discontinuités : évolution structurale d'un craton. Publications Institut Français du Pétrole. Collection « Science et Technique du Pétrole », n°18, éditions Technip, Paris, 464 p.
- Bitam, L., Fabre, J., (Eds.), 1996.** Géodynamique du craton ouest africain central et oriental : héritage et évolution post-panafricains. Mémoires du Service Géologique de l'Algérie, n°8, Boumerdès, 311 p.
- Black, R., Latouche, L., Liegeois, J.P., Caby, R., Bertrand, J.M., 1994.** Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield (Central Sahara). Geology, 22, 641-644.
- Boucheneb, R., 1989.** Stratigraphie du Paléozoïque des bassins de Reggane-Tindouf et aperçu sur le Précambrien. Rapport inédit, Sonatrach.
- Chabou, M.C., 2001.** Etude pétrographique et géochimique du magmatisme mésozoïque de l'Ouest de la plate-forme saharienne. Mémoire de Magister. Ecole Nationale Polytechnique. Inédit. 181 p.
- Conrad, J., 1972.** Distension Jurassique et tectonique éocrétacée sur le nord-ouest de la plate-forme africaine (Bassin de Reggane, Sahara central). C. R. Acad. Sci. Paris, 274, 2423-2426.
- Conrad, J., 1981.** La part des déformations posthercyniennes et de la néotectonique dans la structuration du Sahara central algérien, un domaine relativement mobile de la plate-forme africaine. C. R. Acad. Sci. Paris, 292, 1053-1056.
- Conrad, J., 1984.** Les séries carbonifères du Sahara central algérien : stratigraphie, sédimentation, et évolution structurale. Thèse de Doctorat ès sciences, Université d'Aix Marseille, 178 p.

- Davis, J.C., 1986.** Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley and Sons, New York, 200 p.
- Donzeau, M., Fabre, J., Moussine-Pouchkine, A. 1981.** Comportement de la dalle saharienne et orogénèse varisque. Essai d'interprétation. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord. Alger, 69, 137-172.
- Etienne, J., Le Fournier J., 1959.** L'influence de la dolérite sur la valeur des réservoirs gréseux dans le Paléozoïque saharien. Conclusion de l'étude effectuée sur le Tournaisien de Reggane 101. Rapport inédit. Sonatrach, Exploration, 5 p.
- Fabre, J., 1976.** Introduction à la géologie du Sahara algérien. SNED, Alger, 422 p.
- Follot, J., 1952.** Ahnet et Mouydir. Monographie régionale, 1^{re} série : Algérie, N°1, XIX^{ème} congrès géologique international, Alger, 80 p.
- Ghoul, H., Belhameche, F., Hamidou, M., 2000.** Le potentiel pétrolier des leads de la région de Razk Allah et de Brini, Bassin de Reggane. Rapport inédit. Sonatrach, Exploration.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971.** A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci., 8, 523–548.
- Jacquemont, P., 1971.** Les dolérites du Paléozoïque saharien. Rapport inédit, Exploration, Sonatrach, 22 p.
- Khennous, M., 1997.** Les bassins sédimentaires paléozoïques avoisinants la ride de l'Ougarta (Sahara algérien occidental). Thèse de Doctorat, Université de Gutenberg, 138 p.
- Klett, T.R., 2000.** Total Petroleum Systems of the Grand Erg/Ahnet Province, Algeria and Morocco—The Tanezzuft-Timimoun, Tanezzuft-Ahnet, Tanezzuft-Sbaa, Tanezzuft-Mouydir, Tanezzuft-Benoud, and Tanezzuft-Béchar/Abadla. U.S. Geological Survey Bulletin 2202-B. 144 p.
- Landim, B., Monteiro, M., Corsi, C., 2002.** Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER®. Publ de l'université de Rio Claro, Brésil, 21 p.
- LeBas, M.J., LeMaitre, R., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986.** A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica diagram. J. Petrol., 27, 745–750.
- Logan, P., Duddy, I., 1998.** An investigation of the thermal history of the Ahnet and Reggane Basins, Central Algeria, and the consequences for hydrocarbon generation and accumulation. In : D.S. MacGregor, R.T.J. Moody, D.D. Clark-Lowes (Eds.), Petroleum Geology of North Africa. Geol. Soc. Lond., Spec. Publ., 132, 231–263.
- Mullen, E., 1983.** MnO-P₂O₅-TiO₂ : a major element discriminant for basaltic rock of environments and its implications for petrogenesis. Earth Planet. Sci. Lett., 62, 53-62.
- Oyarzun, R., Doblas, M., Lopez-Ruiz, J., Cebria, J.M., 1997.** Opening of the central Atlantic and asymmetric mantle upwelling phenomena: Implications for long-lived magmatism in western North Africa and Europe. Geology, 25, 727-730.

Perrodon, A., 1980. Géodynamique pétrolière genèse et répartition des gisements d'hydrocarbures. Ed Masson et ELF Aquitaine, 318 p.

Piqué, A., Laville, E., 1995. L'ouverture initiale de l'Atlantique central. Bull. Soc. Géol. Fr., 6, 725-738.

Rognon, P., De Charpal, O., Biju-Duval, B., Gariel, O., 1968. Les glaciations « siluriennes » dans l'Ahnet et le Mouydir (Sahara Central). Publ. Serv. Geol. Algérie (Nelle Série), 38, 53-81.

Smith, B., Bayou, B., Derder, M.E.M., Henry, B., Yelles-Chaouche, A., Djellit, H., 1998. Tectonic history of the dolerites from the Reggane basin (Algeria) as evidenced by the Paleomagnetism. *ESG XXII* General Assembly, Nice, France.

Wilson, M., 1997. Thermal evolution of the Central Atlantic passive margins : Continental break-up above a Mesozoic super-plume. *Journal of the Geological Society of London*, 154, 491-495.