Etude géochimique du processus de concentration du tungstène et de l'étain dans les granites "taourirts" du Hoggar central (Algérie)

Lakhdar Benmoussa

▶ **To cite this version:**

Lakhdar Benmoussa. Etude géochimique du processus de concentration du tungstène et de l'étain dans les granites "taourirts" du Hoggar central (Algérie). Minéralogie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1981. Français. NNT : . tel-00716654

HAL Id: tel-00716654
https://theses.hal.science/tel-00716654

Submitted on 11 Jul 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

présentée
à l'Université Scientifique et Technique de GRENOBLE
pour obtenir le titre de
DOCTEUR DE TROISIEME CYCLE
Spécialité : Géologie appliquée

par

Monsieur Lakhdar BENMOUSSA

ÉTUDE GÉOCHIMIQUE DU PROCESSUS DE CONCENTRATION DU TUNGSTENE ET DE L'ÉTAIN DANS LES GRANITES « TAOURIRTS » DU HOGGAR CENTRAL (ALGÉRIE)

Soutenue le 30 septembre 1981 devant la Commission d'Examen :

MM.	R. MICHEL	Président
	P. GIRAUD	Examinateur
	J. AMOSSE	Rapporteur
	J. LAMEYRE	Examinateur
	J. BOISSONNAS	Examinateur
	A. SLOUGUI	Examinateur

THÈSE

présentée
à l'Université Scientifique et Technique de GRENOBLE
pour obtenir le titre de
DOCTEUR DE TROISIEME CYCLE
Spécialité : Géologie appliquée

par

Monsieur Lakhdar BENMOUSSA

ÉTUDE GÉOCHIMIQUE DU PROCESSUS DE CONCENTRATION DU TUNGSTENE ET DE L'ÉTAIN DANS LES GRANITES « TAOURIRTS » DU HOGGAR CENTRAL (ALGÉRIE)

Soutenue le 30 septembre 1981 devant la Commission d'Examen :

MM.	R. MICHEL	Président
	P. GIRAUD	Examinateur
	J. AMOSSE	Rapporteur
	J. LAMEYRE	Examinateur
	J. BOISSONNAS	Examinateur
	A. SLOUGUI	Examinateur

Au terme de ce travail, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé à le réaliser.

Tout d'abord, Monsieur le Professeur P. GIRAUD, qui a accepté ma candidature au D.E.A. et Monsieur J. AMOSSE, chargé de recherche au CNRS qui m'a proposé le sujet sur la géochimie des granites Taourirts.

Monsieur P. GIRAUD m'a fait profiter de son expérience de la géologie générale du Hoggar, qu'il en soit vivement remercié.

Monsieur J. AMOSSE qui a assuré la direction de ce travail m'a initié aux méthodes géochimiques appliquées aux granites, m'a apporté son précieux concours pour l'interprétation des diagrammes géochimiques et l'étude de l'analyse statistique ; qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie Monsieur le Professeur R. MICHEL pour l'honneur qu'il me fait de bien vouloir présider mon jury de thèse.

Mes remerciements vont également à Monsieur le Professeur J. LAMEYRE de l'Université de Paris VI qui a accepté de juger ce travail et de me faire part de ses observations pertinentes.

Monsieur J. BOISSONNAS, ingénieur à la commission des communautés européennes, grâce à ses connaissances des Taourirts, m'a fait part de ses critiques constructives pour la rédaction de ce mémoire, je lui en suis très reconnaissant.

Monsieur SLOUGUI, Directeur de la division Recherches à la SONAREM a mis à ma disposition tous les moyens matériels nécessaires au bon déroulement des deux missions effectuées sur le terrain. Je le remercie également pour avoir accepté de faire partie du jury.

J'adresse mes remerciements à Monsieur le Directeur, Messieurs les ingénieurs et techniciens algériens et soviétiques du laboratoire central de Boumerdes, ainsi qu'aux responsables de la prospection du Hoggar pour le concours qu'ils m'ont apporté pour la collecte des échantillons et leur analyse.

Messieurs QUINTIN et MARTIN m'ont accueilli dans leur laboratoire de géologie à Paris VI pour l'analyse du tungstène et du zirconium, je les en remercie.

Je suis également reconnaissant à Monsieur le Professeur LE BRETON, à Madame UHRY et à Monsieur TRINQUART de l'aide précieuse qu'ils m'ont apportée pour l'interprétation des résultats en analyse statistique.

Au laboratoire de l'Institut de Géologie Dolomieu, je tiens à remercier Messieurs DEMANGEON, DOMEYME, COCHET, TELMAT, Mesdames KELLER et USELLE pour la préparation et l'analyse des échantillons, Monsieur VIVIER pour le tracé et l'interprétation des diagrammes géochimiques, Monsieur BUFFET pour ses conseils en analyse statistique.

Je remercie Monsieur le Directeur Général de la SONAREM pour son soutien qui m'a permis de mener à bien ce travail.

Dans cette liste, je ne saurais oublier tous mes camarades de 3° cycle pour les bons moments passés avec eux.

Je n'ai sûrement pas cité les noms de tous ceux qui m'ont aidé pour la réalisation de ce mémoire : qu'ils sachent que je ne les oublie pas.

TABLE DES MATIERES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I - GEOLOGIE GENERALE DU HOGGAR	3
1 - INTRODUCTION	5
2 - SERIES ET CYCLES OROGENIQUES PRECAMBRIENS	6
3 - LE COMPARTIMENTAGE TECTONIQUE	8
4 - CLASSIFICATION LITHOSTRATIGRAPHIQUE ET CHRONOLOGIQUE DES EVENEMENTS TECTONOMETAMORPHIQUES	11
4.1. Chaîne pharusienne	11
4.2. Le Hoggar central	11
4.3. Le Hoggar oriental	13

Page

CHAPITRE II - ETUDE DES INTRUSIONS DE TYPE TAOURIRT DANS L'ENSEMBLE DU HOGGAR ET DES MINERALISATIONS ASSOCIEES 15

1 - DISTRIBUTION DES GRANITES DE TYPE TAOURIRT 17

2 - REPARTITION DES TAOURIRTS A TRAVERS LES GRANDS ENSEMBLES DU HOGGAR 18

2.1. Horst-anticlinorium du Hoggar ouest 18

2.2. Megasynclinorium du Hoggar ouest 18

2.2.1. Pétrographie 18
2.2.2. Structure 20
2.2.3. Minéralisations 20

2.3. Anticlinorium du Hoggar central 21

2.3.1. Région de TAMANRASSET 21

2.3.1.1. Pétrographie 21
2.3.1.2. Minéralisation 21

2.3.2. Région de LAOUNI 23

2.3.2.1. Pétrographie 23
2.3.2.2. Minéralisations 23

3 - REMARQUES SUR LES MINERALISATIONS DU HOGGAR 25

3.1. Minéralisations non liées aux Taourirts 25

3.2. Position des zones minéralisées par rapport aux intrusions granitiques 25

3.3. Zonalité spatiale des minéralisations à l'échelle du Hoggar 27

4 - CRITERES DE RECONNAISSANCE DES GRANITES TAOURIRTS 23

4.1. Critère régional 28

4.2. Critère structural 28

4.3. Critère aéroradiométrique 28

4.4. Critère morphologique 28

4.5. Critère de zonalité et de mode de mise en place 29

Page

CHAPITRE III - ETUDE PETROGRAPHIQUE DES TROIS INTRUSIONS : NAHDA - TAMAZAROR - EL BEMA 30

1 - INTRODUCTION 32

2 - ETUDE DE L'INTRUSION NAHDA 33

2.1. Présentation 33
2.2. Etude pétrographique 34
2.2.1. Les granites à gros grain 34
2.2.2. Les granites à grain moyen et fin 39
2.2.3. Les aplopegmatites de bordure et les filons annulaires 39
2.2.4. Les lambeaux du toit 40
2.2.5. Les greisens et roches greisénisées 40

3 - ETUDE DE L'INTRUSION TAMAZAROR 42

3.1. Présentation 42
3.2. Etude pétrographique 42
3.2.1. Les apogranites ou granite à muscovite, microcline, quartz et albite 42
3.2.2. Les granites greisénisés et les greisens 45
3.2.3. Les granites kaolinisés à chlorite, kaolinite et quartz 46

4 - ETUDE DE L'INTRUSION EL BEMA 47

4.1. Présentation 47
4.2. Etude pétrographique 47
4.2.1. Granites porphyroïdes à gros grain 47
4.2.2. Granites porphyroïdes à grain moyen et fin 49

Page

CHAPITRE IV - ETUDE GEOCHIMIQUE DES PROCESSUS DE DIFFERENCIATION 50

1 - INTRODUCTION 52

1.1. Méthodes analytiques utilisées 52
1.2. Analyse des éléments majeurs 53
1.3. Analyse des éléments traces 53

2 - CLASSIFICATION DES FACIES DES GRANITOIDES A L'AIDE DE DIAGRAMMES GEOCHIMIQUES 55

2.1. Diagramme $SiO_2 = f(Fe_2O_3 + MgO + TiO_2)$ BOISSAVY-VINEAU (1979) 55
2.2. Diagramme H. DE LA ROCHE 57
2.2.1. Diagramme B = f(F) 59
2.2.2. Diagramme Q = f(F) 63
2.3. Diagramme K = f(Rb) ou ligne pegmatique de SHAW (1968) 66
2.3.1. Diagramme K/Rb = f(Rb) 68
2.4. Diagramme Ba = f(Sr) et Ba = $f(K_2O)$ NAHDA 73
2.4.1. Diagramme K/Ba = f(Ba) NAHDA 73
2.4.2. Diagramme Sr = f(Rb); log Rb/Sr = f|log (Sr)| NAHDA 76
2.4.2.1. Diagramme Sr = f(Rb) 76
2.4.2.2. Diagramme log Rb/Sr = f | log (Sr)| 76

3 - ELEMENTS TRACES 80

3.1. But de l'ACPN 80
3.2. Caractéristique de la méthode ACPN 80
3.3. Etude des trois intrusions NAHDA, TAMAZAROR, EL BEMA par ACPN 81
3.3.1. Etude de l'intrusion NAHDA 81
3.3.2. Etude des intrusions TAMAZAROR et EL BEMA 83
3.3.3. Comportement du tungstène et de l'étain dans l'ACPN 84
3.4. Etude des matrices de corrélation dans les trois intrusions 85

Page

3.5. Etude du comportement de l'étain et du tungstène par la méthode de "régression multiple" 87

3.5.1. NAHDA 87
3.5.2. EL BEMA 87
3.5.3. TAMAZAROR 88

4 - MODELE DE CONCENTRATION CONCLUSION 90

5 - ORIGINE DU STOCK METAL 93

CONCLUSION GENERALE 94

ETUDE GEOCHIMIQUE DU PROCESSUS

DE CONCENTRATION DU TUNGSTENE ET DE L'ETAIN

DANS LES GRANITES "TAOURIRTS" DU HOGGAR CENTRAL

(ALGERIE)

I N T R O D U C T I O N

Les phénomènes géochimiques responsables des minéralisations de tungstène et d'étain font l'objet depuis quelques années d'un assez grand nombre d'études. Outre l'intérêt métallurgique des éléments, il est apparu que les processus qui président à la mise en place de ces minéralisations pouvaient être cernés d'une façon plus quantitative compte tenu des moyens et des méthodes qui peuvent être mis en oeuvre aujourd'hui par la géochimie. Parmi les processus qui conduisent à une minéralisation filonienne, la concentration des éléments à partir des teneurs géochimiques semble un problème majeur qui conditionne l'importance et la nature de la minéralisation. Nous avons retenu ce problème pour la présente étude qui sera effectuée dans la province stanno-wolframifère du Hoggar.

Découverte il y a une vingtaine d'années, cette province a fait l'objet jusqu'ici de plusieurs études géologiques et pétrographiques.

La SONAREM* a entrepris depuis une vaste campagne de prospection qui a permis de mettre à jour plusieurs indices et de préciser leur intérêt économique.

La quasi-totalité des minéralisations connues de ce type sont en liaison directe avec des intrusions de granites différenciés dits "Taourirts".

A certaines de ces intrusions sont liés des gisements d'étain. La plupart toutefois sont accompagnées de minéralisations wolframifères ou quelquefois stanno-wolframifère.

* Société Nationale de Recherches et d'Exploitation Minière (En Algérie).

Le caractère désertique de la région permet un échantillonnage aisé et exhaustif des formations granitiques correspondantes qui sont souvent largement entamées par l'érosion.

Nous nous sommes proposés d'entreprendre l'étude pétrographique et géochimique de ces granites. La teneur et l'importance des minéralisations associées aux différentes intrusions autorisent une étude comparative. Celle-ci doit nous permettre d'établir une typologie géochimique de ces roches qui est fonction des gisements qui leur sont associés.

Le premier chapitre sera consacré à l'étude sommaire de l'évolution des conceptions sur la géologie du Hoggar depuis le travail fondamental de M. LELUBRE (1952).

Le deuxième chapitre abordera la répartition et l'étude des intrusions de granites jeunes type "Taourirt", et des minéralisations qui leur sont associées.

Le troisième chapitre traitera de la pétrographie des intrusions Taourirts retenues pour ce travail.

Enfin, le quatrième chapitre étudiera l'aspect géochimique de ces mêmes intrusions et cherchera à mettre en évidence les caractères distinctifs de ces granites auxquels sont liées des minéralisations de nature ou d'importance différente.

Les conséquences métallogéniques seront mises en évidence et les critères qui permettent de prévoir l'existence d'une minéralisation seront dégagés.

CHAPITRE I

GEOLOGIE GENERALE DU HOGGAR

1 - INTRODUCTION

Depuis le travail fondamental de M. LELUBRE (1952), à qui est due la première synthèse de la géologie du Hoggar, de nombreuses recherches furent menées sur ce massif cristallin du Sahara central. Il n'est pas possible de citer tous les résultats obtenus et nous ne ferons qu'emprunter certains des travaux synthétiques, rapports et cartes, entrepris par la SONAREM. Ces documents (carte 1/2 000 000 SONAREM 1972-1976, rapport SONAREM-ARMINES* 1977) ont pris tout particulièrement en compte soit les travaux effectués par M. LELUBRE et les géologues du BRMA** (carte géologique 1/500 000, 1961), soit ceux des thèses d'état récentes consacrées aux terrains cristallins (M. GRAVELLE, 1969 ; R. CABY, 1970 ; J. BOISSONNAS, 1973 ; J.M. BERTRAND, 1974 ; G. VITTEL, 1980).

En gros, on peut présenter les grands traits de la géologie du Hoggar sous trois aspects : celui de M. LELUBRE et des géologues du BRMA basé sur la notion de séries et de cycles orogéniques, celui des géologues de la SONAREM entre 1972-1976 reprenant le précédent aspect mais insistant sur les grands traits structuraux, enfin celui du rapport SONAREM-ARMINES (1977) éclairé par les données récentes fournies par l'étude structurale de certains secteurs et les datations radiométriques.

En ce qui concerne les granites "Taourirts", nous nous référerons évidemment surtout au travail fondamental de J. BOISSONNAS, 1973.

* ARMINES : Association pour la Recherche et le Développement des Méthodes et Processus Industriels.

** BRMA : Bureau de Recherches Minières en Algérie.

2 - SERIES ET CYCLES OROGENIQUES PRECAMBRIENS

La figure 1 montre tout d'abord les grands ensembles définis par M. LELUBRE (1961). Pour ce dernier, "l'Antécambrien comprendrait deux grands ensembles de formations séparées par une coupure fondamentale, la discordance pharusienne. Il correspondrait par conséquent à la succession de deux cycles orogéniques : "le cycle suggarien et le cycle pharusien". En outre, il individualisait à l'Ouest du massif un Suggarien à faciès "In Ouzzal", à l'extrême nord-ouest la série pourprée de l'Ahnet et dans l'Adrar des Iforas le Nigritien, ces deux dernières séries étant postpharusiennes. Enfin, il insistait sur le découpage du massif par de gigantesques accidents dont certains ont par exemple permis l'installation des fossés tectoniques pharusiens entre des horsts suggariens.

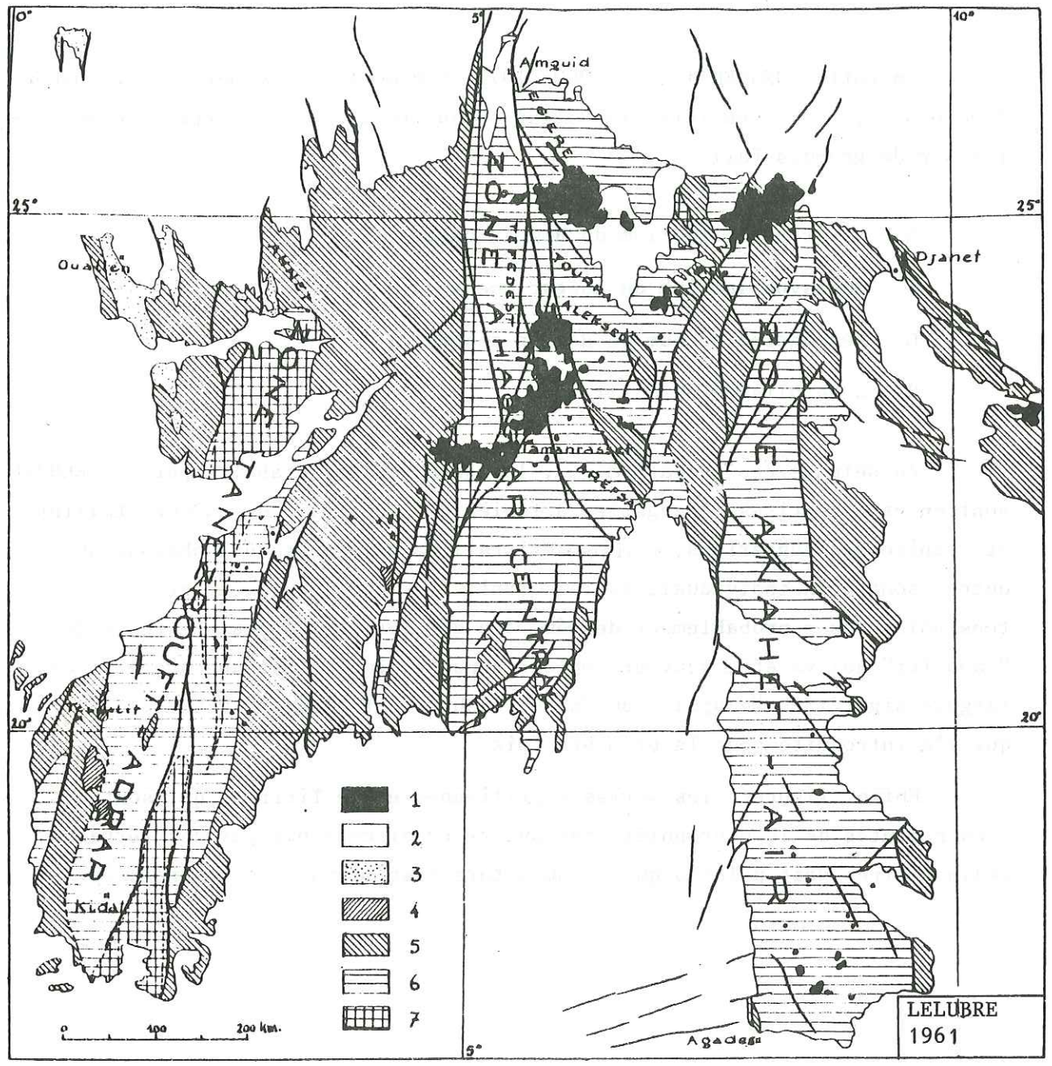


FIG. 1. — Esquisse structurale du Sahara central. (Adrar des Iforas d'après R. KAILOFF [1958]; Air d'après M. RAULAIS [1959] et F. JOULIA [1957]).

1 : volcanisme ; 2 : couverture sédimentaire ; 3 : série pourprée de l'Ahnet ; 4 : Nigritien ; 5 : Pharusien ; 6 : Suggarien ; 7 : Suggarien à « faciès In Ouzzal ».

3 - LE COMPARTIMENTAGE TECTONIQUE

La carte SONAREM 1/2 000 000, 1972-1976, dont une réduction est donnée figure 2 , subdivise le Hoggar en quatre grands compartiments délimités par de grandes failles.

A - Horst anticlinorium du Hoggar ouest ;

B - Mégasynclinorium du Hoggar ouest ;

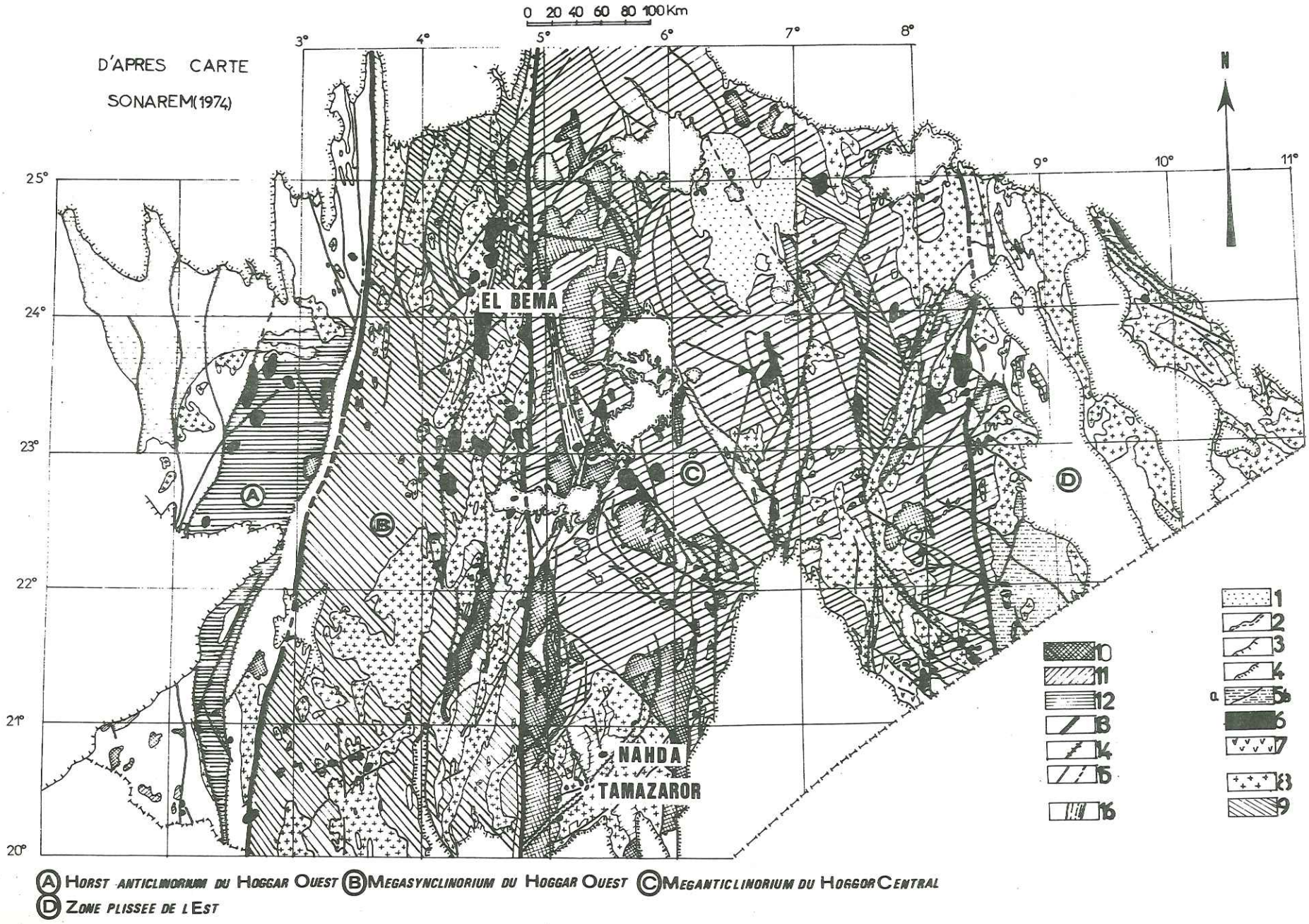
C - Mégaanticlinorium du Hoggar central ;

D - Zone plissée de l'Est.

Au sein de ces compartiments, les subdivisions établies par M. LELUBRE sont en gros reprises : Suggarien à faciès d'In Ouzzal, schistes cristallins et granitoïdes suggariens, schistes cristallins et granitoïdes pharusiens. En outre, sont bien individualisés les granites du complexe Taourirt et les plutons volcaniques probablement de même âge que les précédents. Le terme de "Taourirt" qui va être souvent employé dans ce mémoire est une appellation targuie signifiant "coupole" ou "pain de sucre" et c'est M. LELUBRE (1952) qui l'a introduite pour la première fois.

Enfin, figurent les séries nigritiennes et de Tiririne qui sont les plus récentes de la boutonnière, recouverte en discordance par des terrains sédimentaires soit paléozoïques (couverture tassilienne), soit crétacés.

FIG.2 ENSEMBLES STRUCTURAUX DU HOGGAR



(A) HORST ANTICLINORIUM DU HOGGAR OUEST (B) MEGASYNCLINORIUM DU HOGGAR OUEST (C) MEGANTICLINORIUM DU HOGGOR CENTRAL
(D) ZONE PLISSEE DE L'EST

Légende Fig. 2 - Ensembles structuraux du Hoggar

1 - Quaternaire

2 - Couverture basaltique

3 - Roches terrigenes sédimentaires

4 - Couverture tassilienne

5 - a. Série "Nigritien" b. Série "Tiririne"

6 - Granites "Taourirts"

7 - Plutons volcaniques probablement du même âge que les granites "Taourirts"

8 - Granitoïdes du Pharusien

9 - Roches indifférenciées du Pharusien

10 - Granitoïdes du Suggarien

11 - Roches indifférenciées du Suggarien

12 - Suggarien : faciès In-ouzzol

13 - Failles limitant les zones structuro-faciales

14 - Failles sur lesquelles se placent les granites "Taourirts"

15 - Failles réelles et hypothétiques

4 - CLASSIFICATION LITHOSTRATIGRAPHIQUE ET CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS TECTONOMETAMORPHIQUES

L'esquisse de la figure 3 , d'après SONAREM-ARMINES, montre la répartition des grands domaines géologiques et structuraux définis à l'heure actuelle. Voyons leurs caractéristiques essentielles.

4.1. LA CHAINE PHARUSIENNE

A 1'Est du craton ouest-africain, le domaine comporte en son centre, comme une armature, le môle granulitique d'In Ouzzal d'âge sans doute archéen (> 2 700 Ma). A 1'Ouest, on note surtout la juxtaposition, à la faveur de fractures, de terrains catazonaux (certains d'âge protérozoïque inférieur entre 2 000 et 2 700 Ma), de séries quartzitiques (d'âge protérozoïque moyen à supérieur 2 000 à 800 Ma), de métaplutonites, métavolcanites, métagrauwaches (1000- 650 Ma) et des formations d'âge éocambrien à cambrien (série pourprée de 1'Ahnet < 570 Ma).

A L'Est du môle d'In Ouzzal, le rameau central est caractérisé par une certaine homogénéité structurale (plis subméridiens), par le grand développement de plutons de faible profondeur et par 1'existence d'une coupure au sein du Pharusien S. Lat. Cette coupure est marquée par une pénéplaination de substratum protérozoïque (1 000 - 800 Ma), avec de nombreuses intrusions variées, suivie d'une transgression du Protérozoïque terminal (800 - 650 Ma).

4.2. LE HOGGAR CENTRAL

Si le domaine précédent montrait déjà une certaine complexité avec en particulier des matériaux d'âge différent, les plus anciens ayant bien sûr été plus ou moins repris par les événements tectonométamorphiques pan-africains (650 - 600 Ma), le Hoggar central est encore plus hétérogène et son

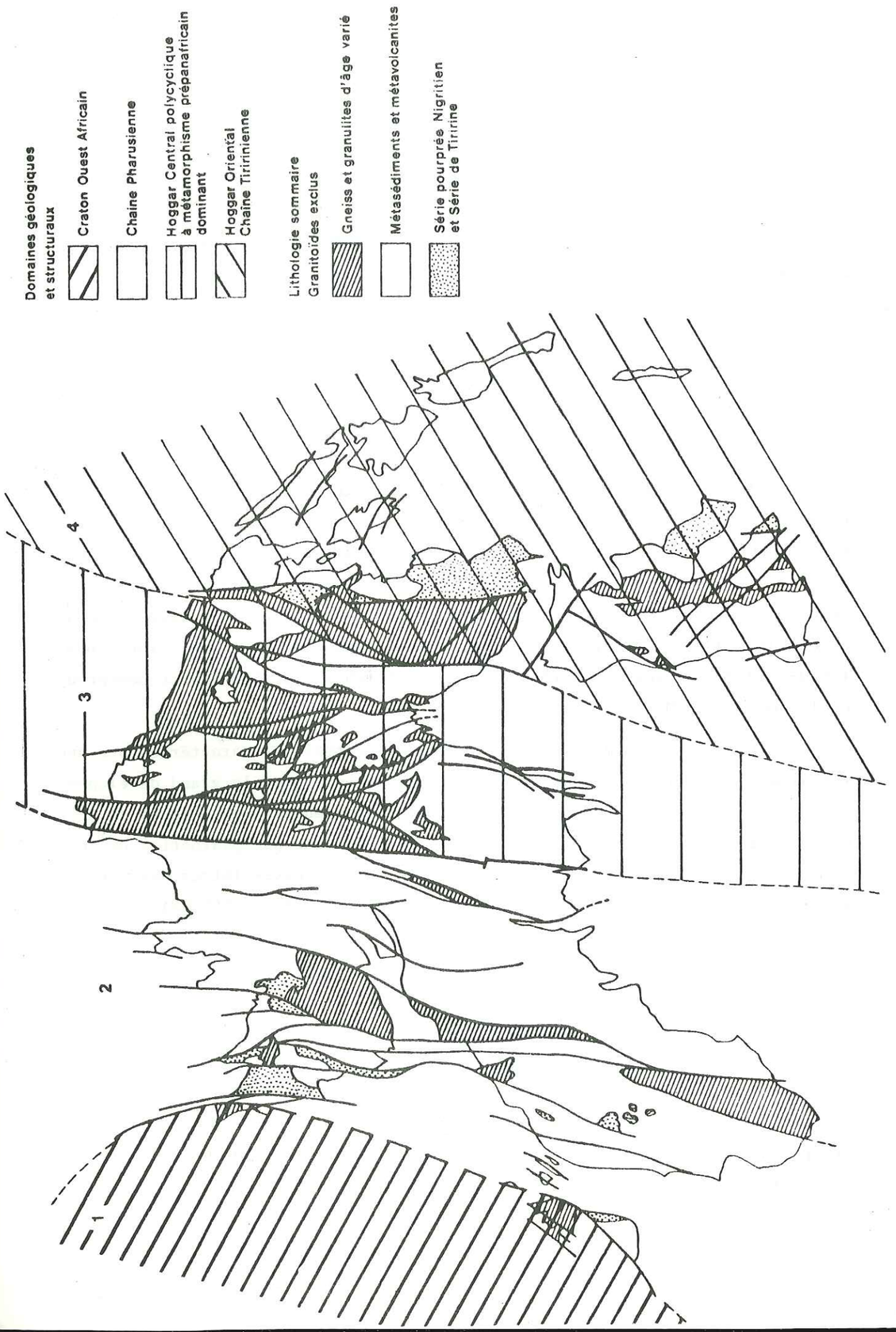


Fig 2 - Les grandes divisions géologiques et structurales du Hoggar

histoire plus difficile à décrypter.

Il est constitué en effet, pour l'essentiel, de formations polycycliques affectées à des degrés variables par les évènements tectonométamorphiques kibarien (1 000 ∓ 100 Ma) et panafricain (ici 650 - 550 Ma).

Les roches constitutives sont pour une grande part des gneiss et des métasédiments affectés par un métamorphisme de haut degré.

On note aussi d'étroites lanières et de petits bassins de sédiments et de volcanites moins métamorphiques. Trois zones ont été définies. Ce sont d'Ouest en Est :

. La zone Tefedest - Atakor caractérisée par l'abondance des granitoïdes d'âge présumé panafricain.

. La zone Egéré-Arefsa caractérisée par l'importance des déformations et du métamorphisme d'âge kibarien (1 000 Ma) et l'existence d'un métamorphisme panafricain.

. La zone orientale (Oumelalen - Temassint) où les métasédiments anciens d'âge protérozoïque inférieur (entre 2 000 et 2 700 Ma) sont largement développés.

4.3. LE HOGGAR ORIENTAL

Son étude systématique est relativement récente et encore non achevée. Mais on peut déjà en donner quelques traits essentiels. Il s'agit d'un domaine caractérisé par la chaîne tiririnienne, chaîne linéamentaire encadrée à l'Ouest et à l'Est par deux socles plus anciens structuralement différents l'un de l'autre.

Trois sous-domaines peuvent être distingués :

. A l'Ouest, le môle d'Issalan riche en métasédiments variés mésozonaux très replissés (dont des métaquartzites à mica chromifère) au sein desquels s'observent des massifs stratoïdes anté-tectoniques d'orthogneiss alcalins d'âge inconnu ;

. A l'Est, la zone pré-tiririnienne du Tafassasset, lithologiquement plus variée et recoupée par de vastes massifs granodioritiques. Cette zone,

précocement stabilisée, supporte en discordance la série de Tiririne. Cette dernière est injectée dans la partie sud par des sills acides et basiques dont la mise en place a été datée radiométriquement à 660 Ma ;

. Le long de l'accident 8°30' se développe graduellement, au Nord de la latitude 22°30, le rameau orogénique tiririnien correspondant au plissement de plus en plus interne en conditions épizonales puis mésozonales de la série de Tiririne. Cet évènement est daté de 580 Ma (granites syn à tarditectoniques de type Adaf).

CHAPITRE II

ETUDE DES INTRUSIONS DE TYPE TAOURIRT DANS L'ENSEMBLE DU HOGGAR ET DES MINERALISATIONS ASSOCIEES

1 - DISTRIBUTION DES GRANITES DE TYPE TAOURIRT

Le nombre de granites Taourirts répertoriés au HOGGAR atteint actuellement le chiffre de 120 environ. Ils affleurent sous forme de massifs de taille variable et de dykes. Ils sont encaissés dans de vastes batholites de granitoïdes pharusiens et suggariens et de schistes cristallins de nature et d'âge variés.

D'après la carte n° 2 leur répartition est la suivante :

34 % se trouvent dans les granitoïdes pharusiens,

24 % se trouvent dans les roches indifférenciées du Pharusien,

12 % se trouvent dans les granitoïdes suggariens,

30 % se trouvent dans les roches indifférenciées du Suggarien.

Ces chiffres montrent qu'il y a beaucoup plus de Taourirts dans les terrains pharusiens que suggariens. En outre, plus de 70 % d'entre eux sont contrôlés de façon directe par des failles, 20 % ne le sont pas de façon évidente et 10 % seulement ne paraissent avoir aucun lien avec elles. La plupart de ces failles sont de direction nord-ouest, ensuite viennent celles de direction nord-sud et enfin celles orientées nord-est.

2 - REPARTITION DES TAOURIRTS A TRAVERS LES GRANDS ENSEMBLES DU HOGGAR (fig. 2)

2.1. HORST-ANTICLINORIUM DU HOGGAR OUEST

Dans sa partie nord, il existe plusieurs Taourirts : IN HIHAOU - NAHALET - TIHIMATINE - etc. Leur mise en place est contrôlée par des failles nord-est. Ces massifs ne comportent pas de minéralisation intéressante. Seules quelques faibles anomalies de Nb et Ta (Ta = 0,003 %) sont signalées.

2.2. MEGASYNCLINORIUM DU HOGGAR OUEST (fig. 4)

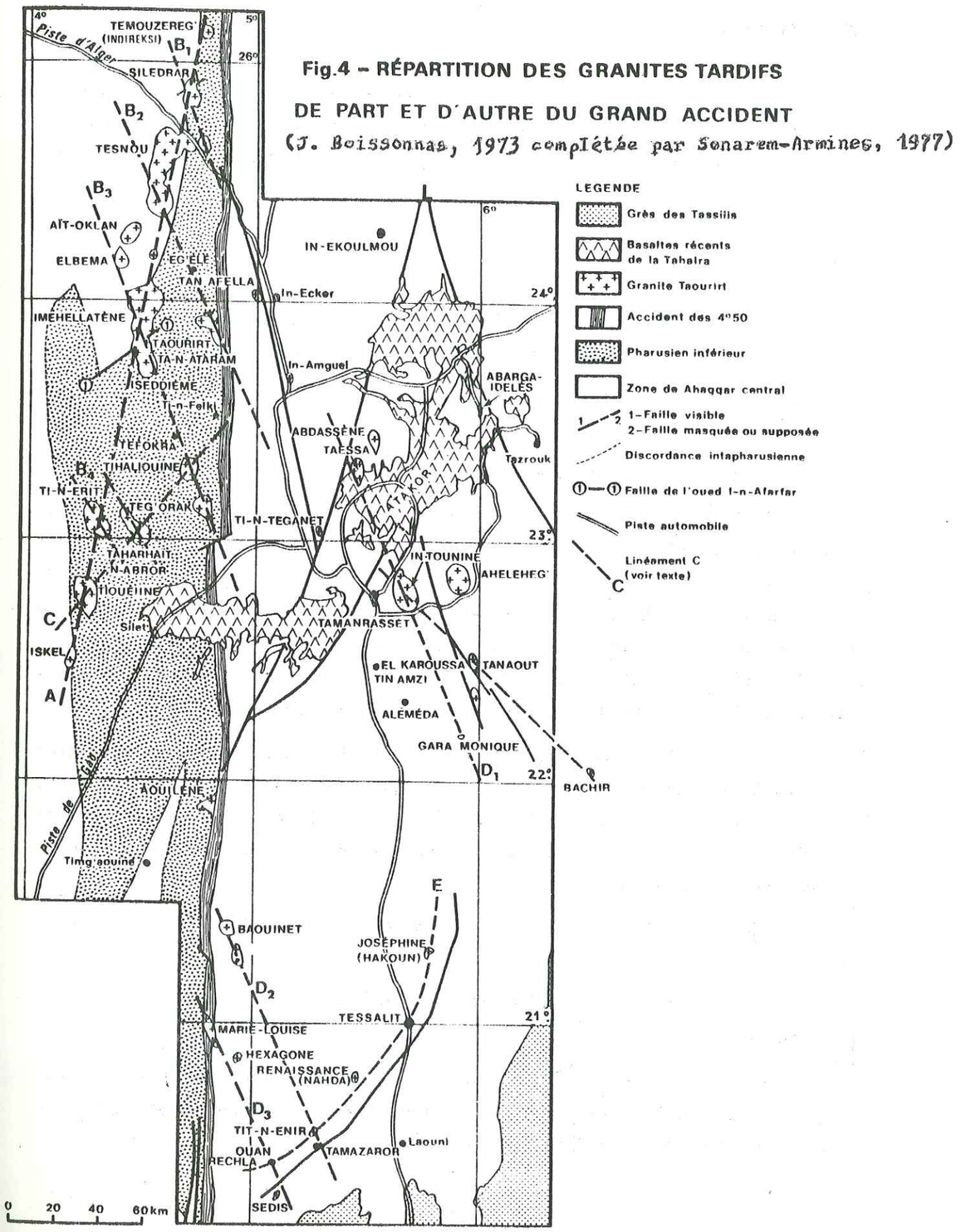
Les Taourirts sont tous associés aux granitoïdes pharusiens. La plupart d'entre eux sont concentrés dans la partie nord. Ils sont contrôlés soit par des failles subméridiennes : TIOUEIINE - TI-N-ERIT - IMEHELLATENE - TESNOU - SILEDRAR - TEMOUZEREG, soit par un réseau de failles de direction nord-est : TESNOU - EG'ELE - TAN-ATARAM ; EL BEMA - IME HELLATENE - TEFOKRA - TIHILAOUINE - TEG'ORAK.

Certains de ces massifs peuvent atteindre de grandes dimensions : jusqu'à 25 kms de plus grand allongement. Ceci est dû en de nombreux cas à la coalescence d'unités différentes (TESNOU ; IMEHELLATENE - ISEDDIENE).

2.2.1. Pétrographie

Le faciès le plus courant est un granite calco-alcalin potassique ou monzonitique assez grossier. Il renferme 20 à 30 % de quartz, des phénocristaux de microcline, des cristaux hypidiomorphes et zonés de plagioclases, 8 à 10 % de biotite ferrifère et quelquefois de la hornblende Il faut citer parmi les minéraux accessoires : fluorine, allanite, sphène, apatite et zircon.

Fig.4 - RÉPARTITION DES GRANITES TARDIFS DE PART ET D'AUTRE DU GRAND ACCIDENT
(J. Boissonnas, 1973 complétée par Sonarem-Armines, 1977)



2.2.2. Structure

Ils présentent souvent des zones emboîtées avec un anneau périphérique de granite à grain moyen, deux ou trois zones emboîtées à l'intérieur, la taille des grains diminuant d'une zone à l'autre en allant vers le centre.

2.2.3. Minéralisations

En dehors d'EL BEMA EST où il existe un petit gisement d'étain, la plupart des Taourirts de ce compartiment sont faiblement minéralisés.

A AIT OKLAN, des indices de cassitérite sont signalés dans des filons de quartz.

Les intrusions du groupe TESNOU sont intéressantes à divers titres.

A TESNOU 2, J. BOISSONNAS (1973), citant un rapport du BRMA, signale la présence de pegmatites à cassitérite en gros cristaux avec de la tourmaline. C'est la seule pegmatite reconnue qui contienne en même temps de la cassitérite et de la tourmaline et ce fait exceptionnel au HOGGAR mérite d'être souligné. TESNOU 6 ou TESNOU-EST contient plusieurs petites minéralisations (indices) en wolfram localisées dans des lentilles de quartz. Les alluvions drainant TESNOU 7 ou TIN AKKOR renferment quelques indices de scheelite.

A EL BEMA-EST, dans la partie sud du massif, existent, au sein du granite à grain fin albitisé, cinq filons de quartz à cassitérite orientés N40°, longs d'un km et puissants de 0,30 à 1,5 m. La taille des cristaux disséminés irrégulièrement varie de 0,5 à 5-10 cm. La cassitérite est également disséminée dans les stockwerks.

L'estimation totale des réserves est de quelques milliers de tonnes d'étain.

Enfin, il faut signaler la présence de Taourirts dans la partie sud du HOGGAR ouest.

Ils sont tous contrôlés par des failles de direction nord-nord-ouest. La plupart se trouvent sur la feuille d'IN-TEDEINI et présentent de faibles anomalies géochimiques en Ta (0,003 %).

2.3. ANTICLINORIUM DU HOGGAR CENTRAL

Couvrant une très vaste superficie, il renferme le plus grand nombre de Taourirts minéralisés. Ils se répartissent dans deux régions : TAMANRASSET et LAOUNI.

2.3.1. Région de TAMANRASSET

La plupart des Taourirts de la région de TAMANRASSET sont contrôlés d'une part par des failles nord-ouest : GARA MONIQUE - TAESSA, d'autre part, par des failles nord-nord-ouest : BACHIR - TANOUT - TIN TEGANET ; de son côté IN TOUNINE est situé au croisement de ces deux failles. La mise en place de ces massifs s'est faite à faible profondeur comme en témoignent les bordures figées. Dans les massifs de l'AHELEHG et de l'IN TOUNINE, des filons de granophyre sont même signalés par J. BOISSONNAS (1973).

2.3.1.1. Pétrographie

Le granite courant est à grain grossier, à orthose dominante, oligoclase, biotite ferrifère et fluorine. Une évolution postmagmatique poussée s'est fait sentir dans certains massifs. Ainsi à TAESSA, IN TOUNINE, on note, dans des granites à grain fin et moyen, la présence de fluorine, topaze, micas légèrement lithinifères. A ces roches sont associés quelques greisens et filons de quartz minéralisés en cassitérite et wolframite. Il faut noter l'absence totale de tourmaline.

2.3.1.2. Minéralisations

La plupart des massifs Taourirts de cette région sont plus ou moins minéralisés en cassitérite et wolframite. Ces minéralisations se trouvent localisées dans les formations suivantes par ordre de fréquence décroissante : filons et filonnets de quartz, amas de greisen, pegmatites. Mais les minéralisations les plus intéressantes économiquement se trouvent au sud de TAMANRASSET à TIN AMZI, EL KAROUSSA et BACHIR.

TIN AMZI

Le gisement situé à 20 km au sud-est de TAMANRASSET se trouve au milieu d'une cuvette à gneiss et granitogneiss très fracturés ; le Taourirt a été rencontré par sondage entre 120 et 200 m de profondeur sous la minéralisation. Celle-ci se présente sous forme de filons de quartz et de greisens de wolframite prépondérante, de cassitérite, de quelques traces de sulfures (pyrite et chalcopyrite) dans une gangue de quartz et de greisen.

Les filons ont des teneurs moyennes de 0,72 % WO_3 et 0,28 % Sn. Les réserves sont estimées à quelques milliers de tonnes d'Sn et de WO_3.

EL KAROUSSA

Il est séparé du précédent par l'oued TIN AMZI à quelques kilomètres au Nord-Est de TIN AMZI et situé dans le même contexte géologique (gneiss et granitogneiss). Ici aussi, le Taourirt a été rencontré par sondage en dessous de la minéralisation. Celle-ci se présente sous forme, soit de filons quartzeux riches en cassitérite prépondérante et wolframite (teneur moyenne des filons 0,75 % Sn et 0,32 % WO_3), soit de pegmatites et de stockwerks assez pauvres en minerai.

Se rencontrent aussi de la chalcopyrite, de la pyrite et de la blende.

BACHIR

A 90 km au Sud-Est de TIN AMZI, le gisement de BACHIR est encaissé dans des gneiss et des granito-gneiss recoupés par des dykes de microdiorites. Le Taourirt n'a pas encore été recoupé par les sondages mais tout laisse supposer qu'il existe là encore en-dessous de la minéralisation. Celle-ci se rencontre dans des filons de quartz aux bordures greisénisées et dans des greisens quartzeux. Ce gisement contient essentiellement de la wolframite, très peu de cassitérite et des traces de chalcopyrite et pyrite. La teneur moyenne en WO_3 est de 1,87 % et les réserves totales du gisement dépassent 10 000 tonnes de WO_3.

Pour finir, il faut signaler deux petits gisements : TIN TEGANET à wolframite au Nord-Ouest de TAMANRASSET et ALEMEDA à cassitérite au sud de TIN AMZI. Ainsi, dans la région sud de TAMANRASSET , la plupart des gisements sont mixtes, mais à partir de BACHIR, ils deviennent uniquement wolframifères.

2.3.2. Région de LAOUNI (Fig. 4)

Le groupe méridional des massifs de LAOUNI est remarquable par leur répartition selon trois alignements : celui des petites coupoles de SEDIS, OUAN RECHLA, TAMAZAROR, TIT ENIR, NAHDA, TESSALIT, HAKOUN (JOSEPHINE) sur une faille courbe sud-ouest - nord-est ; ceux de FODIL (MARIE-LOUISE), GUERIOUN (HEXAGONE), OUAN RECHLA, SEDIS d'une part, de BAOUINET Nord et Sud, TILLIK, TIT-N-ENR, TAMAZAROR, d'autre part, ces deux derniers alignés sur deux failles parallèles orientées Nord-Ouest - Sud-Est.

2.3.2.1. Pétrographie

La plupart de ces granites sont classés par les géologues de la SONAREM comme des "apogranites" qu'ils définissent comme étant des granites leucocrates à grain fin à quartz, albite, microcline et qui résultent de la transformation des granites calco-alcalins primitifs lors de leur évolution postmagmatique.

En définitive, ces granites seraient plutôt un concentré d'éléments d'hygromagmatophiles pouvant être considéré ou bien comme le résidu de la différenciation d'un magma ou bien comme le résultat d'une concentration d'éléments volatils dans un magma granitique.

Comme dans la région de TAMANRASSET, nous ne rencontrons pas de tourmaline dans ces divers massifs.

2.3.2.2. Minéralisations

C'est dans cette région que se situe l'important gisement de wolframite de Nahda situé à 1,5 km au Nord-Est d'un important massif Taourirt décapé par l'érosion ; c'est lui qui a été l'un des thèmes principaux de notre recherche.

Dans cette région, se rencontrent également les pegmatites à béryl et à zinnwaldite d'Ouan Rechla, les greisens riches en wolframite de Sedis ainsi qu'une faible minéralisation en cassérite, wolframite en tantale et niobium à TAMAZAROR.

Gisement de NAHDA

Il s'agit d'un réseau filonien encaissé dans un granite migmatitique et de gneiss oeillés. Sous les filons minéralisés, le Taourirt a été recoupé à 205 m de profondeur. Nous pensons d'ailleurs qu'il s'agit probablement du même Taourirt que celui de l'intrusion Nahda situé au Sud-Ouest du champ minéralisé. Le minerai se rencontre essentiellement dans les filons quartzeux et dans les épontes greisénisées. Ces filons contiennent surtout de la wolframite avec occasionnellement de la scheelite et de la chalcopyrite. D'autres minéraux ont été trouvés en petites quantités : cassitérite, fluorine, molybdénite, bismuthite, mispickel, blende, galène.

La teneur moyenne des principaux filons est de 1,66 % de WO_3 et les réserves prouvées dépassent 10 000 tonnes de WO_3.

3 - REMARQUES SUR LES MINERALISATIONS DU HOGGAR

3.1. MINERALISATIONS NON LIEES AUX TAOURIRTS

En dehors des minéralisations liées aux Taourirts et qui sont les plus intéressantes économiquement, nous devons en signaler quelques autres qui ne sont pas liées aux Taourirts. Elles ne présentent aucun intérêt économique. Il s'agit pour la plupart de simples indices trouvés dans les fonds de batée. Ces traces existent aussi bien dans le HOGGAR central sur les feuilles de SEROUEMENT, ISSALAN, AMGUID, GARAT EL DJOUNOUNE, IN ECKER que dans l'Ouest du Hoggar sur les feuilles IFETESSENE, TINTANET FIRT, OUALLEN. fig 4bis.

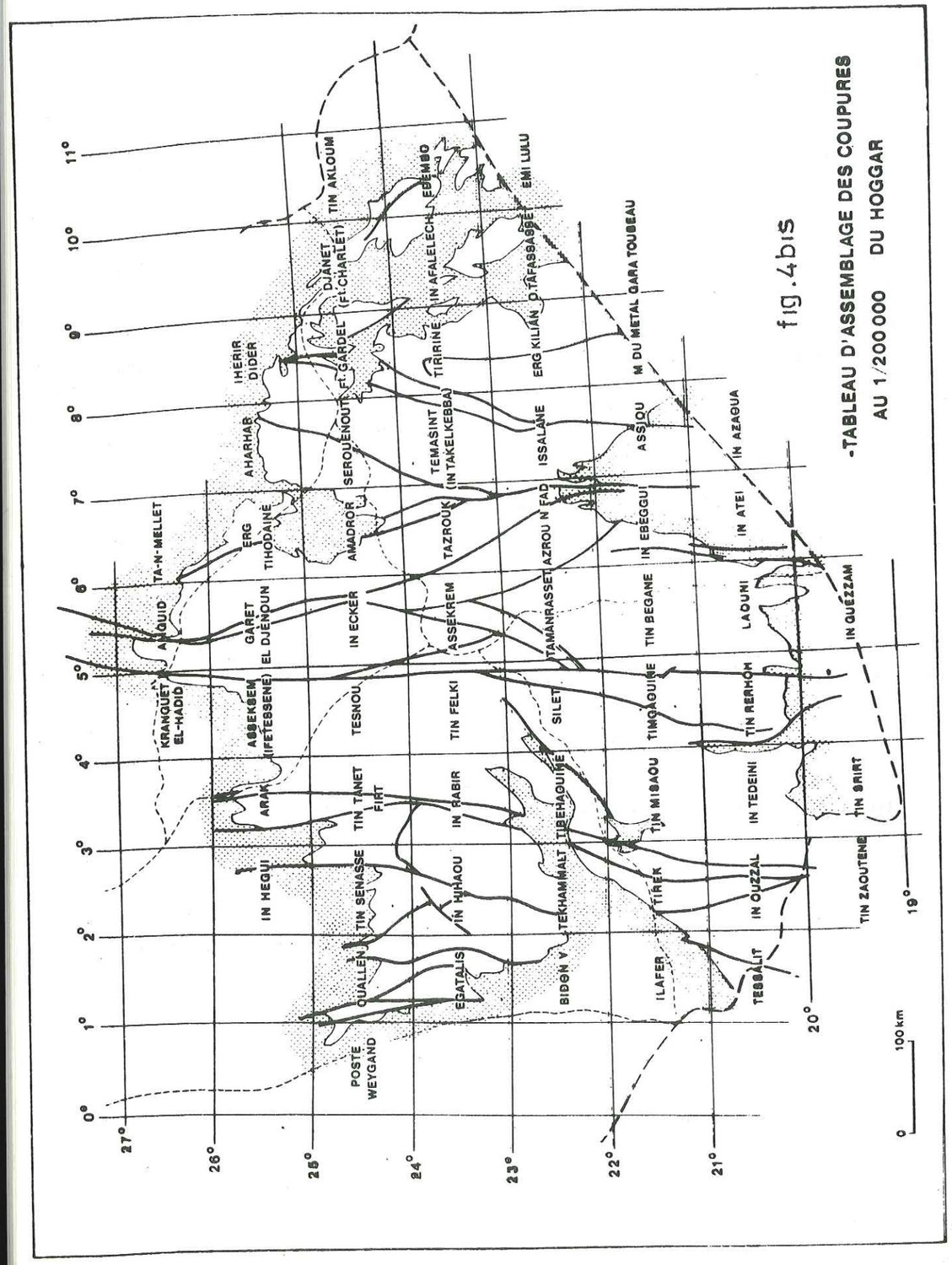
En outre, quelques indices en place ont été signalés, en particulier : scheelite dans les pyroxénites de l'oued BENE LERE sur la feuille de GARAT EL DJENOUN ; cassitérite et wolframite liées aux granites intrusifs de DJILOUET sur la feuille de DJANET.

Ainsi, la présence conjointe des indices et gisements liés aux granites Taourirts et des traces disséminées dans le HOGGAR témoigne que ce massif constitue une véritable province métallogénique à étain-tungstène.

3.2. POSITION DES ZONES MINERALISEES PAR RAPPORT AUX INTRUSIONS GRANITIQUES

Les minéralisations des gisements les plus intéressantes se situent soit dans la partie apicale des intrusions soit dans les roches encaissantes de leur toit. Comme nous l'avons déjà signalé à TIN AMZI, EL KAROUSSA et NAHDA, des sondages ont permis d'atteindre le Taourirt situé au-dessous de la zone minéralisée. Dans ces conditions, ce sont les intrusions qui affleurent très peu ou pas du tout qui sont les plus intéressantes.

Selon ANTONOV et GLYNSKI (1976), la répartition des minéralisations est fonction de l'environnement structural existant lors de la mise en place des diverses intrusions. Dans les zones intensément fissurées cette mise en place s'est effectuée dans les conditions d'un système ouvert : lors de l'arrivée du magma et de sa phase volatile, celle-ci s'est échappée dans l'atmosphè-



re. A l'appui de cette hypothèse, on note dans la région de TAMANRASSET très fracturée que la mise en place des dykes de granite Taourirt ne s'est pas accompagnée du développement des processus autométasomatiques ni de filons minéralisés importants.

Seuls des greisens plus ou moins minéralisés leur sont associés.. Le massif de l'Aheleheg en est un exemple typique.

Par contre, les gisements de TIN AMZI, EL KAROUSSA, BACHIR et NAHDA se sont formés sous une couverture de terrains pharusiens peu disloqués dans un système clos. Il s'ensuit qu'au toit des intrusions, les roches autométasomatiques sont abondantes et que s'observent des apogranites et des greisens. Les éléments volatils se sont concentrés dans l'apex de l'intrusion au-dessous des roches imperméables et ont contribué à la transformation des granites ainsi qu'à la formation des minéralisations en Sn, W et métaux rares (Ta, Nb entre autres).

3.3. ZONALITE SPATIALE DES MINERALISATIONS A L'ECHELLE DU HOGGAR

Nous pouvons dire qu'à l'échelle du HOGGAR, il existe une zonalité spatiale dans la distribution des minéralisations en cassitérite et wolframite. En effet, au Nord de la boutonnière, nous rencontrons le petit gisement de cassitérite d'EL BEMA, ensuite au Sud de TAMANRASSET ce sont plutôt des minéralisations mixtes telles que celles de TIN AMZI et d'EL KAROUSSA. Dans la région de LAOUNI au Sud de la précédente, c'est la wolframite qui l'emporte à BACHIR et NAHDA. Enfin, plus au Sud encore, ce sont de nouveau de faibles minéralisations mixtes : TAMAZAROR, TITENIR, OUAN RECHLA et SEDIS.

Cette zonalité spatiale de l'Sn et du W n'est pas sans rappeler celle signalée par ROUTHIER (1980) à l'échelle de l'Europe et de l'Espagne. Il n'est pas impossible que d'autres éléments puissent présenter une zonalité spatiale à l'échelle du HOGGAR. A cet égard, on peut noter l'abondance du béryllium à NAHDA et à GUERIOUN et son absence apparente dans la région de TAMANRASSET

4 - CRITERES DE RECONNAISSANCE DES GRANITES TAOURIRTS

4.1. CRITERE REGIONAL

Ils se localisent de préférence dans le HOGGAR Central.

4.2. CRITERE STRUCTURAL

Pour la plupart, ils se situent à l'intersection de failles appartenant à deux des trois réseaux suivants : subméridien, nord-est-sud-ouest et nord-ouest-sud-est.

4.3. CRITERE AERORADIOMETRIQUE

L'interprétation des données aéroradiométriques permet la mise en évidence de fortes anomalies en thorium, uranium et potassium 40. Ces anomalies correspondent pour la plupart à la présence d'affleurements de Taourirts mais seules sont à prendre en considération celles qui sont trois fois plus importantes que le clarcke.

4.4. CRITERE MORPHOLOGIQUE

Les granites Taourirts S-St ressortent bien dans la topographie en raison de leur structure en dôme, en coupole, plus ou moins surbaissée, aux flancs raides, se débitant fréquemment en grandes dalles comme des pelures d'oignon. Leur hauteur peut atteindre jusqu'à 1 000 m dans le Nord du HOGGAR occidental (TESNOU, TEG ORAK, TANAFELLA) alors que dans la région de LAOUNI, certains sont presque plats (NAHDA) et que d'autres atteignant 200 m d'altitude (TAMAZAROR). Les contacts avec l'encaissant sont en général francs et sécants. Ils sont souvent cicatrisés par des dykes d'aplite et des filons pegmatitiques. En gros on peut dire que les parties affleurantes de ces massifs

correspondent à des "saillies apicales" de batholites qui s'élargissent en profondeur. Ils développent parfois dans les roches encaissantes un métamorphisme de contact. A TESNOU, par exemple, les schistes encaissants sont transformés en cornéennes à cordiérite et orthoclase.

4.5. CRITERESDE ZONALITE ET DE MODE DE MISE EN PLACE

Les différents massifs montrent le plus souvent des structures plus ou moins concentriques, chaque anneau S.Lat montrant une relative constance de sa composition chimico-minéralogique. Selon les massifs, le nombre de zones est variable : deux comme à TIHALIOUINE et trois comme à TIN EZZONA Sud et IMEHELATENE.

Suivant l'hypothèse de BOISSONNAS (pages 389 à 403), il y a deux types de zonation selon que l'alcalinité augmente de la périphérie vers le centre ou qu'elle diminue. D'après nos observations, les éléments volatils, donc les plus différenciés, auraient plutôt tendance à se concentrer dans la partie apicale des massifs pour des raisons de gravité ou de température de fusion. Ce caractère annulaire est plus marqué dans les Taourirts de l'ensemble du HOGGAR occidental que dans celui du HOGGAR central. D'autre part, la taille des intrusions décroît du Nord au Sud et selon BOISSONNAS (1973) cela est dû à une diminution du volume des intrusions et non à une érosion moins importante.

Dans le cas du HOGGAR Central, la mise en place des Taourirts s'est faite à faible profondeur par "abattage" de l'encaissant sans que la dimension des panneaux abattus puisse être connue.

Dans la plupart des Taourirts, on peut également observer une zonalité verticale. De haut en bas, nous avons :

. des greisens dus à l'hydrothermalisme avec phénomène de quartzification,
. des apogranites avec albitisation poussée,
. des granites sains non transformés.

Cette observation, valable pour certaines intrusions montagneuses (TAMAZAROR dans notre cas) est difficile à vérifier lorsqu'il s'agit d'intrusion fortement érodée comme à NAHDA.

CHAPITRE III

ETUDE PETROGRAPHIQUE DES TROIS INTRUSIONS :

NAHDA, TAMAZAROR, EL BEMA

1 - INTRODUCTION

L'objectif du travail est de mettre en évidence les caractères géochimiques des granites auxquels sont liées des minéralisations de nature et d'importance différentes. Aussi, avons nous choisi trois intrusions : l'une, NAHDA, accompagnée d'un important gisement de wolframite extrabatholitique ; la deuxième, TAMAZAROR, accompagnée d'une modeste minéralisation à wolframite extrabatholitique et de quelques indices de cassitérite. Enfin à EL BEMA, troisième intrusion, il s'agit de filons de cassitérite en position intrabatholitique dans le Taourirt ; aucun indice de wolframite n'a été signalé dans la région. Il est à noter que toutes ces intrusions sont suffisamment érodées pour permettre un échantillonnage complet. Nous remarquons que dans le cas des deux premières intrusions, les zones filoniennes minéralisées se situent à peu de distance des intrusions érodées, apophyses des Taourirts ayant toujours été recoupées en profondeur par sondage sous les zones filoniennes.

L'échantillonnage qui a fait l'objet de deux campagnes organisées sur le terrain par la SONAREM a été effectué d'après les cartes géologiques établies par la même société à la suite de ses travaux de prospection. Il a consisté en des prélèvements systématiques au marteau suivant des itinéraires reportés sur les cartes et recoupant tous les faciès répertoriés par les équipes de prospection.

2 - ETUDE DE L'INTRUSION NAHDA

2.1. PRESENTATION

Le massif de NAHDA ("Renaissance") est situé sur la feuille de LAOUNI à 250 km au Sud Est de TAMANRASSET. Les coordonnées de son centre sont 20' 40' 12" latitude nord et 5° 28' 35" longitude est.

Le massif attirait l'attention des géologues à partir de 1958 au moment de la découverte des indices de W et Be (REBOUL C, BOISSONNAS, 1958-1960). La SONAREM* reprend les travaux sur le massif à partir de 1969 et en 1972-1976. Sur le plan structural, le massif se situe à l'intersection de failles nord-est et nord-ouest. Les roches encaissantes sont des gneiss et des granitogneiss d'âge pharusien.

En plan le massif a une forme grossièrement circulaire mais légèrement étirée selon Nord Est-Sud Ouest. Les dimensions sont de 3 km sur 3,5 km. Les contacts avec les roches encaissantes sont brusques à l'Est, plus flous à l'Ouest. Le relief du massif proprement dit est pénéplané, le dénivellement relatif est de 25 à 50 m, et les secteurs abaissés sont recouverts de sables et d'éluvions.

Le gisement de NAHDA se localise au Nord-Est de cette intrusion dans probablement la partie apicale d'une apophyse non déchaussée par l'érosion. La colline minéralisée d'ABOU BOUDJEMAA (URSULE) se situe à 350 m au Sud Ouest de l'intrusion. La minéralisation consiste essentiellement en filons et filonnets de quartz à wolframite mais elle se manifeste aussi sous forme de mouches de wolfram dans les granites greisénisés et les greisens. On observe aussi une pegmatite à microcline qui renferme de très gros cristaux de wolframite.

* Rapport SONAREM, groupe "Métaux Rares" (1972-1976).

2.2. ETUDE PETROGRAPHIQUE (Fig. 5.)

L'intrusion NAHDA présente plusieurs faciès pétrographiques que nous allons étudier successivement en détail.

- Les granites à gros grain occupent la partie orientale du massif (1,5 x 1,8 km).

- Les granites à grain moyen et fin constituent la partie occidentale. Ils forment au Nord, à l'Ouest et au Sud un croissant entourant les granites précédents.

- Les granites à grain fin, variante plus fine des précédents, cernent le massif à l'Ouest.

- Les "lambeaux du toit" au sens SONAREM du terme sont situés surtout au centre du massif au sein des granites à grain moyen et fin. L'origine de ces roches n'est pas éclaircie : fragments de socle profondément remaniés ou venues magmatiques précoces modifiées par des processus pneumatolytiques ultimes ?

- Les aplopegmatites entourent l'intrusion.

- Enfin, les greisens sont développés surtout au centre et à l'Ouest de l'intrusion.

2.2.1. Les granites à gros grain

Ils sont relativement peu cataclasés et n'ont pas subi de greisénisation importante. Parmi ces granites, nous devons signaler la présence en quantité peu importante de "lambeaux du toit" dans la partie est du massif. Ils sont limités à l'Est, par une lisière pegmatitique large de 10 à 35 cm et au Sud, ils sont recoupés par des dykes d'aplite de direction nord-ouest et nord-est.

Ce sont des granites à structure grenue porphyroïde, c'est-à-dire que nous observons de gros cristaux de quartz, de microcline et de plagioclase (surtout albite) dans une mésostase plus fine équigranulaire composée des mêmes minéraux et de muscovite.

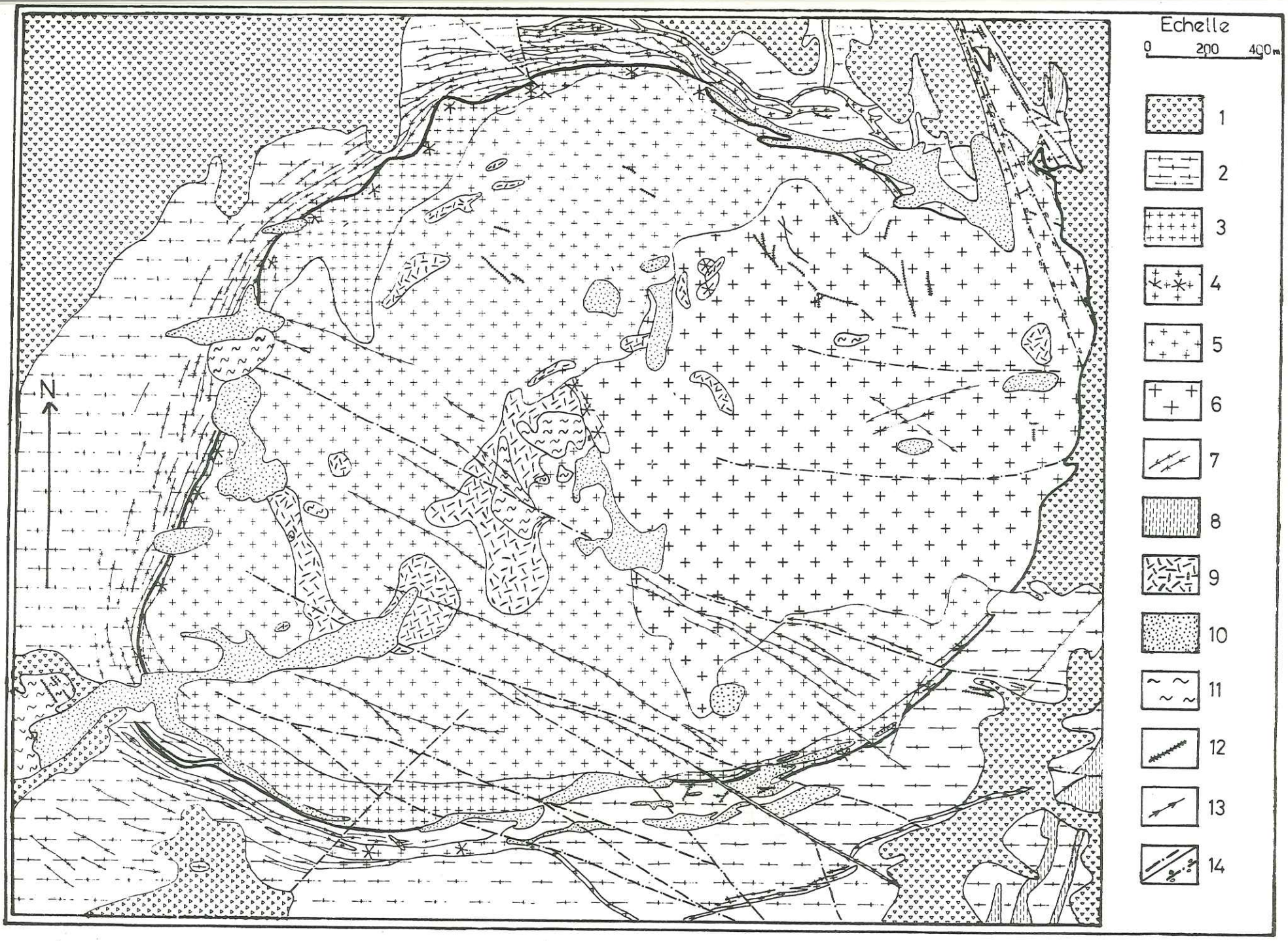


FIG_5 INTRUSION NAHDA

Légende Fig. 5 - Intrusion N A H D A

1 - Dépôt d'éluvion et de pente

2 - Granitogneiss et granodiorites

3 - Granites à grain fin

4 - Granites à grain fin albitisé

5 - Granites à grain moyen

6 - Granites à gros grain

7 - Filons de granites pegmatoïdes à grain fin

8 - Gneiss à grain fin

9 - Granites "lambeaux du toit"

10 - Sables éoliens

11 - Greisen et greisénisation

12 - Filons quartzeux wolframifères

13 - Filons quartzeux non minéralisés

14 - - Accidents tectoniques

- Failles silicifiées

La composition minéralogique moyenne est la suivante :

- quartz (25 - 40 %) en cristaux automorphes de 1 à 8 mm,

- microcline (25 - 40 %). Fréquemment maclés CARLSBAD, les grains peuvent atteindre 15 mm. Ils sont moirés et à extinction onduleuse. Il y a aussi des individus perthitiques et/ou poecilitiques (inclusions de petits grains de quartz, d'albite et de muscovite). Souvent, sous l'action des fluides hydrothermaux, le microcline est séricitisé.

- plagioclase (25 - 40 %). Il s'agit surtout d'albite "primaire" à laquelle il faut ajouter 2 à 3 % d'albite de néoformation. Selon BOISSONNAS (1973, pages 533 à 535 et 581 à 582), cette albite dite "primaire" peut déjà être considérée comme le résultat d'une certaine évolution postmagmatique à partir d'un plagioclase un peu plus calcique. Elle se présente sous forme de lattes allongées prismatiques maclées "albite" mesurant de 0,5 à 5 mm. Elle est quelquefois kaolinisée mais le plus souvent séricitisée et contient de la fluorine.

Les deux schémas ci-dessous (Fig.5bis-5ter) illustrent la formation d'albite secondaire de quartz de néoformation ainsi que de la séricite et de la fluorine.

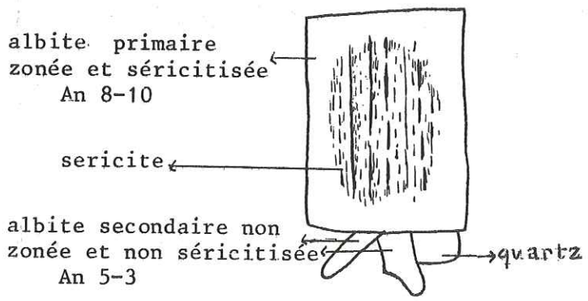


Fig. 5 bis

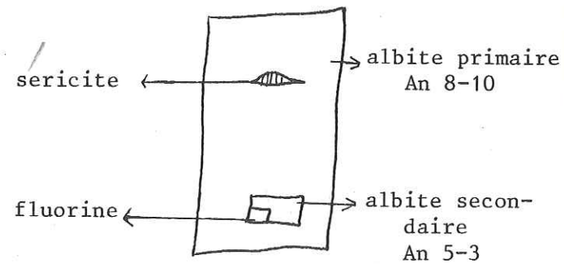


Fig. 5 ter

- micas (5 à 10 %). Le plus souvent, il s'agit de zinnwaldite et quelquefois de biotite qui, quand elle existe, est en proportion nettement plus faible que la zinnwaldite . Les analyses chimiques sur mica blanc montrent qu'il ne s'agit pas de lépidolite mais de zinnwaldite à cause de leur forte valeur en fer et leur relative pauvreté en lithium. Nous observons souvent une décoloration de la biotite avec des traînées d'oxyde de fer le long des clivages.

Nous devons ajouter que les granites à gros grain contiennent relativement plus de biotite que les autres types de granites rencontrés dans l'intrusion, ce qui leur confère un caractère moins évolué.

Minéraux accessoires

Séricite - D'importance variable, elle se rencontre dans les plages, aussi bien de microcline que d'albite. En général, elle se développe à partir de l'intérieur des cristaux.

Fluorine - De l'ordre de 1 %, elle s'observe uniquement à l'intérieur de l'albite. La formation de séricite et d'albite ainsi que celle d'une partie des quartz est secondaire. Elle peut s'envisager à partir des réactions suivantes :

$$Ca\ Al\ Si_3\ O_8 + KAl\ Si_3\ O_8 + 2H^+ \longrightarrow KAl_2\ Al\ Si_3\ O_{10}\ (OH)_2 + 2\ SiO_2 + Ca^{++}$$
$$Na\ Al\ Si_2\ O_8 \qquad\qquad + Na\ Al\ Si_3\ O_8$$

Plagioclase + orthose + eau $\longrightarrow$ muscovite + albite + quartz.

Cette équation montre la formation de muscovite, quartz, albite à partir de plagioclase et d'orthose (LAMEYRE, 1966).

BOISSONNAS (1973) constate page 536 que le calcium libéré est incorporé sur place dans la fluorine.

La formation de séricite à partir de l'orthose peut s'expliquer à l'aide de la réaction de J.J. HEMLEY (1959).

$$3\ (K\ Al\ Si_3\ O_8) + 2\ H^+ \longrightarrow K\ Al_2\ Al\ Si_3\ O_{10}\ (OH)_2 + 6\ Si\ O_2 + 2\ K^+.$$

2.2.2. Les granites à grain moyen et fin

Ils occupent la partie occidentale du massif ; la taille des grains est plus homogène et plus petite que celle des granites précédents. Nous retrouvons à peu près les mêmes proportions de minéraux que précédemment mais la métasomatose de type greisen est plus marquée, ce qui se traduit par une quantité de minéraux néoformés plus importante (séricite, albite, quartz, fluorine) et une baisse relativement sensible de la biotite. Nous notons aussi l'apparition de topaze.

Les analyses chimiques montrent par ailleurs que ces granites sont plus riches en pneumatolytes (Rb - Li - F). Parmi ces granites, nous trouvons des "lambeaux du toit" surtout au centre du massif.

Ces granites sont bordés à l'Ouest par des granites à grain fin qui ont les mêmes caractéristiques chimico-minéralogiques que les précédents.

2.2.3. Les aplopegmatites de bordure et les filons annulaires

Leur mise en place s'est effectuée lors du stade terminal de l'intrusion. Leur largeur varie de 10 à 75 m. La composition minéralogique est la suivante :

Quartz	Albite	Microcline	Muscovite	Topaze	Fluorine
25-40 %	25-45 %	25 - 30 %	< 20 %	3 - 5 %	≅ 1 %

Il faut noter que certains phénocristaux de feldspath peuvent atteindre 5 cm. Ces roches sont plus intensément cataclasées et métasomatisées (greisénisées) que les granites à grain moyen et fin. Ceci est confirmé par l'abondance encore plus grande d'éléments néoformés (quartz, muscovite, topaze, fluorine).

J. BOISSONNAS (1973) signale la présence d'apatite bleu pâle qui, d'après AUBERT (1969) serait manganésifère.

2.2.4. Les "lambeaux du toit"

Ils existent dans l'ensemble de l'intrusion et particulièrement au centre du massif parmi les granites à grain fin et moyen.

Ils se présentent sous forme de "dalles" arrondies constituées de roches intensément remaniées d'aspect leucocrate. Il s'agit de granites porphyroïdes à trame fine, albitisés.

Leur présence est difficile à élucider mais on peut penser qu'étant recoupés par d'autres granites, il s'agit de venues précoces dont la nature, d'après les caractères pétrographiques et géochimiques, devait être proche de celle des granites à grain moyen et fin. Comme ces derniers, ils ont été très intensément remaniés par les processus pneumatolitiques.

2.2.5. Les greisens et roches greisénisées

La greisénisation affecte tous les types de granites mentionnés ci-dessus y compris les "lambeaux du toit". Son intensité a été irrégulière mais elle est plus sensible à l'Ouest du massif, aux dépens des granites à grain moyen et fin qu'à l'est dans les granites à gros grain. Les greisens les plus remarquables se trouvent localisés au centre du massif où ils forment une masse homogène de 300 x 150 m. D'autres amas se trouvent à l'Ouest et surtout à l'Est du massif, en général dans les zones intensément fissurées.

Les greisens sont de deux sortes :

- greisens riches en micas et en topaze dont la composition est la suivante :

Quartz	Muscovite	Topaze	Fluorine
40-50 %	20-40 %	10-20 %	1 %

- greisens surmicacés :

Muscovite	Quartz	Topaze	Fluorine
80-90 %	5-10 %	2 - 4 %	1 %

En conclusion, nous devons insister sur la dissymétrie du massif d'Est en Ouest.

Les granites à gros grain présents à l'Est sont moins cataclasés et moins greisénisés que les granites à grain fin et moyen à l'Ouest du massif.

3 - ETUDE DE L'INTRUSION TAMAZAROR (Fig. 6)

3.1. PRESENTATION

Le massif de TAMAZAROR est situé à 35 km au Sud Ouest du massif de NAHDA. Les coordonnées de son centre sont 20° 33' 26" latitude nord et 5° 19' 54" longitude est.

Il se localise au croisement de failles déjà mentionnées : nord-est et nord-ouest. Il perce, au Nord, des terrains pharusiens (schistes quartzomicacés) ; au Sud et à l'Est, affleurent des diorites et des gabbros. Il forme un adrar ("petite montagne") en forme de cône tronqué d'environ 200 m de haut. Sa configuration ovale a une superficie de 1 km² environ. Les contacts avec l'encaissement sont nets, sécants et à fort pendage au Sud, mais plus flous à l'Est, au Nord et à l'Ouest. Les formations aplopegmatitiques de bordure se développent surtout à l'Ouest et au Nord sur une largeur de 30 à 40 m.

L'ensemble du massif est recoupé par de nombreux accidents subméridiens et par de spectaculaires filons de quartz qui zèbrent l'adrar.

3.2. ETUDE PETROGRAPHIQUE

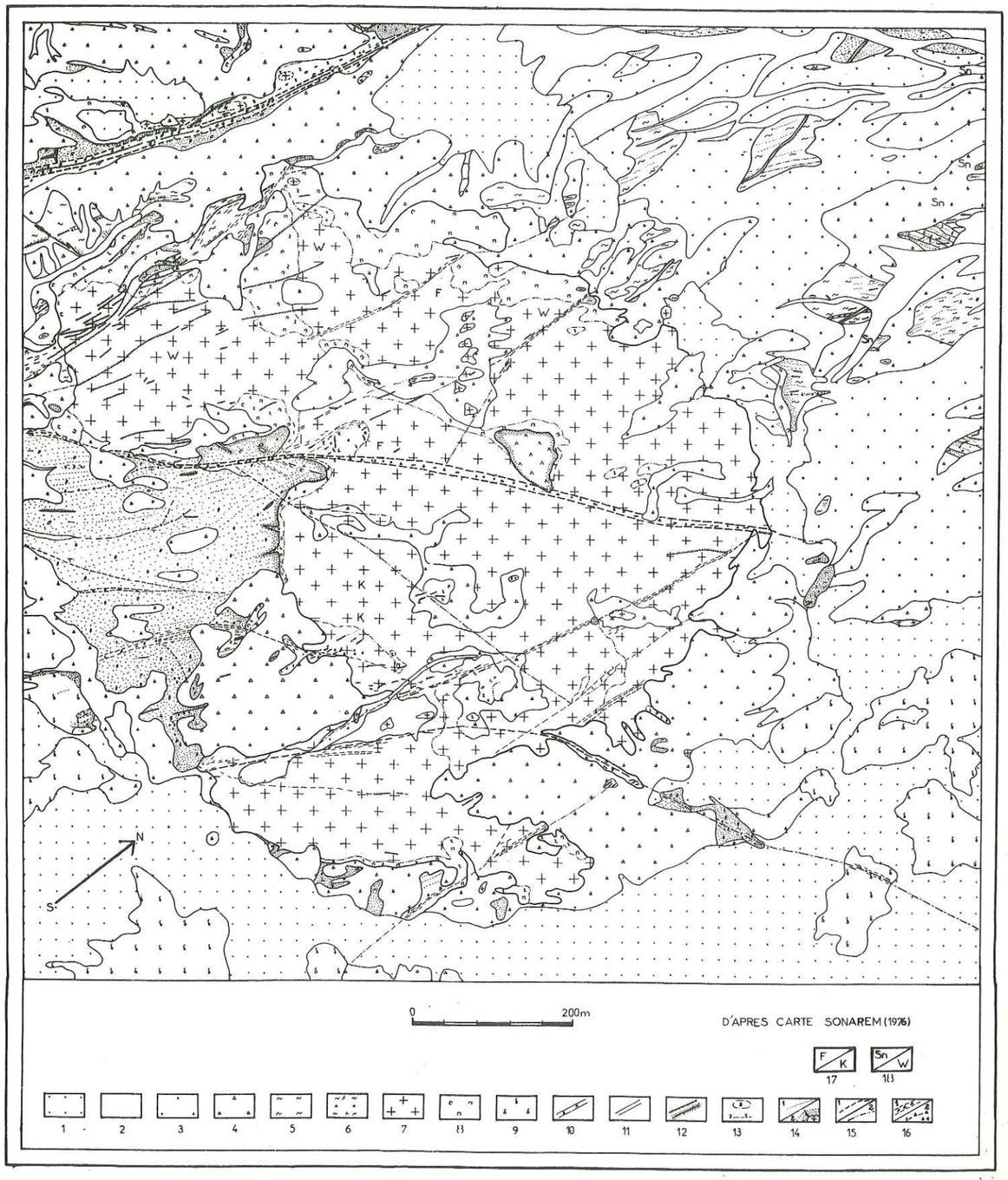
Nous remarquons malgré la complexité du massif qu'il existe une zonalité verticale qui grossièrement de bas en haut est la suivante :

. apogranites,
. granites greisénisés,
. granites kaolinisés.

3.2.1. Les apogranites ou granites à muscovite, microcline, quartz et albite

Ce sont des roches à grain moyen et fin de couleur en général blanche, mais quelquefois bleu ciel, gris rosâtre, ou verdâtre.

FIG.6 INTRUSION TAMAZAROR



Légende Fig. 6 - Intrusion TAMAZAROR

1 - Sables éoliens

2 - Dépôts alluviaux-torrentiels

3 - Dépôts déluviaux-torrentiels

4 - Dépôts éluviaux-torrentiels

5 - Schistes

6 - Laves et tufs

7 - Granites à muscovite, quartz, albite à grain moyen

8 - Granites à muscovite-quartz, feldspath, pegmatoïde

9 - Diorites

10 - Dykes de rhyolithes et felsite-porphyres

11 - Dykes de granites, d'aplites et d'aplites pegmatitiques

12 - Filons quartzeux

13 - Greisens

14 - 1. Greisenisation 2. Formation de cornéennes

15 - Accidents tectoniques 1. constatés 2. supposés

16 - F - Ferrugination ; K - Kaolinisation

17 - Sn - cassitérite ; w - wolframite

Quartz (30-40 %). Il se présente sous forme de grains de 2 à 3 mm avec souvent des inclusions d'albite et de muscovite.

Plagioclase (30-60 %). Il s'agit le plus souvent d'albite mais quelquefois aussi d'oligoclase, lequel est remplacé par l'albite tardive ou de néoformation en petits cristaux allongés, lamellaires. Souvent enfin, l'albite est incluse dans le quartz.

Microcline. Xénomorphe, non quadrillé, il est souvent kaolinisé. Il mesure de 1/10 jusqu'à 1,5 mm. Dans certains grains, nous trouvons des inclusions d'albite tardive lamellaire.

Mica. Il s'agit uniquement de muscovite. BOISSONNAS (1973, page 569) montre qu'il s'agit de muscovite ferrifère. Elle se présente sous forme de lamelles relativement grandes, incolores, ou légèrement verdâtres. Souvent, elle est recristallisée en gerbes ou en houppettes.

Topaze. En grains intersticiels dans le quartz, elle mesure de 0,1 à 0,4 mm. Son pourcentage peut atteindre 2 à 3 % dans certaines roches.

Minéraux opaques

Parmi les minéraux opaques, nous devons signaler en particulier la présence d'hématite identifiée par diffraction X. Elle se présente soit en cristaux automorphes isolés soit en petits grains accolés les uns aux autres et formant des amas ou traînées dans un fond quartzeux.

3.2.2. Les granites greisénisés et les greisens

Ils sont constitués de quartz (60 % environ), muscovite (30 %), topaze (5-10 %) et d'un peu d'albite et de microcline en voie de transformation.

Le quartz est en plages ne dépassant pas en général 1 mm. Toutefois, quelques rares phénocristaux à inclusions de petits cristaux d'albite ont été observés.

La muscovite se débite en lamelles minces. Souvent, elle a recristallisé lors de la greisénisation. Pour les échantillons riches en lithium, il s'agirait de muscovites lithinifères.

La topaze (0,2 à 0,5 mm) est arrondie et corrodée par le quartz.

3.2.3. Les granites kaolinisés à chlorite, kaolinite, quartz

Cette roche est essentiellement constituée de phénocristaux de quartz dans une pâte de chlorite et kaolinite auxquels s'ajoutent de petits cristaux de microcline, de muscovite, d'albite et de topaze.

La pâte est un agrégat à grain fin de chlorite en petites échardes, de kaolinite et quelquefois de quartz. La chlorite se présente en fibres radiées, incolores ou parfois de teinte vert pâle. Il est possible que la chlorite provienne de la muscovite par greisénisation. L'albite lamellaire est en général remplacée par la kaolinite. L'ensemble (chlorite, albite, kaolinite, quartz, microcline), forme un agrégat très difficile à identifier.

Cette roche témoigne de processus métasomatiques particulièrement poussés, mais ceux-ci ont affecté en fait, à des degrés divers, l'ensemble du massif.

4 - ETUDE DE L'INTRUSION D'EL BEMA (Fig. 7)

4.1. PRESENTATION

Le massif est situé dans la partie centrale de la feuille de TESNOU (HOGGAR occidental). Les coordonnées du centre sont : 24° 13' latitude nord et 4° 30' 30" longitude est.

Il présente une configuration ovale de 3,5 km sur 5 km et se trouve encaissé dans des schistes et des granites d'anatexie attribués au Pharusien.

4.2. ETUDE PETROGRAPHIQUE

Il y a deux formations principales :

- les granites porphyroïdes à gros grain affleurant à l'Ouest du massif en forme de croissant.

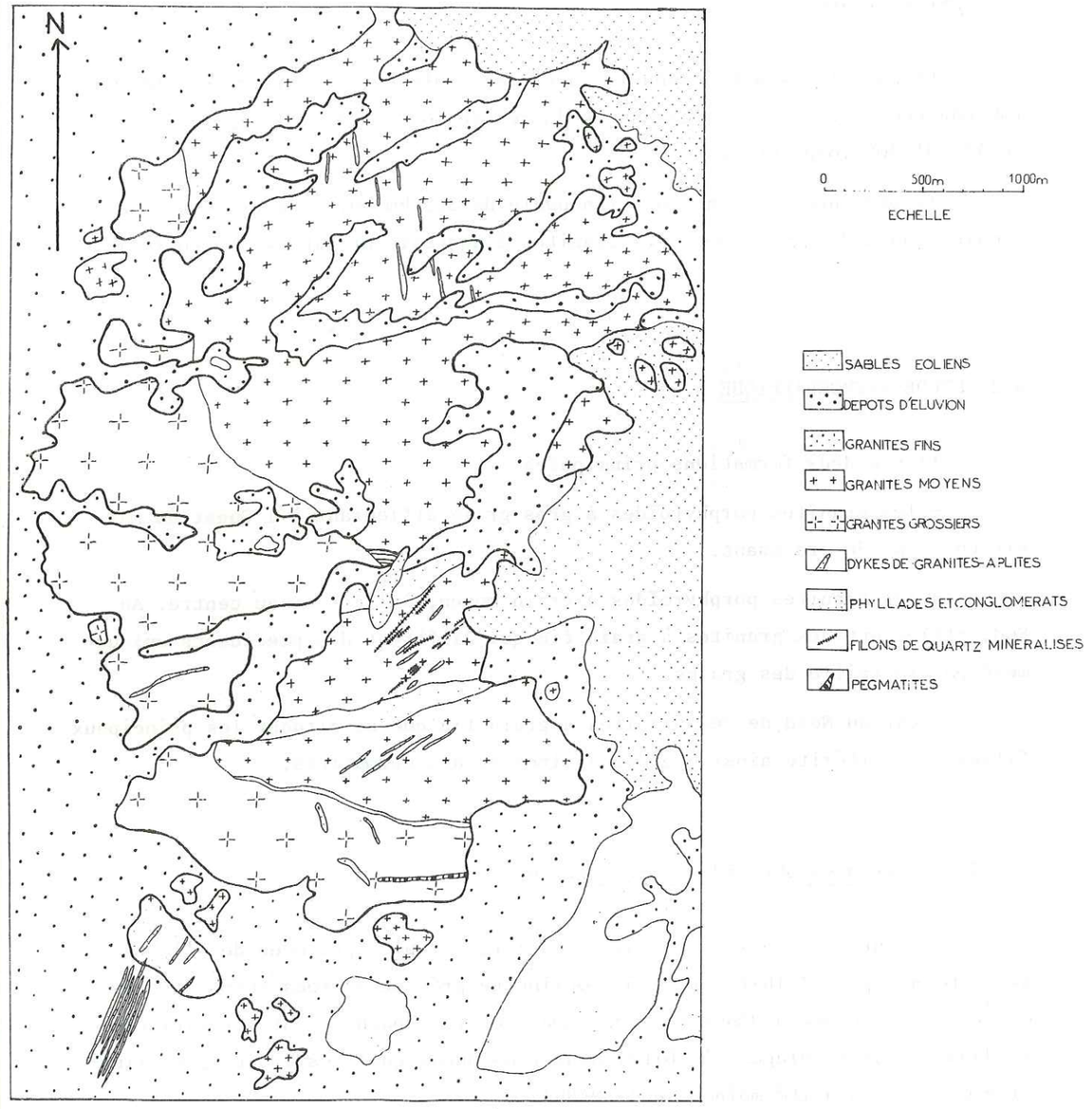
- les granites porphyroïdes à grain moyen, à l'Est et au centre. Au Sud, affleurent des granites à grain fin qui diffèrent des précédents uniquement par la taille des grains.

C'est au Nord de ces granites à grain fin que se situent les principaux filons à cassitérite ainsi que des aplites et des pegmatites.

4.2.1. Granites porphyroïdes à gros grain

Ce sont des granites à grain grossier, les plus précoces de l'intrusion. Le quartz, l'albite et le microcline se présentent sous forme de gros cristaux. Ici comme à NAHDA et TAMAZAROR, les feldspaths sont séricitisés et dans certaines plages d'albite, nous remarquons quelques cristaux de fluorine mais en quantité moindre qu'à NAHDA.

FIG.7 INTRUSION EL BEMA



D'APRES CARTE SONAREM (1974)

Biotite et muscovite se présentent en petites lamelles mais la première l'emporte sur la seconde. Nous assistons au début de la transformation des biotites : décoloration et apparition d'oxydes de fer.

Cette observation est importante parce que dans les deux gisements précédemment étudiés, la biotite, quand elle existe, à NAHDA par exemple, se trouve en quantité plus faible que la muscovite. Nous pouvons donc déjà avancer l'idée que l'intrusion d'EL BEMA est moins évoluée que NAHDA et TAMAZAROR.

4.2.2. Granites porphyroïdes à grain moyen et fin

Leur importance volumétrique est plus grande que celle des précédents. En outre, ils sont plus tardifs que ces derniers car ils les recoupent. Nous sommes ainsi en présence d'un granite central plus différencié que celui de bordure dont la disposition est excentrée vers l'Est puisque le granite grossier manque à l'Est. Ces granites sont riches en albite et microcline.

Le quartz se présente sous forme de cristaux de taille moyenne, automorphes ou en inclusions dans les feldspaths.

Le microcline, soit quadrillé, soit maclé CARLSBAD, renferme souvent l'albite séricitisée et de petits cristaux de quartz.

L'albite, automorphe, est souvent zonée et séricitisée.

Comme micas, il s'agit de zinnwaldite et de reliques de biotite déferrifiée et/ou chloritisée.

CHAPITRE IV

ETUDE GEOCHIMIQUE DES PROCESSUS DE DIFFERENCIATION

1 - INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons exposer les résultats de l'étude géochimique des trois intrusions que nous avons sélectionnées pour notre travail, ainsi qu'une étude sommaire sur l'environnement ou socle de base qui les entoure.

Nous décrivons tout d'abord les méthodes analytiques utilisées pour le dosage d'une part des éléments majeurs des granitoïdes : SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, TiO_2, P_2O_5, perte au feu et, d'autre part, des éléments traces qui peuvent être caractéristiques des minéralisations acides stanno-wolframifères (F - Sr - Rb - Li - Mo - Cu - Pb - Zn - W - Zr - Sn - Ba - Ni - Co - V - Cr).

Malheureusement, il ne nous a pas été possible pour des raisons techniques, de doser certains éléments tels que B, Ta, Nb, Th, U, qui auraient été intéressants pour notre étude.

L'utilisation des diagrammes géochimiques classiques rencontrés dans la littérature nous permettra tout d'abord de classer les différents faciès pétrographiques observés.

L'analyse en composantes principales normées sera utilisée pour l'exploitation de tous les résultats analytiques obtenus et nous permettra d'établir les corrélations entre éléments et de mettre en évidence les processus de différenciation qui conduisent à la formation des gisements.

La méthode de régression multiple permet de mieux visualiser le comportement de W et de Sn avec les autres éléments analysés.

1.1. METHODES ANALYTIQUES UTILISEES

Les échantillons préalablement débarrassés des impuretés superficielles, sont concassés grossièrement puis pulvérisés dans un broyeur à anneaux d'agate afin d'éviter toute pollution chimique.

Tous les échantillons ont été broyés à une maille inférieure à 70 microns afin de permettre une dissolution aisée par les réactifs.

1.3. ANALYSE DES ELEMENTS MAJEURS

Ces éléments sont dosés couramment au laboratoire de l'Institut de Géologie Dolomieu, par fluorescence X. La perte au feu exécutée avant le dosage des éléments a été effectuée à 800°C.

Une prise de 2 gr d'échantillon est mise en solution dans une perle de métaborate de lithium par fusion dans un creuset de platine. Cette perle est ensuite placée dans l'appareil de fluorescence X pour analyse. Cette méthode permet d'éviter la plupart des effets de matrice.

ANALYSE DES ELEMENTS TRACES

Les éléments suivants : Rb - Li - Mo - Cu - Pb - Zn - Ni - Co - V - Cr sont dosés par absorption atomique au laboratoire de l'Institut Dolomieu. La mise en solution de 2 grammes de poudre d'échantillon est effectuée en capsule de téflon à l'aide d'un mélange d'acide fluorhydrique et sulfurique de qualité "supra pur Merck". Par chauffage jusqu'à apparition de vapeurs blanches sulfuriques, il est possible d'éliminer toute trace d'acide fluorhydrique et de silice. La reprise est effectuée par Hcl bouillant qui permet une remise en solution de tous les oxydes résiduels. Seuls les alcalino-terreux précipitent sous forme de sulfates. Les dosages sont effectués sur les solutions à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique VARIAN TECHTRON type 1200. Les interférences dues aux effets de matrice sont systématiquement compensées par la méthode des additions standards. Les absorptions non atomiques qui apparaissent avec des solutions très chargées en éléments peu volatils et pour des longueurs d'onde de résonance situées dans l'U.V., sont me-

surées avec une lampe à hydrogène à fond continu. La validité de cette technique a été testée préalablement à l'aide de roches étalons standards internationaux.

Le fluor

Le fluor a été dosé au laboratoire de la SONAREM à Alger à l'aide d'électrodes sélectives. Après une mise en solution par fusion alcaline au borax et au carbonate de soude et reprise à l'acide chlorhydrique, on ajoute une solution tampon pour fixer le pH à une valeur variant de 7 à 11.

Une courbe d'étalonnage est préalablement tracée à l'aide de solutions connues.

L'étain

L'étain a été dosé par spectrométrie d'émission au laboratoire de la SONAREM.

Le strontium et le baryum

Sr et Ba ont été dosés sur poudre par fluorescence X sur un certain nombre d'échantillons seulement au laboratoire de l'Institut de Géologie de Grenoble.

Le tungstène et le zirconium

W et Zr ont été analysés sur poudre par une technique de fluorescence X mise au point au laboratoire de géologie appliquée de l'Université Pierre et Marie Curie par Messieurs QUINTIN et MARTIN. Cette technique permet d'atteindre directement des teneurs de l'ordre de 1 ppm pour le tungstène et de 2 ppm pour le zirconium.

Les analyses précitées ont porté sur des échantillons provenant des intrusions de NAHDA, de TAMAZAROR, d'EL BEMA, du socle de base et sur une quinzaine de minéraux triés.

Le nombre total des échantillons est 196, sur lesquels ont été dosés 27 éléments. Le nombre important de résultats obtenus autorise leur traitement par analyse statistique.

2 - CLASSIFICATION DES FACIES DES GRANITOIDES A L'AIDE DE DIAGRAMMES GEOCHIMIQUES

Les éléments majeurs permettent de classer les différents faciès pétrographiques observés à l'aide de diagrammes géochimiques donnés dans la littérature. Cette approche nous permettra de mieux visualiser l'évolution magmatique.

2.1. - DIAGRAMME $SiO_2 = f (Fe_2O_3 + MgO + TiO_2)$ (BOISSAVY-VINEAU, 1979)

Si nous étudions les relations élément par élément à l'aide de leur coefficient de corrélation (tableau 1) nous obtenons dans tous les cas une corrélation négative pour l'intrusion NAHDA. (r = coefficient de corrélation).

$SiO_2 = f (Fe_2O_3)$ r = - 0,51 ; $SiO_2 = f (MgO)$ r = - 0,54 ;

$SiO_2 = f (TiO_2)$ r = - 0,65.

Le tracé du diagramme complet, fig. 8 a été réalisé pour l'intrusion NAHDA. Il fait apparaître deux domaines : d'une part le domaine à droite de AB des roches greisénisés et des greisens (quartzeux et micacés) et, d'autre part, le domaine à gauche de AB des granites. Ceux-ci se distribuent autour d'un pôle G et se répartissent en trois sous-domaines.

Le premier correspond aux granites à gros grain observés dans l'étude pétrographique ; il contient une quantité appréciable de biotites et serait ainsi le faciès le moins évolué de l'intrusion.

Le deuxième domaine est celui des granites à grain moyen et fin et des "lambeaux du toit". Ces roches leucocrates semblent appartenir à un domaine plus évolué que le précédent.

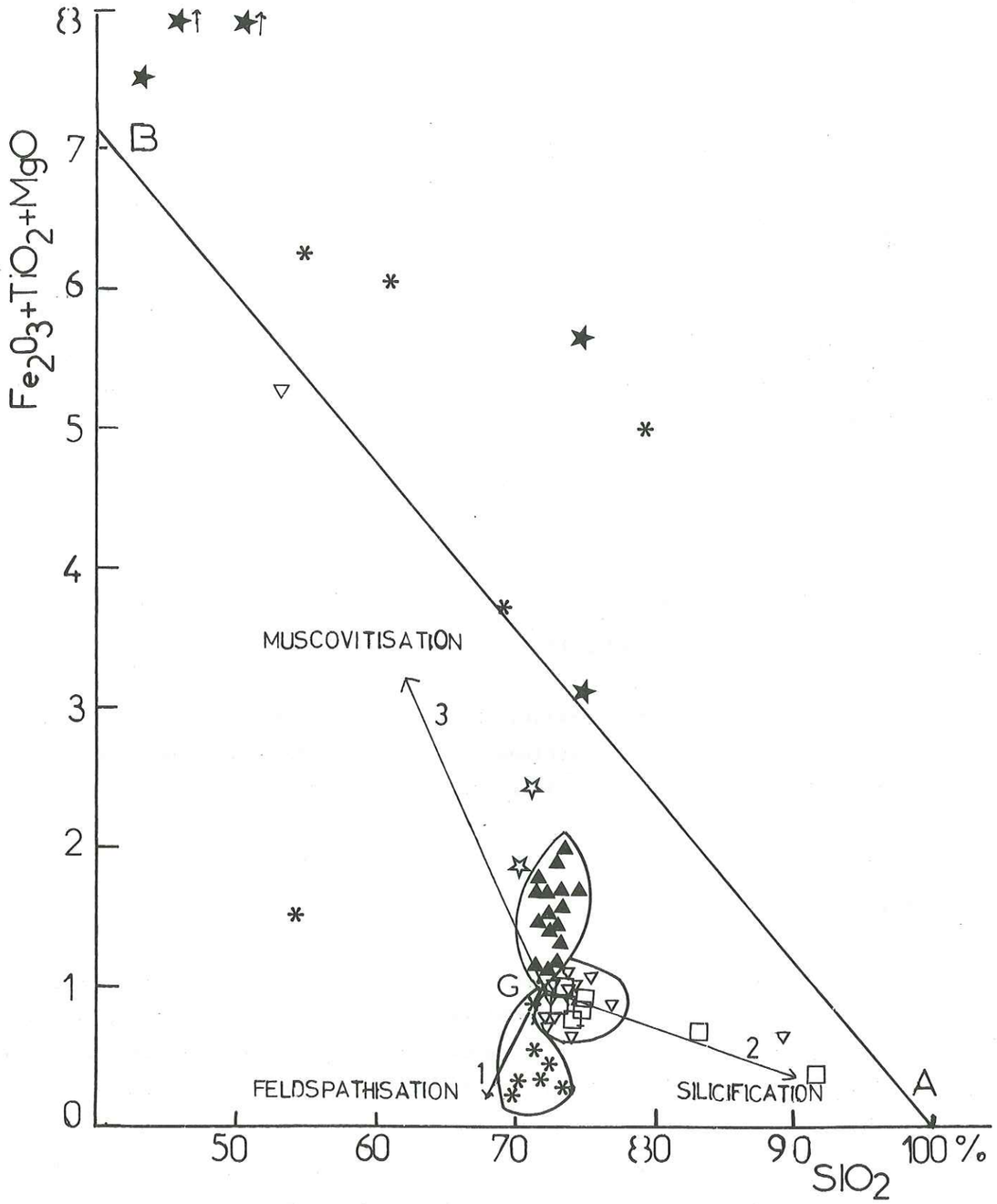


FIG.8 NAHDA

* Aplopegmatites
▲ Granites à gros grain
☆ Granites à grain fin
□ Lambeaux du toit
▽ Granites à grain moyen
★ Greisens

Enfin, le troisième domaine recouvre les aplopegmatites qui représentent le dernier stade de la différenciation avant la greisénisation. Cette dernière apparaîtrait donc dans ce diagramme comme le stade final du processus car s'y retrouvent les éléments lourds (Fe_2O_3 - TiO_2 - MgO... CaF_2) extraits des granites lors de l'évolution pneumatolytique. A partir du pole G, ont été tracées les directions de différenciation suivantes : l'une correspond à la feldspathisation par élimination des éléments "noirs" la seconde, à la silicification observée dans certains greisens par élimination partielle des feldspaths et des micas. Une troisième direction correspond enfin à la formation de greisens micacés (généralement à zinnwaldites) qui peuvent être considérés comme un concentré résiduel d'éléments hygromagmatophiles subsistant après cristallisation des granites précédents.

A El Bema, fig. 9 , on constate une différenciation moins poussée car les différents faciès ne s'individualisent pas les uns des autres comme précédemment. La teneur en ferromagnésiens et d'ailleurs plus élevée qu'à Nahda.

A Tamazaror, fig.10 , une différenciation évidente apparaît entre les greisens et le reste des échantillons peu différenciés entre eux. Quelques échantillons (T07B, T08B, T28 B) renfermant beaucoup de minéraux opaques (hematite) se classent, compte tenu du type de diagramme adopté, dans la zone des greiseins, décalés toutefois vers de plus grandes valeurs de SiO_2.

2.2. - DIAGRAMME H. DE LA ROCHE

Nous utiliserons successivement le diagramme B-F et Q-F de H. DE LA ROCHE pour visualiser les variations géochimiques des granites des trois intrusions.

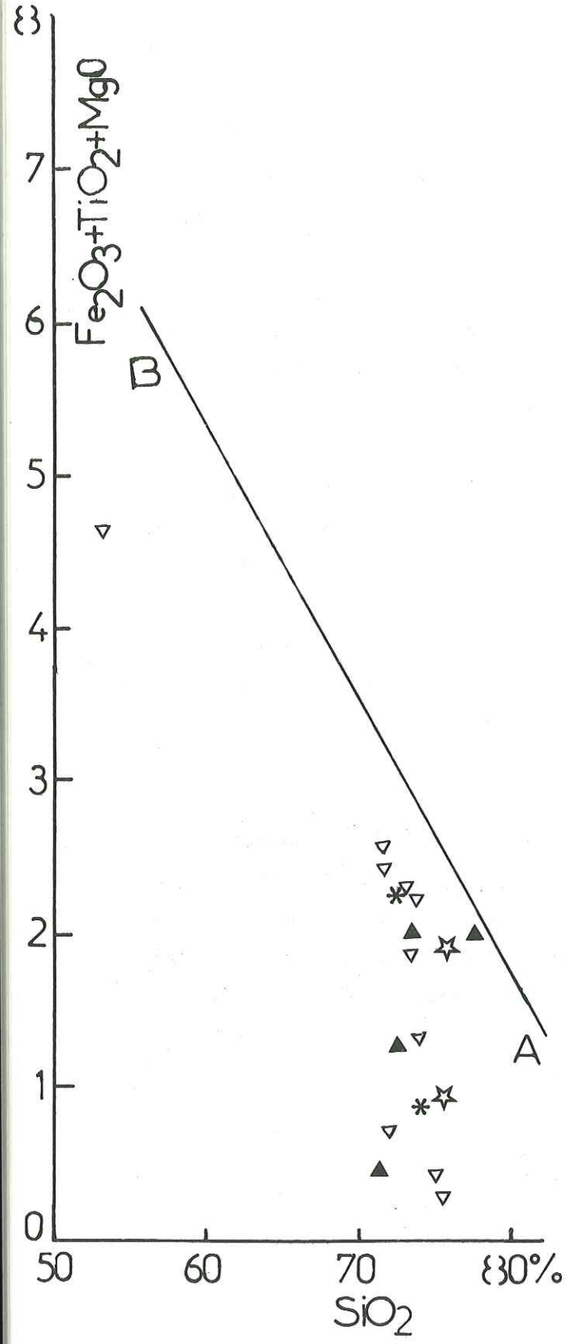


FIG 9_EL BEMA

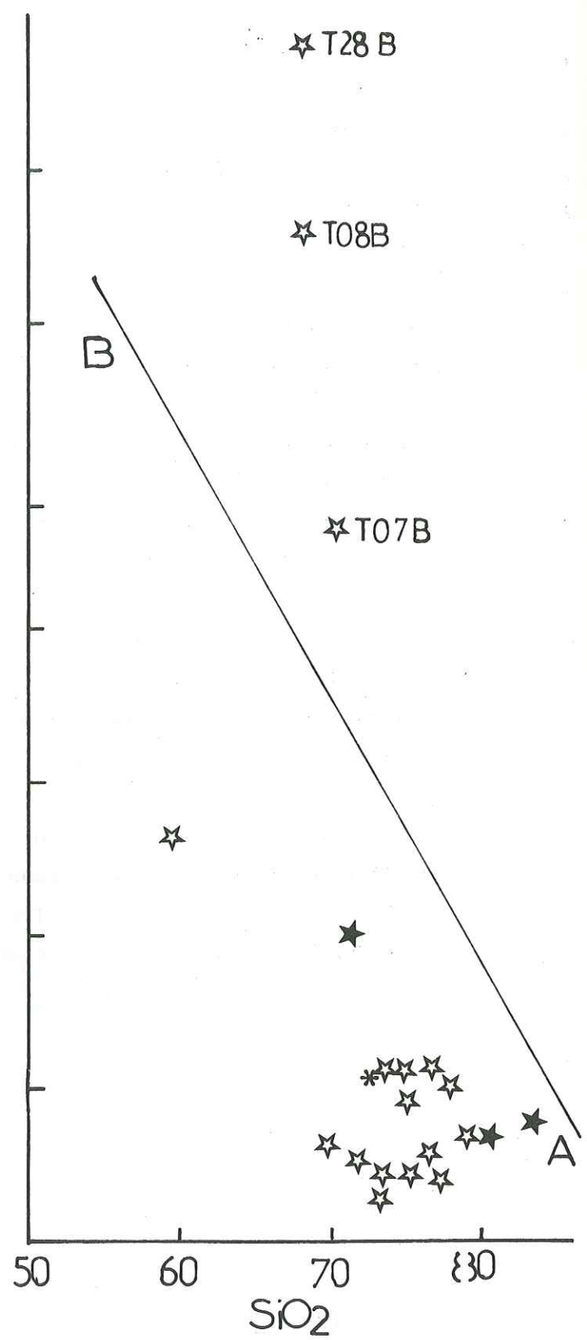


FIG10_TAMAZAROR

* Aplopegmatites
▽ Granites à grain moyen
☆ Granites à grain fin
▲ Granites à gros grain
★ Greisens

2.2.1. DIAGRAMME B = f (F)

Pour l'intrusion NAHDA, ce diagramme est représenté figure 11 .

La valeur du calcium est faible et elle est presque constante pour l'ensemble de l'intrusion (moyenne 0,55 %) donc F est une fonction de K-Na.

Pour F < 0, soit K < Na + Ca, nous observons une lignée caractéristique qui part des granites à gros grain (relativement riches en B et en Na) suivis par les granites à grain moyen et lambeaux du toit pour aboutir aux aplopegmatites (relativement pauvres en B et en Na). Cette lignée est identique à celle observée dans le diagramme précédent et correspond à des stades d'évolution pneumatolytique différents et bien caractérisés.

Les échantillons du socle de base pour la plupart des granodiorites et des granitogneiss se dispersent sur le diagramme, ce qui montre l'hétérogénéité des formations de l'environnement.

Pour F > 0, soit Na + Ca > K, nous trouvons évidemment les greisens et un certain nombre d'aplopegmatites riches en K_2O. La présence de phénocristaux de feldspaths dans les aplopegmatites explique ce caractère hétérogène qui complique l'échantillonnage et par conséquent les résultats analytiques. Une analyse effectuée sur un échantillonnage important permettrait de mieux classer ces roches caractéristiques des zones tantôt riches en albite, tantôt riches en microcline.

Le même diagramme B-F a été tracé pour les échantillons d'EL BEMA, fig. 12 . Malgré le nombre relativement restreint d'échantillons, nous remarquons que la différenciation est beaucoup moins nette qu'à NAHDA. La plupart des échantillons sont groupés autour des coordonnées B = -50 et F = + 30.

Quelques échantillons du socle de base d'El Bema sont dispersés sur le diagramme et ceci montre comme à Nahda l'hétérogénéité des formations de l'environnement.

L'échantillonnage effectué sur TAMAZAROR n'a pas permis de mettre en évidence plusieurs faciès caractéristiques et le diagramme tracé sur cette intrusion est trop peu instructif, fig. 13 . Toutefois les greisens et surtout les échantillons contenant de l'hématite se situent dans le domaine riche en B à cause du fer.

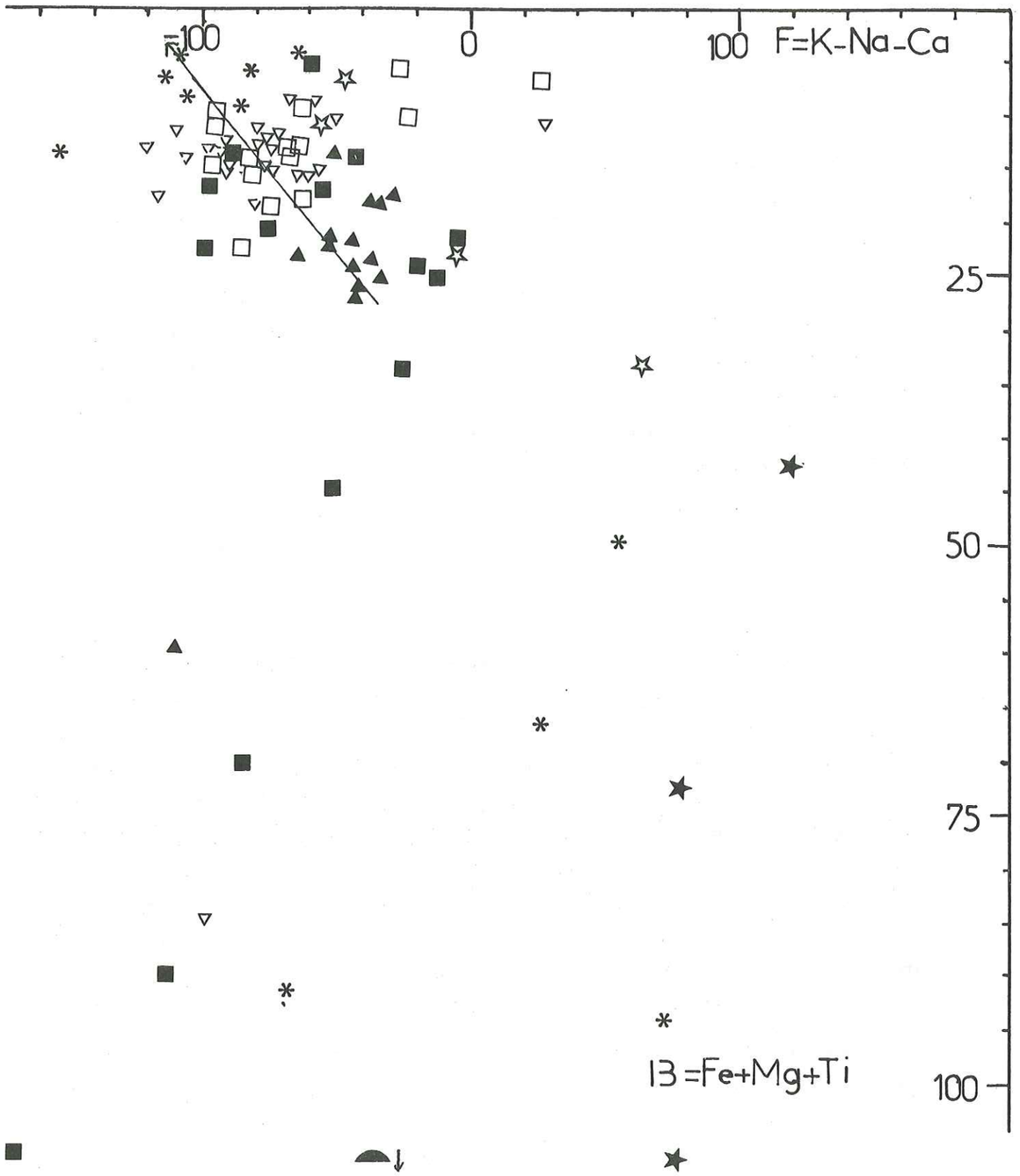


FIG11_ NAHDA

* Aplopegmatites
☆ Granites à grain fin
▽ Granites à grain moyen
■ Granitogneis
▲ Granites à gros grain
□ Lambeaux du toit
★ Greisens
◡ Granodiorites

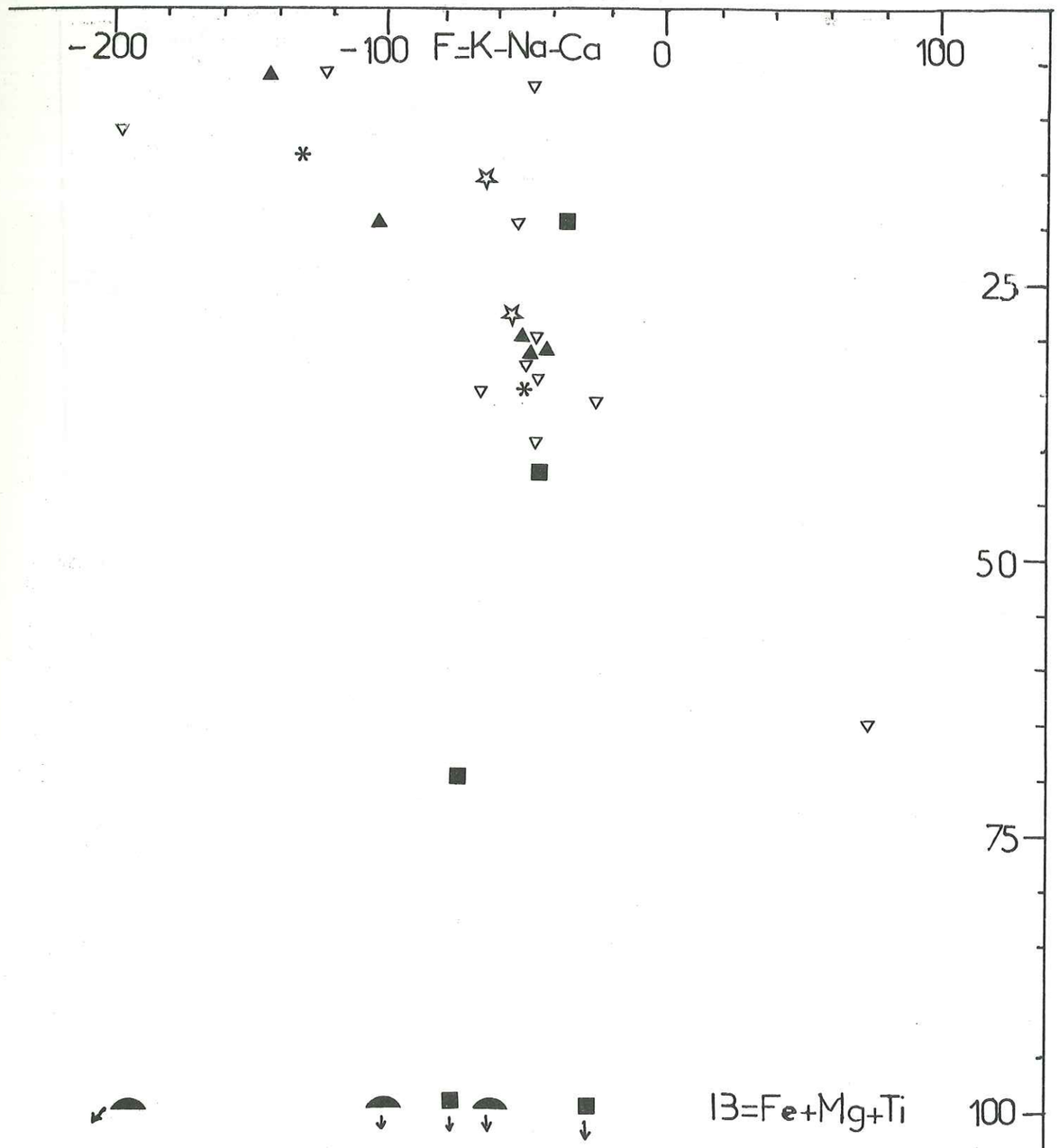


FIG 12_EL BEMA

* Aplopegmatites
☆ Granites à grain fin
■ Granitogneis
▽ Granites à grain moyen
▲ Granites à gros grain
◡ Granodiorites

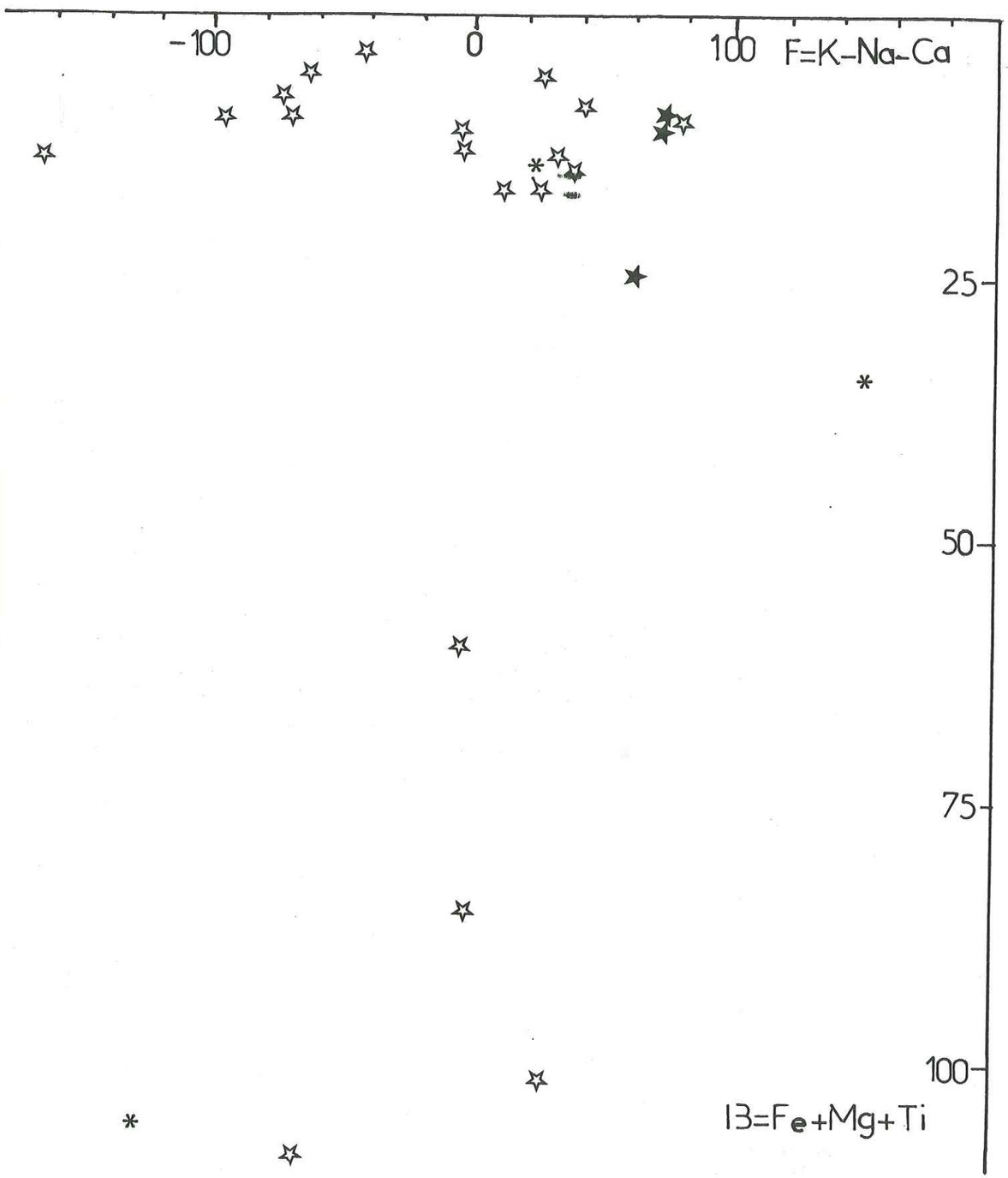


FIG13_TAMAZAROR

* Aplopegmatites ▽ Granites à grain fin ★ Greisens

2.2.2. DIAGRAMME Q = f (F)

Ce diagramme met en jeu deux paramètres $Q = \frac{Si}{3} - (K + Na + \frac{2}{3} Ca)$ et $F = K - (Na + Ca)$.

Pour NAHDA, la représentation est donnée par la fig. 14 . La lignée précédemment observée entre les granites à gros grain et les autres faciès se retrouve et permet de visualiser une direction d'évolution. CHAROY (1979) complète ce diagramme par une étude statistique sur les granites de PEUNFEUNTEUN et met en évidence la zone des greisens qui se situe à droite d'une ligne gg de coordonnées (F = 0, Q = 320 et F = 40 et Q = 240).

Nous observons effectivement que nos greisens riches en silice sont dans le domaine noté par CHAROY alors que les greisens micacés débordent de cette zone vers des valeurs de Q plus faibles.

Notre diagramme se rapproche alors de celui donné par FIALA (1968) sur le massif de SLAVOSKI, fig.15 .

Nous remarquons que comme nous l'avons observé sur le diagramme $SiO_2 = f (Fe_2O_3 + MgO + TiO_2)$, les greisens se différencient nettement de la lignée qui va des granites à biotite jusqu'aux roches les plus évoluées, albitites ou granites greisenisés.

Il n'y aurait donc pas d'évolution continue entre albitisation et microclinisation d'une part et greisénisation de l'autre. A ce sujet, signalons que J. LAMEYRE (1966, pages 45-46) pour le massif d'Echassières, rejetait l'idée d'une évolution continue entre d'un côté granites et aplites porphyriques et, de l'autre, greisens. D'ailleurs, l'étude des lames minces ne nous a jamais permis de voir ni la pseudomorphose totale, ni la transformation progressive d'un feldspath par un mica. Le processus paraît s'être arrêté au développement de lamelles de séricite dans les cristaux de feldspaths bien identifiables. Si le "granite greisénisé" apparaît dans la lignée des processus de différenciation des granites, les greisens micacés du Hoggar au même titre que le cortège filonien semblent résulter de la cristallisation d'un bain résiduel.

En effet, dans le gisement de Bachir, nous avons observé une éponte très épaisse de ce greisen micacé encaissant le filon de quartz minéralisé et nous avons remarqué en outre que le granite encaissant n'a pas subi, semble-

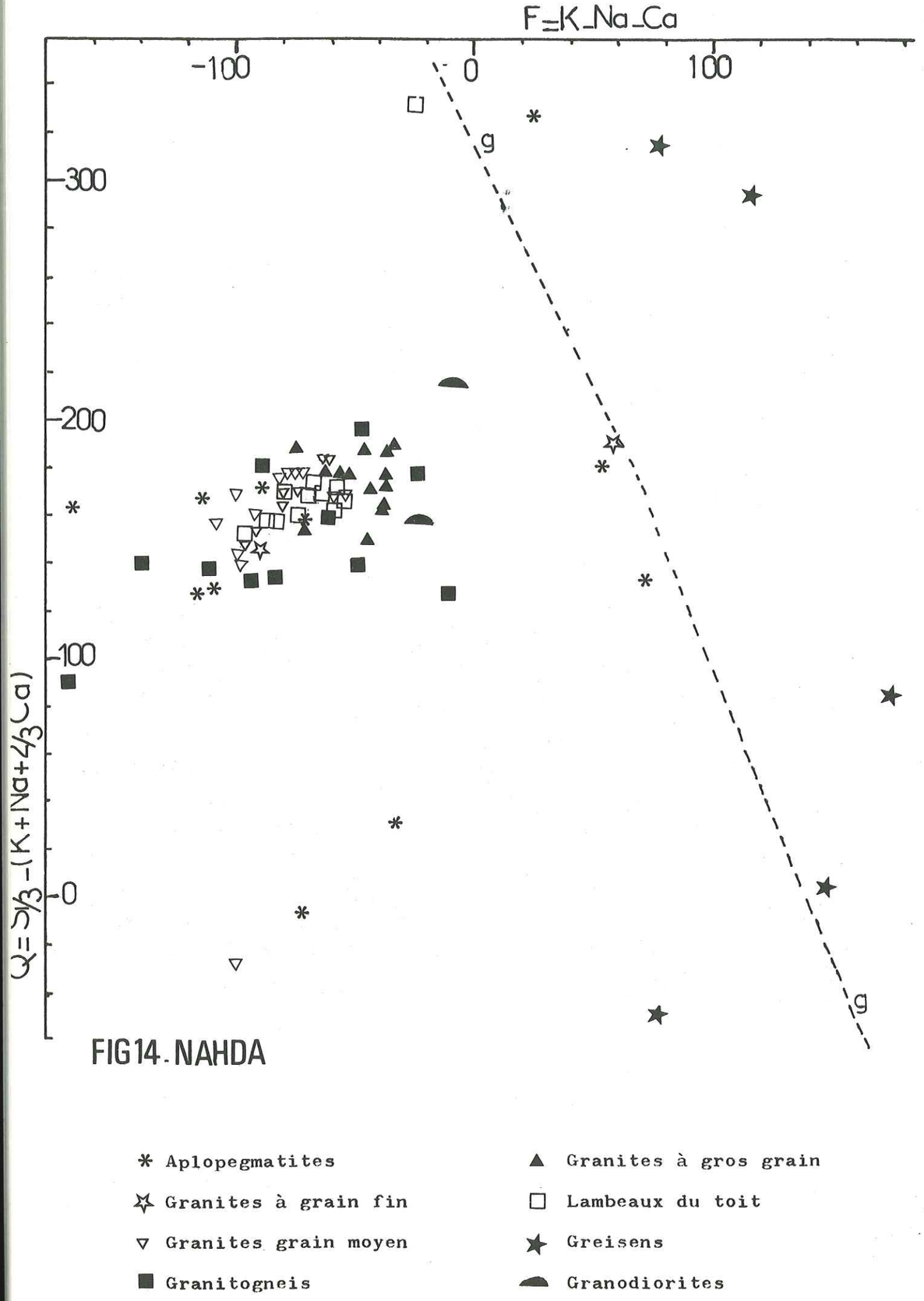


FIG 14 - NAHDA

* Aplopegmatites
☆ Granites à grain fin
▽ Granites grain moyen
■ Granitogneis
▲ Granites à gros grain
□ Lambeaux du toit
★ Greisens
◡ Granodiorites

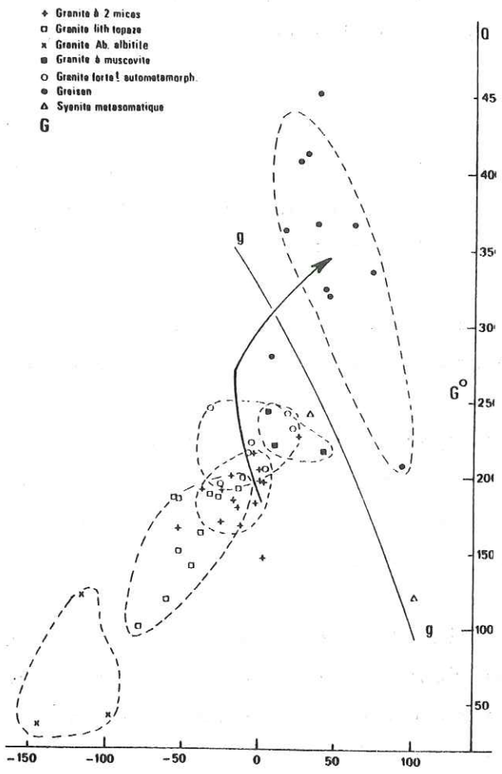


Fig. - Diagramme chimico-minéralogique Q - F de H. de la Roche (1963).
Distribution des différents faciès "primaires" et des altérations deutériques associées dans le massif de Slavoski les (données d'après Fiala, 1968).

Fig. 15.

t-il, de transformation. A Nahda nous avons observé également une masse considérable de greisen micacé d'une cinquantaine de mètres de hauteur qu'il est difficile d'imaginer comme étant le résultat ultime d'une transformation "in situ" par hydrothermalisme ; le granite dans lequel le greisen est encaissé ne présente aucune modification particulière. En outre, il est intéressant de signaler que les masses de greisens apparaissent toujours bien isolées, généralement au toit de l'intrusion.

Ainsi, le refus de cristallisation des greisens précédents constituerait dans cette hypothèse le "liquide magmatique" très riche en silice, générateur de filons.

En résumé, on peut penser qu'on assiste pour ce type de greisen à deux stades successifs de refus de cristallisation amenant dans une première étape à l'individualisation d'un greisen et dans une seconde étape à celle d'un filon quartzeux minéralisé.

A El Bema, fig. 16 , une lignée magmatique nette n'est pas plus observée sur ce diagramme que sur les précédents (B-F) pour F < 0. Pour F > 0, nous trouvons deux échantillons EB19C et EB2AD, à gauche de la ligne gg, qui sont des granites greisénisés relativement riches en K_2O en raison de leur richesse en micas. Il ne nous a pas été possible d'observer des greisens typiques dans cette intrusion ; ceci semble confirmer l'existence d'un degré d'évolution moindre qu'à Nahda.

A Tamazaror, fig. 17 , en revanche, pour F > 0 un nombre important d'échantillons se situent dans la zone où se définissent les greisens. Ceci met en évidence l'existence d'un processus pneumatolytique plus poussé qu'à El Bema et comparable à celui de Nahda.

2.3. - DIAGRAMME K = f (Rb) OU LIGNEE PEGMATITIQUE DE SHAW (1968)

Ce diagramme qui fait appel aux teneurs en potassium et en rubidium des roches semble tout indiqué pour l'étude de nos intrusions caractérisées par une anomalie potassique génératrice de la microclinisation des plagioclases.

Rappelons les valeurs moyennes de K_2O et Rb pour les principaux faciès de l'intrusion Nahda :

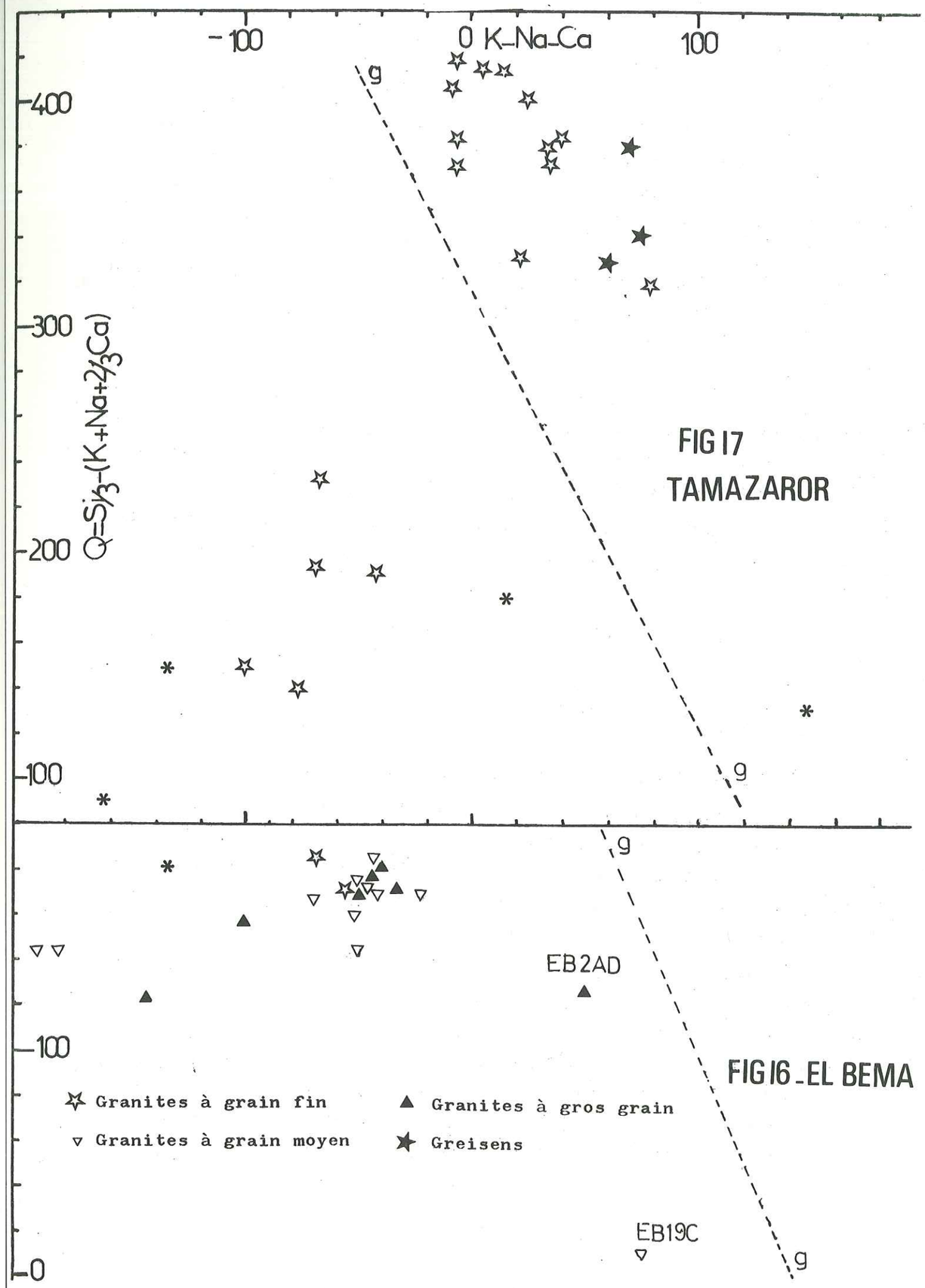


FIG 17
TAMAZAROR

FIG 16 - EL BEMA

	K_2O en %	Rb ppm
Granites à gros grain	4,17	693
Granites à grain moyen et fin	3,82	1 088
"Lambeaux du toit"	3,73	1 013

La relation qui lie Rb à K_2O est donnée par l'équation de SHAW (1968)

$$\log Rb = 1{,}115 \log K + 1{,}597$$

Jusqu'ici, cette courbe a été tracée pour des valeurs nettement inférieures aux nôtres. Pour Nahda, fig. 18 et Tamararor, fig. 18 , nous constatons qu'aucun des faciès relevés ne tombe dans le domaine défini par la droite de SHAW en raison des teneurs très élevées en rubidium.

En revanche, les échantillons d'El Bema, fig. 18 qui renferment des teneurs plus faibles en rubidium se rapprochent de cette droite.

2.3.1. DIAGRAMME K/Rb = f(Rb)

Plus explicites encore sont les diagrammes $\frac{K}{Rb} = f(Rb)$.

Dans la figure 19 tracée pour NAHDA, nous avons reporté outre les résultats obtenus pour cette intrusion, ceux publiés par CARRON et al (1973) sur les granitoïdes corses. Nous remarquons que les granites de NAHDA se situent exactement sur le prolongement d'une "main trend" des granites corses et constituent des termes d'évolution plus poussée.

Les granites à gros grain prennent le relais de la courbe donnée par CARRON et al. (1973) ; ils sont suivis par les granites à grain moyen et les "lambeaux du toit" puis par les aplopegmatites. Nous observons que les granites greisénisés se situent au voisinage des granites à grain moyen et des lambeaux du toit ; en revanche les greisens micacés apparaissent dans un domaine rejeté vers les très fortes valeurs du rubidium et qui ne semblent pas là encore résulter d'une évolution continue des granites. Cette observation

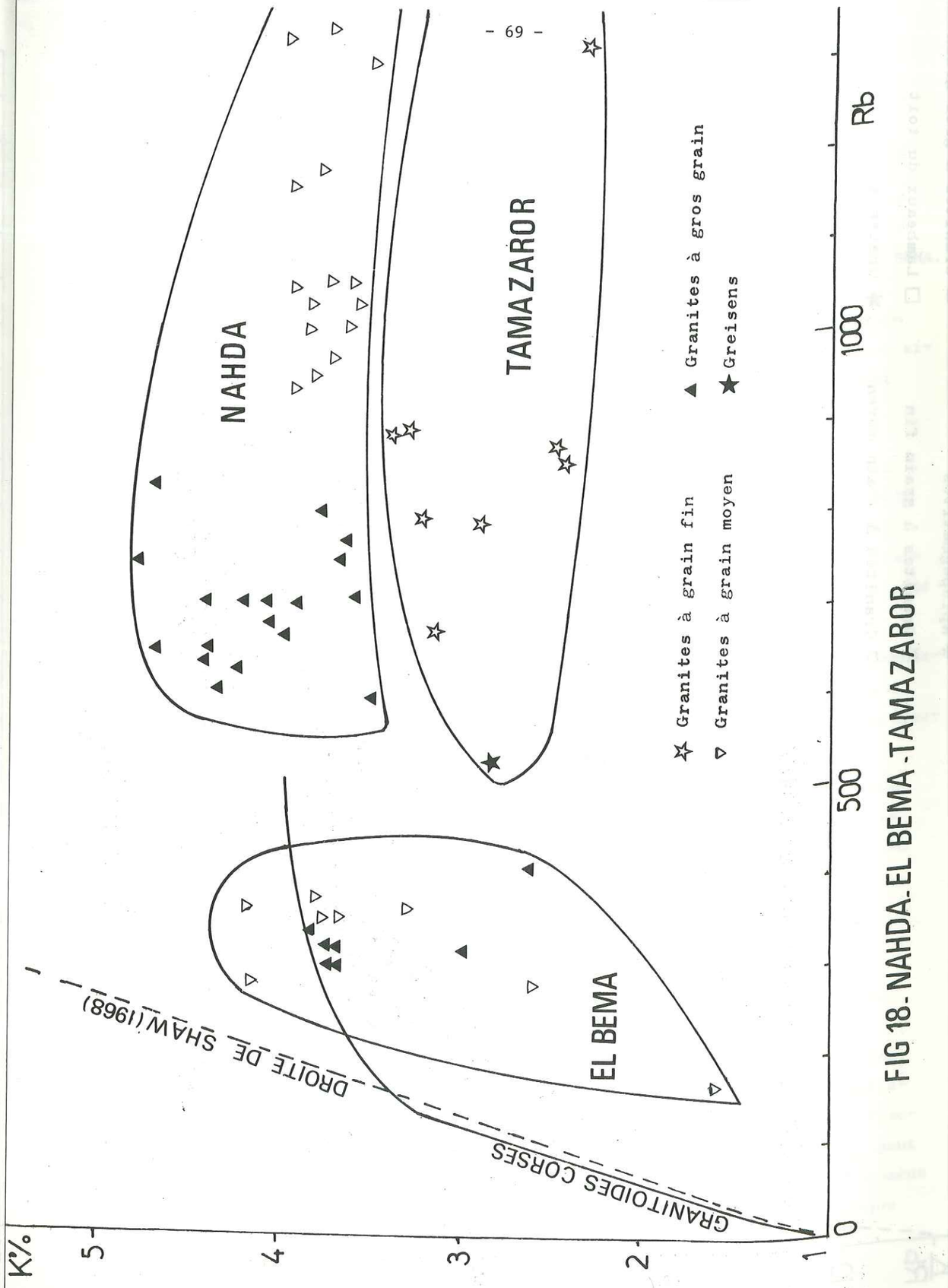


FIG 18- NAHDA-EL BEMA-TAMAZAROR

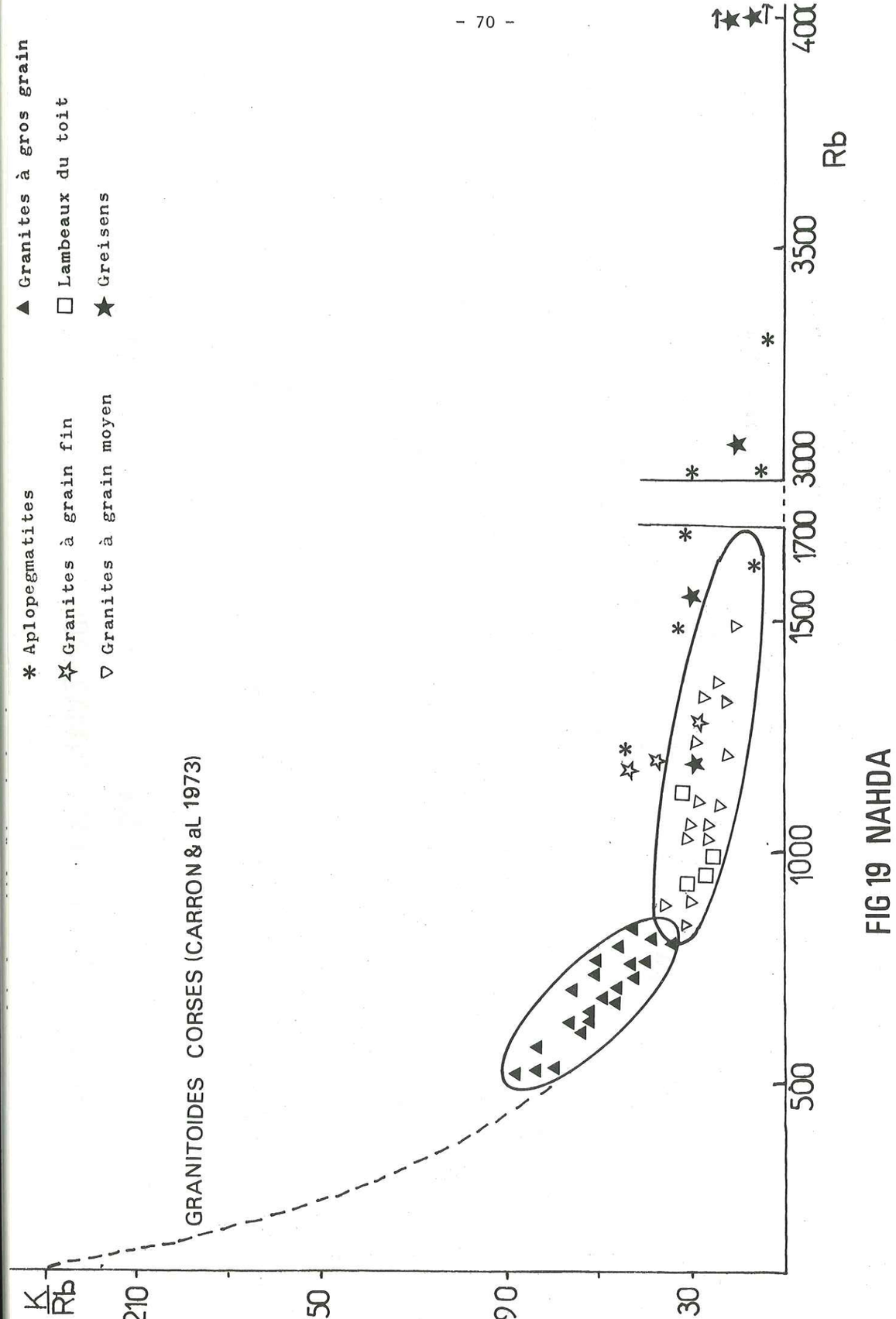


FIG 19 NAHDA

corrobore donc celle que nous avons faite lors du tracé du diagramme Q-B-F de H. DE LA ROCHE et du diagramme $SiO_2 = f\ (Fe_2O_3 + MgO + TiO_2)$. La figure 20 donne simultanément les courbes obtenues pour les granites corses de CARRON et al (1973), les granites de NAHDA, de TAMAZAROR et d'EL BEMA.

Les granites de TAMAZAROR se placent dans la même zone d'évolution que ceux de NAHDA. En revanche, la plupart des échantillons d'EL BEMA se situent dans le domaine des granites corses et apparaissent par conséquent comme des termes moins évolués que les précédents.

Il paraît évident que le stade d'évolution des granites est lié à l'importance des manifestations pneumatolytiques. Faibles en Corse (CARRON et al 1973), elles se développent d'une façon spectaculaire à NAHDA ainsi d'ailleurs qu'à TAMAZAROR. En revanche, cette influence apparaît plus limitée à EL BEMA, et ce fait confirme les observations que nous avons effectuées sur les diagrammes précédemment étudiés.

NAHDA et TAMAZAROR apparaîtraient comme le résultat d'une différenciation par pneumatolyse. La différenciation observée à EL BEMA se placerait dans une zone intermédiaire entre la pneumatolyse et la cristallisation fractionnée qu'observent CARRON et al sur les granites corses.

HOLLAND (1972) puis ALLEGRE et al (1977), ont proposé une équation qui traduit le mécanisme d'un processus de cristallisation fractionnée en présence d'une phase fluide. Le coefficient de partition qui apparaît dans la loi de RAYLEIGH :

$$\frac{c_\ell = Co,\ell\ f^{(K_{S/\ell} + K_{v/\ell}\ .\ G) - 1}}{\bar{D}_i = (K_{S/\ell} + K_{v/\ell}\ G)}$$

est donné par :

où $K_{S/\ell}$ est le coefficient de partition solide/liquide, $K_{v/\ell}$ le coefficient de partition vapeur/liquide, G étant la solubilité du gaz dissous dans le magma. L'importance de différenciation fixera les contributions respectives de la cristallisation fractionnée et la pneumatolyse. Une forte valeur de $K_{v/\ell}.G$ comparée à $K_{S/v}$ peut oblitérer la cristallisation fractionnée. Si nous supposons que le phénomène pneumatolytique est postérieur à la mise en place du granite, la remarque précédente reste valable.

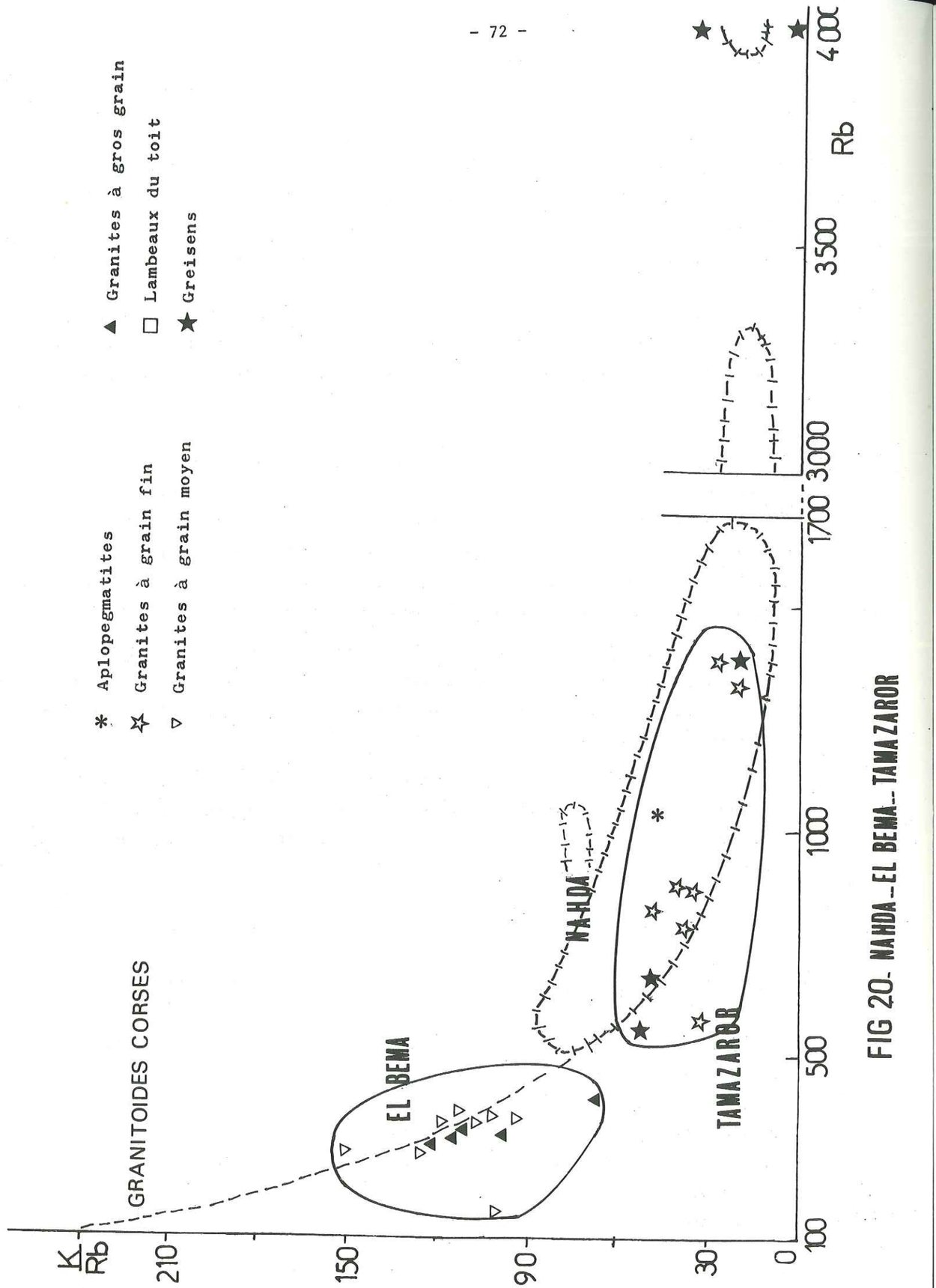


FIG 20- NAHDA-EL BEMA-TAMAZAROR

L'étude des éléments traces par la méthode ACPN nous permettra de confirmer cette hypothèse et de proposer un modèle de concentration du tungstène.

2.4. DIAGRAMME Ba = f(Sr) et Ba = f(K_2O) Fig.21 et 22 NAHDA

Pour des raisons techniques, les dosages de Ba et de Sr n'ont pu être effectués que sur quelques échantillons de NAHDA (granites à gros grain et granites à grain moyen et fin).

Rappelons les valeurs moyennes en K_2O - Rb - Sr et Ba pour ces deux types de granites :

	K_2O %	Rb	Sr	Ba ppm
granites à gros grain	4,17	693	28	176
granites à grain moyen et fin	3,82	1088	22	98

Ce tableau montre que les granites à gros grain sont plus riches en K_2O, Sr et Ba que les granites à grain moyen et fin.

Les diagrammes Ba = f(Sr) et Ba = f(K_2O) montrent une bonne corrélation entre Ba d'une part, Sr et K_2O d'autre part pour les granites à gros grain. Cette corrélation pourrait être la caractéristique d'un processus de cristallisation fractionnée. Cependant, elle n'apparaît pas pour les termes les plus évolués (granites à grain moyen et fin), plus influencés par les phases fluides et présentant les plus faibles valeurs en Sr et Ba.

2.4.1. Diagramme K/Ba = f(Ba) Fig. 23 NAHDA

Nos granites évoluent suivant une courbe parallèle à celle de fusion d'un gneiss à 700°C (DUPUY 1970). Dans notre cas, l'appauvrissement en Ba plus marqué pour les granites à grain moyen et fin n'est pas dû à un phénomène

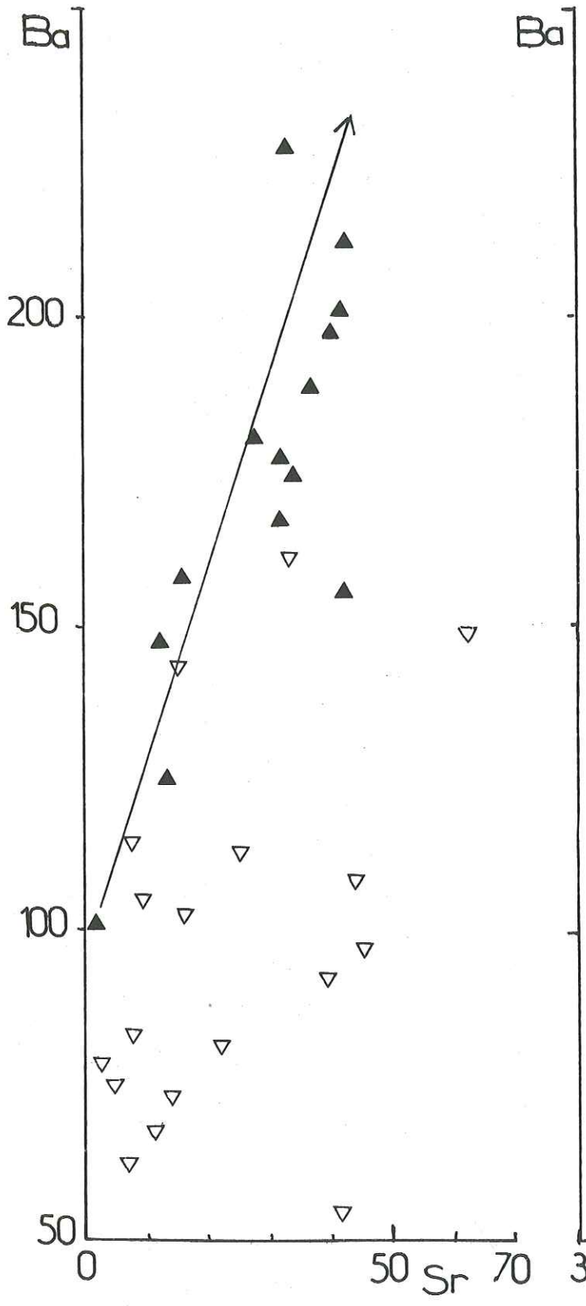


FIG 21

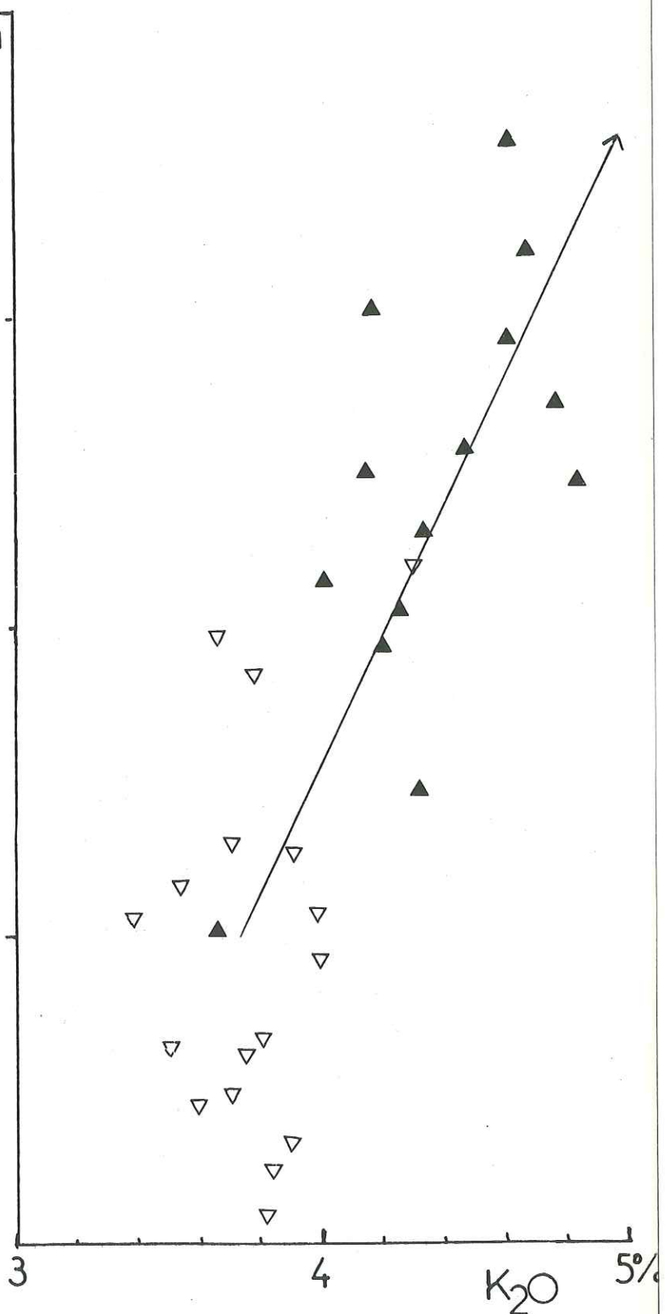


FIG 22

NAHDA

▽ Granites à grain moyen ▲ Granites à gros grain

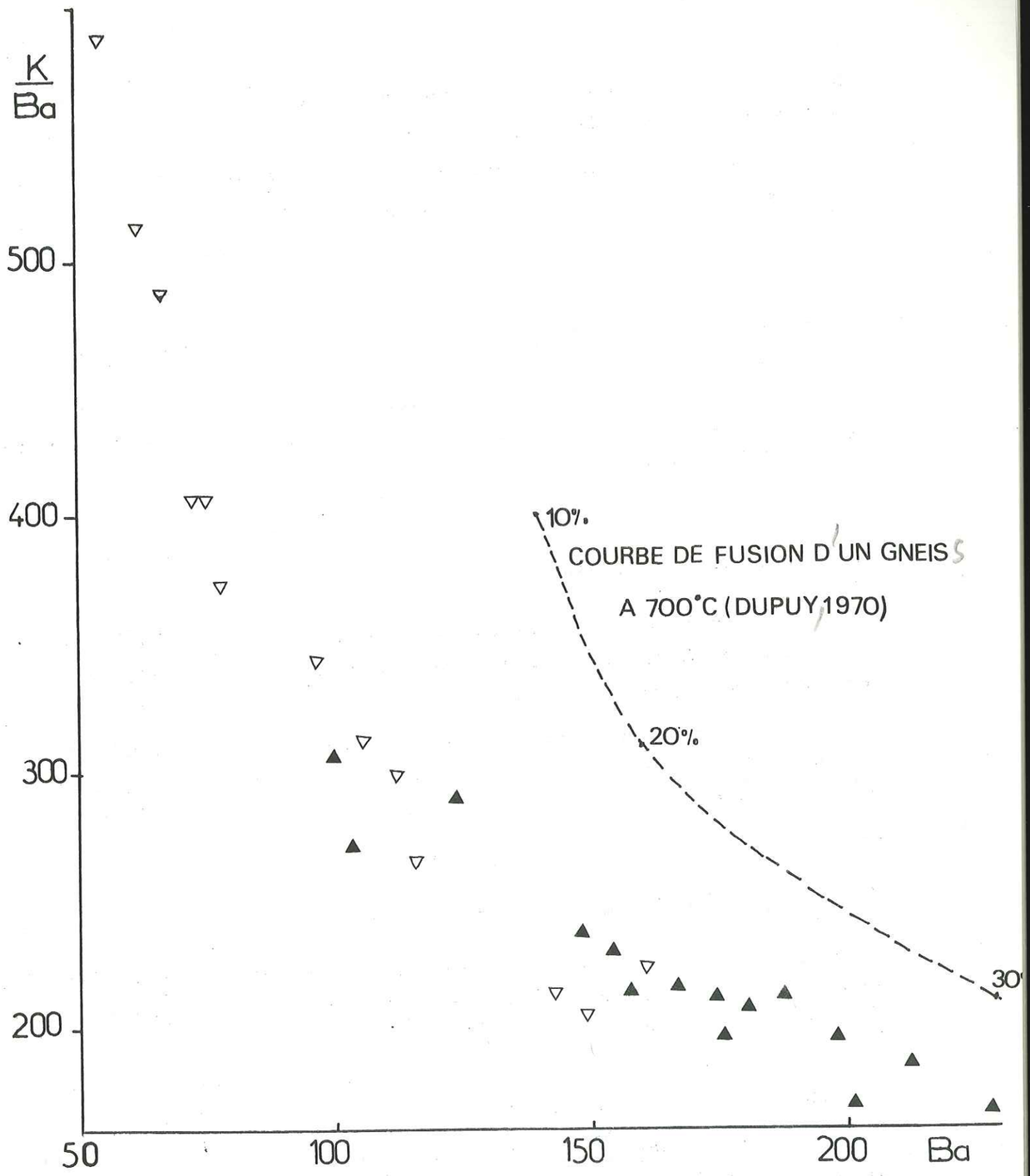


FIG 23 _ NAHDA

▽ Granites à grain moyen ▲ Granites à gros grain

de fusion partielle mais plutôt à un phénomène hydrothermal. (J.L. LESCUYER et R. RIOU, 1966, page 217).

Nous pouvons aussi ajouter qu'à un degré décroissant de fusion partielle succède une influence croissante de la phase fluide.

2.4.2. Diagramme Sr = f(Rb) ; log Rb/Sr = log f(Sr) Fig.24 et 25 NAHDA

Nous reportons sur ces deux diagrammes, outre nos propres échantillons, les points représentatifs des granitoïdes du Massif Central français (J. DIDIER et J. LAMEYRE, 1980).

2.4.2.1. Diagramme Sr = f(Rb)

Nous remarquons deux domaines bien séparés pour les deux types de granites différenciés par les valeurs de Rb. Nos granites se situent dans la zone enrichie en Rb et appauvrie en Sr.

Seul un groupe d'échantillons du Massif Central français présente des teneurs en Rb similaires à celles des granites à gros grain, avec cependant des valeurs plus fortes en Sr.

2.4.2.2. Diagramme log Rb/Sr = f |log (Sr)|

Nous constatons qu'une partie seulement des granites à gros grain tombe dans le domaine des leucogranites de BLOND (MCF) et que l'autre partie se situe dans le domaine des valeurs de $\frac{Rb}{Sr}$ plus élevées.

Les granites à grain fin et moyen forment en revanche un domaine pratiquement distinct du premier pour des valeurs de $\frac{Rb}{Sr}$ encore plus élevées.

Ces deux diagrammes montrent bien que si une partie seulement des granites à gros grain s'apparente aux leucogranites de BLOND, le reste de ces granites, et surtout les granites à grain moyen et fin, se situe dans les zones riches en Rb et pauvres en Sr. Nous retrouvons sur ces diagrammes les résultats

déjà observés sur les diagrammes précédents et en particulier $\frac{K}{Rb} = f(Rb)$.

L'évolution des granites est liée à l'importance des manifestations pneumatolytiques qui sont plus importantes pour les granites à grain moyen et fin que pour les granites à grain fin.

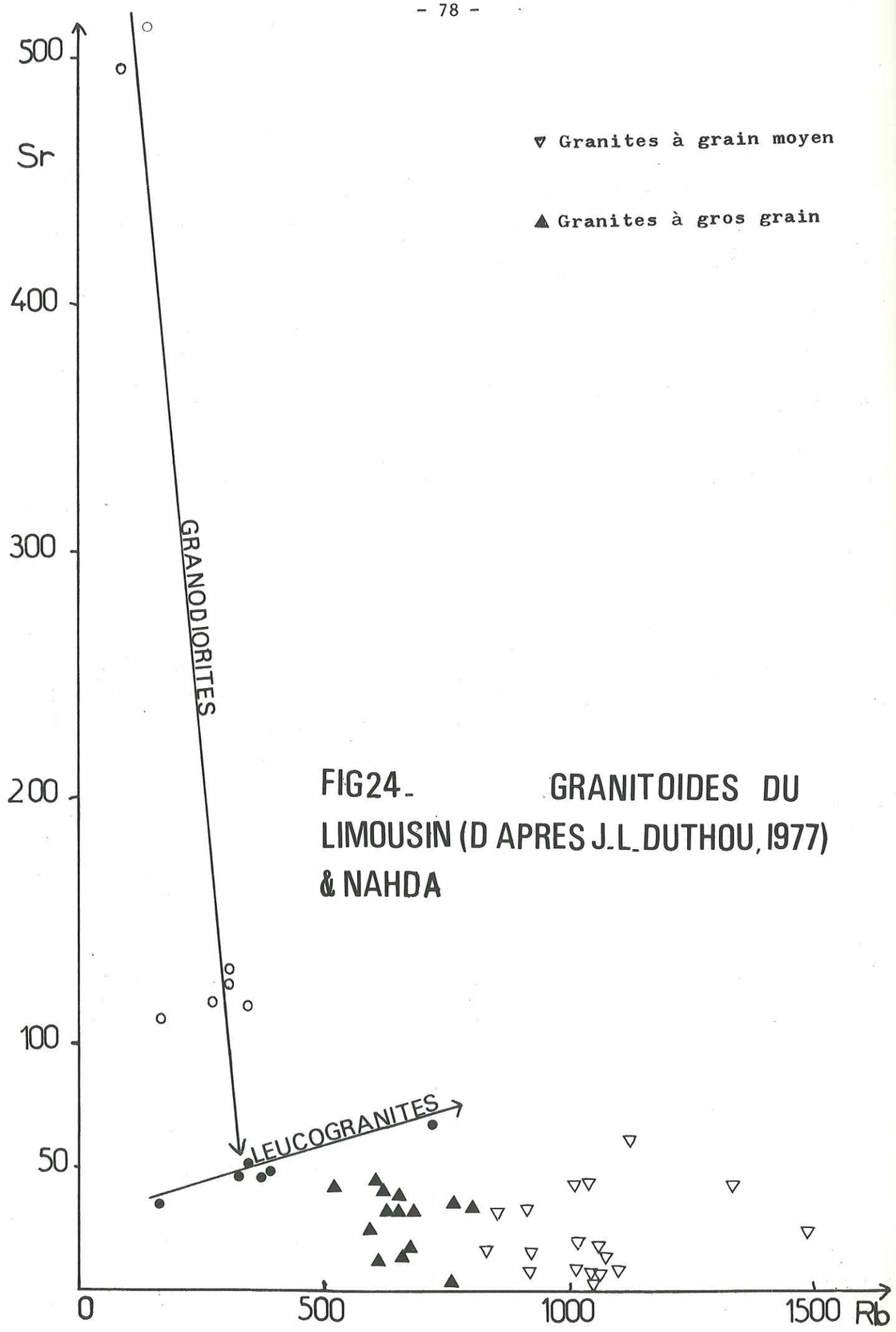


FIG24_ GRANITOIDES DU LIMOUSIN (D APRES J.L_DUTHOU, 1977) & NAHDA

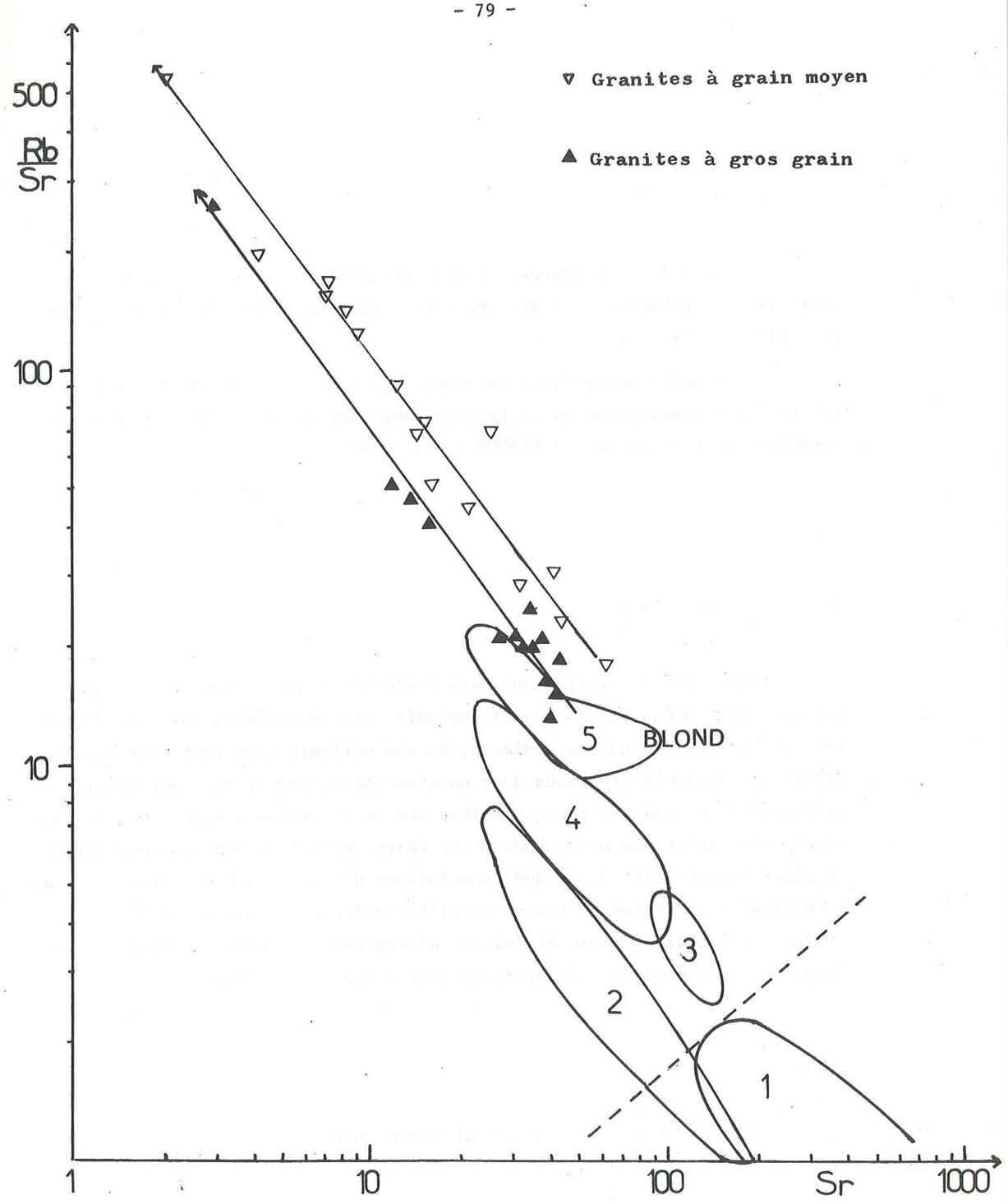


FIG 25 GRANITOIDES DU LIMOUSIN (D'APRES J.L. DUTHOU, 1977) & NAHDA

1 : ENSEMBLE DES GRANITOIDES

2,3,4,5 : ENSEMBLE DES LEUCOGRANITES

3 - ELEMENTS TRACES

Les analyses effectuées sur les échantillons ont porté sur les éléments traces suivants : F - Sr - Rb - Li - Mo - Cu - Pb - Zn - W - Zr - Sn - Ba - Ni - Co - V - Cr.

Les données analytiques obtenues à la suite de ce travail ont été traitées par statistique en analyse en composantes principales sur données centrées réduites (ACPN) (JORESKOG K.G., 1976).

3.1. - BUT DE L'ACPN

Cette méthode statistique permet d'étudier les tendances chimiques sur un nombre d'échantillons quel que soit le nombre d'éléments dosés. En raisonnant dans l'espace à n dimensions des variables, on peut comparer les effets de plusieurs processus dans un même espace réduit aux composantes principales, ce qui n'est pas possible sur un diagramme simple. Nous pouvons dégager les relations inter-éléments et faire apparaître des sous-ensembles de comportement définis par des associations d'éléments. Dans notre cas nous souhaitons séparer les processus de différenciation magmatique de celui de l'altération hydrothermale et surtout déterminer les associations minéralogiques où se concentrent de préférence le tungstène et l'étain.

3.2. - CARACTERISTIQUES DE LA METHODE ACPN

La méthode consiste à représenter un nuage de points (éléments chimiques ou échantillons) dans un espace réduit à quelques dimensions tout en conservant un maximum de dispersion. Le premier axe factoriel est l'axe qui porte l'inertie minimum (variance). Chaque axe factoriel fait apparaître une

part de l'inertie totale soit la variance partielle. Dans notre cas, le nombre de variables initiales est de 27. Il sera réduit à 2 ou 3 selon les cas tout en visualisant au mieux les différents phénomènes. Le programme ACPN (1) donne les informations suivantes :

- les moyennes et les écarts types des variables
- le tableau de corrélation linéaire entre les éléments chimiques
- les valeurs propres et vecteurs propres du tableau de corrélation
- la part de l'inertie relative à chacun des axes de la représentation
- pour chaque composition chimique (ou échantillons) la mesure de la projection sur chacun des axes, sa contribution individuelle et sa communauté (cos^2 de l'angle entre le vecteur échantillon et l'axe) qui permet d'apprécier la représentativité sur chacun des axes
- diverses projections sur les plans définis par deux axes associés.

3.3. - ETUDE DES TROIS INTRUSIONS NAHDA, TAMAZAROR ET EL BEMA PAR ACPN

3.3.1. ETUDE DE L'INTRUSION NAHDA fig 26 & 27

Le plan des axes factoriels 1 et 2 visualise environ 40 % des variations chimiques. Cette représentation graphique replace les pôles majeurs de différenciation mis en évidence par les caractères pétrographiques et les diagrammes physico-minéralogiques simples. Son intérêt est de montrer le comportement des éléments traces dans ses grandes tendances :

- l'axe 1 oppose nettement SiO_2 + Na_2O à tous les autres éléments
- l'axe 2 souligne le comportement différentiel de Co, Pb et V par rapport à Zn et Pb.

(1) Programme ANAL 1 de G. ROMIER, département de statistique, IUTB Bâtiment Sciences humaines, Domaine Universitaire, BP 47 X - F 38040 GRENOBLE CEDEX.

Fig. 26 N A H D A

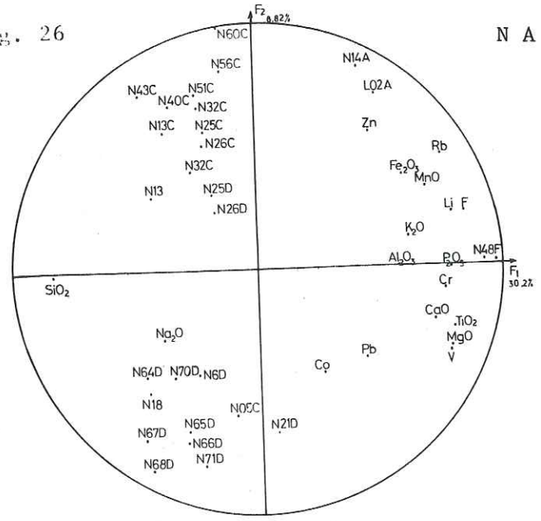


Fig. 27

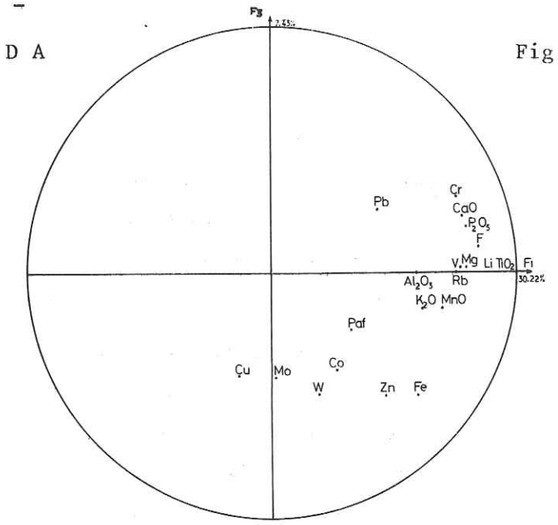


Fig. 28 E L B E M A

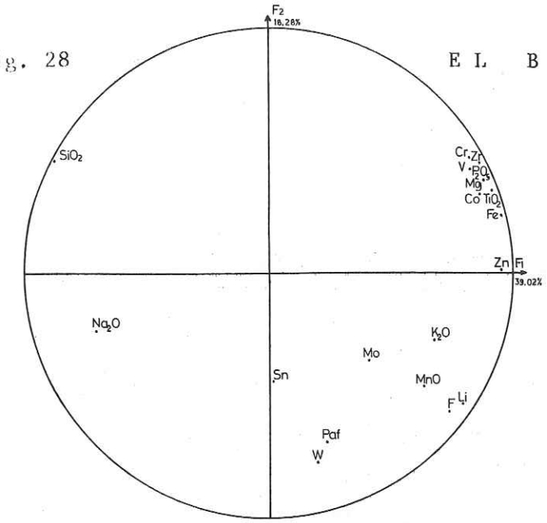


Fig. 29

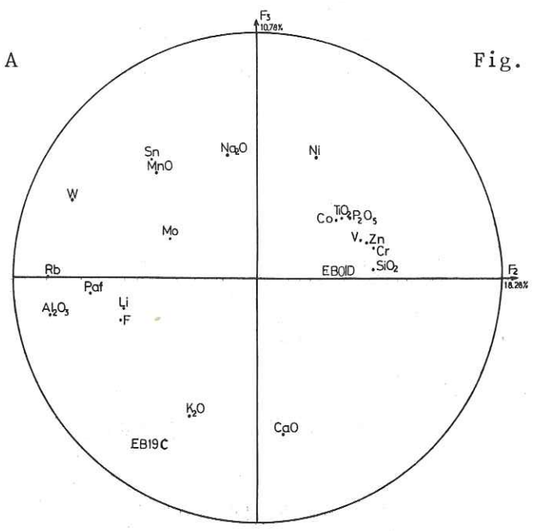


Fig. 30 T A M A Z A R O R

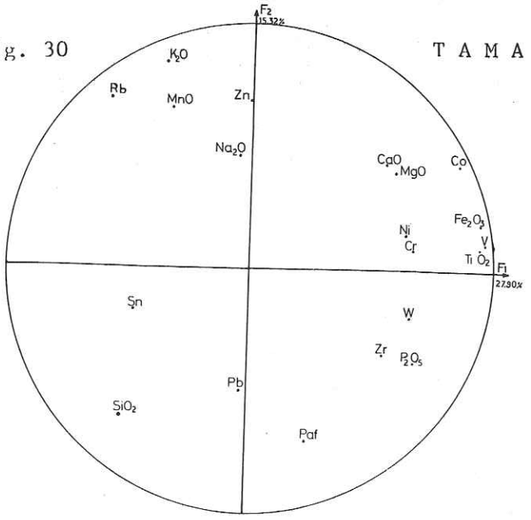
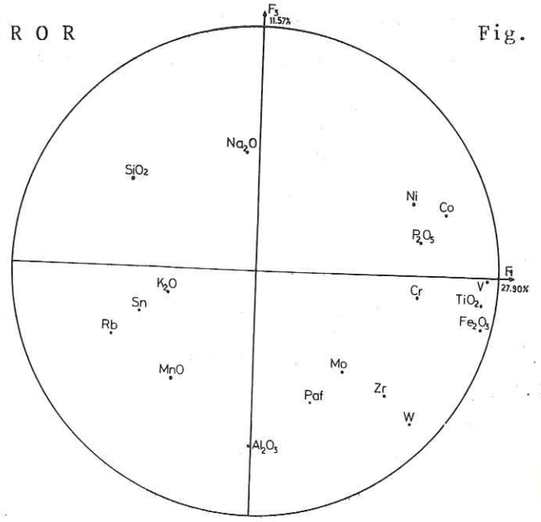


Fig. 31



Les faciès les plus leucocrates s'opposent ainsi aux faciès enrichis en ferromagnésiens et dont le caractère pneumatolytique est souligné par l'enrichissement de K - Rb - Li - F (zinnwaldites).

Le groupe des échantillons à gros grain (faciès D) caractérisé par une albitisation secondaire est opposé à la tendance pneumatolytique des échantillons aplopegmatites (faciès A) et greisens (faciès F).

L'axe 2 oppose très nettement les échantillons du faciès D (gros grain) aux échantillons du faciès C (grain moyen et fin) plus évolués et l'on retrouve sur cet axe 2 une corrélation entre ce groupe (faciès C) et les pneumatolytes. Toutes ces observations corroborent parfaitement l'étude pétrographique et celle des diagrammes chimico-minéralogiques).

Pour conclure, nous constatons deux influences cumulées de l'hydrothermalisme qui abaisse la teneur de Co - Pb - V - MgO - TiO_2 - CaO et qui concentre les pneumatolytes Rb - Li - F ainsi que Fe et Mn.

Sur le plan des axes 1 et 2 nous constatons en particulier que la lignée magmatique des granites s'effectue sur l'axe 2 qui possède une variance de 8 % alors qu'on est obligé de passer à l'axe 1 de variance 30 % pour retrouver les greisens qui s'opposent donc sur cet axe de forte variance à l'ensemble des granites. Cette remarque confirme une fois de plus l'indépendance du greisen s.str par rapport au granite.

3.3.2. ETUDE DES INTRUSIONS TAMAZAROR ET EL BEMA

Le plan des axes 1 et 2 pour El Bema, fig.28 visualise 60 % des variations chimiques. Il montre des tendances similaires à celles observées à Nahda : opposition de l'albitisation et de la silicification d'un côté à la muscovitisation et aux faciès basiques de l'autre, ces derniers riches en Cr - V - Zr - P_2O_5 - TiO_2 - Co - Fe.

Le plan des axes 2 et 3 oppose de la même manière avec une moins bonne représentation (29 % de variance) la muscovitisation à la phase basique ; ce fait est caractérisé par les deux échantillons EB19C et EB01D. fig 29

A Tamazaror, le plan des axes 1 et 2 avec une variance de 43,82 % met en opposition sur l'axe 2 la microclinisation et l'albitisation à la silicification et à la perte au feu. Sur l'axe 1 la phase basique caractérisée par P_2O_5 - Zr - TiO_2 - Cr - V - Ni - Fe s'oppose à la phase acide soit SiO_2. Le plan des axes 1 et 3 (Variance 39,44 %) opposant perte au feu et Al_2O_3 à l'albite sur l'axe 3 suggère une altération de cette dernière en kaolin dans une phase ultérieure et indépendante des précédentes. L'importance de la kaolinisation à Tamazaror est ainsi mise en évidence et n'apparaît que sur les plans des axes 1 et 3 donc avec une représentation de faible variance. Ceci confirme les observations faites sur les lames minces : altération de l'albite en kaolin. fig30 & 31

Remarque sur la perte au feu

La perte au feu est importante en quantité à Tamazaror (moyenne de l'intrusion 3,13 %) ; elle apparaît sur les axes 1 et 3 où elle est liée à Al_2O_3 donc au kaolin. Fig.31 .

A El Bema, fig.28 elle apparaît liée sur les axes 1 et 2 aux phases micacées.

A Nahda, nous la retrouvons sur les axes 1 et 3, fig.27 , mais mal représentée.

3.3.3. COMPORTEMENT DU TUNGSTENE ET DE L'ETAIN EN ACPN

Si nous reprenons les plans des axes pour les trois intrusions, nous constatons que le tungstène est mal représenté à Nahda et n'apparaît que sur l'axe 3, fig. 27 dont la variance n'est que de 7,43 %. L'étain n'apparaît nulle part.

A El Bema, nous observons sur les axes 1 et 2 une corrélation du tungstène et de l'étain et d'une façon significative du tungstène avec les phases micacées renfermant la perte au feu - Al_2O_3 - Rb - F - Li - K_2O - MnO.

La corrélation entre ces deux éléments se retrouve sur les axes 2 et 3

A Tamazaror, le tungstène apparaît nettement corrélé sur le plan des axes 1 et 2 aux phases minéralogiques renfermant les éléments suivants : P_2O_5 - Zr - TiO_2 - Cr - V - Ni - Fe ; il s'oppose à l'étain lié davantage à SiO_2 et à Pb. Sur le plan des axes 1 et 3, nous remarquons une corrélation avec la perte au feu et l'aluminium, donc avec les minéraux hydroxylés (kaolin). L'étain accompagne plutôt les micas.

3.4. - ETUDE DES MATRICES DE CORRELATION DES TROIS INTRUSIONS

L'étude des matrices de corrélation porte sur l'ensemble des échantillons et fournit les corrélations entre deux éléments déterminés. Elle confirme les observations faites en ACPN.

Ainsi, à Nahda (tableau n°1) aucune corrélation significative n'apparaît entre le tungstène et un autre élément (molybdène excepté). Il en est de même de l'étain.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_{3T}	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	Paf	F	Rb	Li	Mo	Cu	Pb	Zn	W	Zr	Sn	Ni	Co	V
SiO_2	1.00																							
Al_2O_3	-0.82	1.00																						
Fe_2O_{3T}	-0.51	0.23	1.00																					
MnO	-0.48	0.26	0.60	1.00																				
MgO	-0.54	0.32	0.37	0.45	1.00																			
CaO	-0.58	0.36	0.24	0.41	0.63	1.00																		
Na_2O	0.03	0.10	-0.51	-0.44	-0.25	-0.19	1.00																	
K_2O	-0.73	0.62	0.37	0.31	0.41	0.35	-0.36	1.00																
TiO_2	-0.65	0.41	0.38	0.42	0.64	0.84	-0.24	0.43	1.00															
P_2O_5	-0.60	0.40	0.26	0.62	0.62	0.73	-0.18	0.38	0.62	1.00														
Paf	-0.23	0.09	0.17	0.18	0.32	0.19	-0.30	0.14	0.24	0.06	1.00													
F	-0.70	0.51	0.44	0.60	0.51	0.70	-0.31	0.42	0.66	0.64	0.23	1.00												
Rb	-0.70	0.54	0.50	0.63	0.39	0.42	-0.30	0.59	0.40	0.65	0.09	0.76	1.00											
Li	-0.64	0.43	0.47	0.59	0.51	0.55	-0.25	0.37	0.46	0.68	0.15	0.81	0.85	1.00										
Mo	0.01	-0.05	0.15	0.00	-0.01	-0.00	-0.14	-0.07	-0.00	0.05	0.08	-0.03	-0.05	-0.04	1.00									
Cu	0.06	-0.01	-0.06	-0.11	-0.10	-0.07	0.02	-0.05	-0.08	-0.10	0.05	-0.05	-0.14	-0.13	0.01	1.00								
Pb	-0.28	0.23	0.09	0.07	0.41	0.35	-0.04	0.19	0.26	0.24	0.07	0.29	0.09	0.32	-0.03	-0.05	1.00							
Zn	-0.48	0.27	0.88	0.54	0.19	0.08	-0.37	0.31	0.20	0.21	0.11	0.41	0.51	0.40	0.15	-0.01	-0.00	1.00						
W	-0.18	0.10	0.18	0.07	0.16	0.16	-0.01	0.04	0.15	0.13	0.10	0.13	0.05	0.12	0.53	0.18	0.20	0.19	1.00					
Zr	-0.10	0.03	0.06	0.12	0.22	0.21	-0.10	0.08	0.22	0.11	0.11	0.05	0.05	0.06	-0.04	-0.00	0.00	-0.02	-0.02	1.00				
Sn	-0.04	0.09	0.10	0.24	0.03	-0.02	-0.24	0.04	0.03	0.05	0.22	0.16	0.17	0.16	0.05	0.01	0.09	0.12	0.01	-0.00	1.00			
Ni	-0.23	0.24	0.03	0.22	0.23	0.16	-0.10	0.26	0.20	0.30	0.03	0.17	0.22	0.20	0.05	-0.21	0.23	-0.05	-0.04	-0.10	-0.02	1.00		
Co	-0.21	0.14	0.20	0.14	0.39	0.17	-0.15	0.23	0.30	0.18	0.22	-0.02	0.01	0.05	0.07	0.07	0.01	0.02	0.07	0.24	-0.09	0.01	1.00	
V	-0.55	0.34	0.39	0.46	0.73	0.63	0.25	0.34	0.76	0.54	0.33	0.54	0.35	0.45	-0.06	-0.09	0.42	0.18	0.07	0.18	0.08	0.26	0.42	1.00
Cr	-0.49	0.27	0.31	0.36	0.62	0.72	-0.24	0.27	0.67	0.58	0.22	0.67	0.42	0.58	-0.01	-0.12	0.44	0.15	0.10	0.12	0.04	0.16	0.16	0.71

TabLeau n°1

A El Bema, tableau n° 2 une corrélation du tungstène avec les composantes des phases micacées (Al_2O_3, F, Rb, Li, perte au feu) apparaît de même qu'avec l'étain, ce dernier étant plutôt corrélé avec le manganèse. Mais les corrélations de l'étain avec les autres éléments analysés sont plutôt faibles, ce qui tend à montrer une dissémination de ce métal sous une forme minéralogique propre la cassitérite.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_{3T}	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	Paf	F	Rb	Li	Mo	Cu	Pb	Zn	W	Zr	Sn	Ni	Co	V
SiO_2	1.00																							
Al_2O_3	-0.69	1.00																						
Fe_2O_{3T}	-0.71	0.09	1.00																					
MnO	-0.78	0.59	0.56	1.00																				
MgO	-0.60	-0.01	0.96	0.47	1.00																			
CaO	-0.26	0.09	0.25	-0.09	0.24	1.00																		
Na_2O	0.50	-0.09	-0.65	-0.07	-0.65	-0.56	1.00																	
K_2O	-0.70	0.50	0.50	0.27	0.45	0.53	-0.82	1.00																
TiO_2	-0.63	-0.00	0.99	0.50	0.98	0.24	-0.64	0.45	1.00															
P_2O_5	-0.59	-0.02	0.97	0.46	0.97	0.26	-0.61	0.40	0.98	1.00														
Paf	-0.56	0.70	0.02	0.47	-0.11	0.29	0.07	0.31	-0.06	-0.05	1.00													
F	-0.92	0.79	0.56	0.70	0.43	0.31	-0.48	0.76	0.47	0.42	0.85	1.00												
Rb	-0.74	0.80	0.21	0.57	0.12	0.04	-0.29	0.60	0.11	0.06	0.59	0.76	1.00											
Li	-0.94	0.77	0.62	0.70	0.50	0.24	-0.52	0.74	0.53	0.50	0.61	0.96	0.78	1.00										
Mo	-0.50	0.19	0.31	0.41	0.21	-0.07	-0.31	0.36	0.26	0.21	0.18	0.40	0.56	0.42	1.00									
Cu	0.23	-0.16	-0.25	-0.03	-0.13	0.02	0.27	-0.24	-0.21	-0.17	-0.03	-0.27	-0.27	-0.30	-0.27	1.00								
Pb	0.28	-0.40	-0.23	-0.35	-0.21	-0.13	-0.00	-0.06	-0.22	-0.22	-0.20	-0.34	0.00	-0.30	0.27	-0.10	1.00							
Zn	-0.84	0.29	0.96	0.72	0.89	0.20	-0.60	0.56	0.93	0.90	0.22	0.72	0.40	0.77	0.41	-0.21	-0.24	1.00						
W	-0.41	0.55	-0.00	0.34	-0.04	-0.30	0.01	0.17	-0.06	-0.10	0.32	0.38	0.82	0.44	0.38	-0.26	0.14	0.14	1.00					
Zr	-0.54	-0.08	0.95	0.45	0.94	0.19	-0.56	0.39	0.96	0.94	-0.11	0.40	-0.02	0.44	0.20	-0.17	-0.24	0.87	-0.22	1.00				
Sn	-0.22	0.46	-0.04	0.67	-0.03	-0.25	0.39	-0.20	-0.07	-0.09	0.23	0.17	0.31	0.14	0.01	0.22	-0.34	0.08	0.31	-0.12	1.00			
Ni	0.13	-0.31	0.04	0.07	0.04	-0.23	0.26	-0.24	0.06	0.03	-0.01	-0.14	-0.18	-0.20	0.06	-0.06	-0.09	0.00	-0.14	0.15	0.01	1.00		
Co	-0.62	-0.01	0.93	0.57	0.91	0.13	-0.46	0.33	0.93	0.91	-0.03	0.45	0.09	0.49	0.26	-0.05	-0.20	0.90	-0.05	0.92	-0.02	0.12	1.00	
V	-0.53	-0.09	0.92	0.42	0.91	0.17	-0.56	0.36	0.93	0.92	-0.12	0.39	0.00	0.43	0.24	-0.16	-0.16	0.85	-0.15	0.95	-0.16	0.14	0.93	1.00
Cr	-0.48	-0.14	0.91	0.39	0.90	0.29	-0.54	0.34	0.94	0.91	-0.11	0.35	-0.06	0.36	0.22	-0.21	-0.25	0.81	-0.25	0.96	-0.12	0.24	0.87	0.89

TabLeau nº 2

A Tamazaror, tableau n° 3 , nous retrouvons une bonne corrélation du tungstène avec les éléments d'une phase basique (Fe_2O_3, TiO_2, P_2O_5, V - Cr - Zr). Ce fait est assez curieux. En revanche, l'étain ne montre qu'une très faible corrélation avec les éléments acides.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_{3T}	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	Paf	F	Rb	Li	Mo	Cu	Pb	Zn	W	Zr	Sn	Ni	Co	V
SiO_2	1.00																							
Al_2O_3	-0.72	1.00																						
Fe_2O_{3T}	-0.64	0.16	1.00																					
MnO	-0.27	0.38	-0.04	1.00																				
MgO	-0.36	-0.27	0.57	-0.03	1.00																			
CaO	-0.41	0.21	-0.52	-0.06	0.85	1.00																		
Na_2O	-0.27	-0.01	-0.14	-0.17	0.27	0.32	1.00																	
K_2O	-0.30	0.23	-0.17	0.72	0.02	0.06	0.40	1.00																
TiO_2	-0.53	0.05	0.95	-0.17	0.54	0.46	-0.07	-0.23	1.00															
P_2O_5	-0.21	-0.14	0.50	-0.67	0.26	0.28	0.13	-0.50	0.55	1.00														
Paf	0.03	0.22	0.19	-0.23	-0.36	-0.39	-0.68	-0.67	0.18	0.34	1.00													
F	-0.13	0.41	-0.03	0.11	-0.14	-0.05	-0.10	0.01	-0.13	-0.30	-0.17	1.00												
Rb	-0.28	0.52	-0.36	0.63	-0.28	-0.22	0.35	0.83	-0.44	-0.55	-0.52	0.35	1.00											
Li	0.04	0.11	-0.08	-0.12	-0.03	0.06	0.06	-0.13	-0.12	-0.13	-0.18	0.61	0.20	1.00										
Mo	-0.31	0.10	0.41	0.06	0.09	0.23	0.04	0.05	0.37	0.27	0.11	-0.10	-0.10	-0.25	1.00									
Cu	-0.12	0.00	-0.03	-0.13	0.00	0.03	0.40	0.06	0.00	0.13	-0.15	-0.08	0.02	-0.09	0.10	1.00								
Pb	0.29	-0.22	-0.08	-0.19	-0.09	-0.11	-0.13	-0.32	-0.00	0.10	0.19	0.02	-0.25	0.18	-0.02	-0.12	1.00							
Zn	-0.38	0.36	0.19	0.70	0.07	0.03	-0.04	0.57	0.11	-0.43	-0.24	0.01	0.49	0.10	-0.03	0.18	-0.18	1.00						
W	-0.41	0.33	0.69	-0.17	-0.11	-0.14	-0.29	-0.26	0.67	0.51	0.53	-0.03	-0.25	-0.15	0.41	-0.02	-0.07	0.04	1.00					
Zr	-0.27	0.13	0.55	-0.24	-0.01	0.01	-0.19	-0.36	0.52	0.64	0.53	-0.11	-0.33	-0.11	0.68	0.02	0.03	-0.24	0.75	1.00				
Sn	0.42	-0.13	-0.37	0.26	-0.33	-0.35	-0.25	0.02	-0.41	-0.44	0.05	0.02	0.10	-0.07	0.00	0.01	0.07	0.08	-0.21	-0.11	1.00			
Ni	-0.27	-0.08	0.56	-0.26	0.52	0.26	0.08	-0.19	0.60	0.26	-0.04	-0.16	-0.34	-0.01	-0.24	-0.00	-0.12	0.18	0.33	-0.09	-0.36	1.00		
Co	-0.52	-0.05	0.77	0.00	0.83	0.76	0.08	-0.00	0.74	0.26	-0.18	-0.09	0.30	-0.07	0.15	-0.08	-0.14	0.21	0.22	-0.03	-0.38	0.69	1.00	
V	-0.50	-0.02	0.94	-0.21	0.56	0.52	-0.02	-0.21	0.96	0.57	0.11	-0.19	-0.46	-0.12	0.34	0.04	-0.06	0.13	0.66	0.48	-0.40	0.64	0.76	1.00
Cr	-0.28	0.04	0.65	-0.14	0.19	0.08	-0.11	-0.12	0.72	0.23	0.09	-0.10	-0.28	-0.11	0.06	0.04	-0.07	0.30	0.59	0.10	-0.25	0.77	0.54	0.74

TabLeau nº3

3.5. - ETUDE DU COMPORTEMENT DE L'ETAIN ET DU TUNGSTENE PAR LA METHODE DE "REGRESSION MULTIPLE"

Les corrélations observées en ACPN pour Sn et W nous ont incités à affiner notre analyse en traitant les résultats analytiques par une méthode de régression multiple.

Cette méthode permet de visualiser linéairement le comportement d'une variable privilégiée par rapport à un ensemble d'autres variables sous forme d'une équation du 1° degré du type :

$$y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \ldots + \varepsilon \text{ (résidu)}.$$

3.5.1. A Nahda, nous avons choisi W comme variable privilégiée, l'équation s'écrit :

$$W = 1{,}59\ Mo + 12{,}85$$

Ce qui signifie qu'en dehors de Mo, élément non significatif pour notre étude, les autres éléments n'ont aucune corrélation avec W.

3.5.2. A El Bema, nous avons retenu W et Sn comme variables privilégiées.

Dans le cas de Sn, l'équation s'écrit :

$$Sn = 69{,}55\ Al_2O_3 - 87{,}12\ K_2O - 488$$

La corrélation positive entre Sn et Al_2O_3 et négative entre Sn et K_2O qui apparaît dans cette équation semble indiquer une relative opposition entre l'étain et le microcline.

Pour W l'équation s'écrit :

$$W = 0,18\ Rb - 2,23\ K_2O + 7,84$$

W apparaît lié aux phases micacées ; en revanche l'anticorrélation de W avec K_2O semble indiquer comme dans le cas de Sn que W n'est pas lié au microcline mais aux phases micacées riches en Rb. Ceci est confirmé par l'analyse des minéraux triés tableau n°4 .

3.5.3. A Tamazaror, l'équation pour W s'écrit :

$$W = 5,42\ Fe - 7,48\ MgO - 4,87\ CaO + 36,55\ P_2O_5 + 0,5\ Na_2O - 11\ TiO_2 - 3,83$$

Ceci montre une bonne corrélation entre W et les éléments basiques comme il a été observé en ACFN. Mais W semble lié essentiellement aux phases ferrifères, phosphatées et sodiques et s'écarte au contraire des phases magnésiennes, calciques et titanifères. Il est en particulier intéressant de noter que le tungstène qui était bien corrélé dans la matrice de corrélation au titane (r = coefficient de corrélation de W - Ti = 0,67) apparaît dans l'équation précédente légèrement opposé à W.

Ceci semble indiquer une préférence de W pour les phases ferrifères les moins titanifères.

Les séparations de minéraux effectuées sur l'échantillon T7B ont isolé une fraction lourde ferrifère contenant 1 500 ppm de W.

L'analyse aux rayons X ne nous a pas permis de retrouver un minéral de W individualisé, seule l'hématite est présente.

MINERAUX TRIES

TABLEAU DES DONNEES N°4

N° des échantillons	SIO2	ALO3	FEO3	MNO	MGO	CAO	NA2O	K2O	TIO2	P2O5	PAF	F	V	RB	LI	MO	CU	PB	ZN	W	ZR	SN
N23M	45.08	31.5	7.00	0.17	0.22	0.55	0.21	3.50	0.08	0.52	4.44	1.67	30	2316	1131	44	5	5	400	81	28	300
N23B	35.38	20.2	28.95	0.72	0.32	0.45	0.19	7.75	0.47	0.14	2.14	2.58	70	4321	3653	138	5	5	2000	28	36	300
N39M	46.06	29.5	6.00	0.87	0.34	0.00	0.19	8.25	0.24	0.34	4.46	2.75	24	4766	4415	0	10	5	400	51	26	300
N55M	45.48	29.4	5.85	0.57	0.80	0.00	0.25	8.60	0.32	0.26	4.40	2.93	24	2873	3742	0	10	40	300	55	17	200
N61M	45.00	28.7	7.20	0.67	0.38	0.45	0.42	10.25	0.28	0.32	4.28	2.38	15	4925	3457	0	10	5	500	102	21	300
N76M	44.82	30.0	8.30	0.37	0.68	0.50	0.42	7.75	0.40	0.36	4.32	1.30	9	3953	3349	0	10	25	500	130	34	200
N86M	46.38	27.5	5.50	0.07	3.10	0.45	0.62	8.60	0.74	0.21	4.62	0.98	41	950	1346	0	40	10	300	33	33	30
N86B	38.60	14.0	17.90	0.42	11.30	0.55	0.40	8.50	1.82	0.54	2.86	2.25	44	819	2318	6	80	5	800	12	49	30
M2B	35.20	17.3	26.20	0.45	5.44	0.85	0.42	5.75	0.80	0.54	2.62	0.95	20	1227	2559	0	20	50	400	21	573	100
M15B	35.40	18.5	25.60	0.85	3.65	0.80	0.37	7.00	2.26	0.28	3.44	0.90	22	1615	3352	0	30	40	1000	49	54	400
M19M	44.78	30.0	7.00	0.37	1.00	0.25	0.47	9.25	0.50	0.06	4.30	1.17	9	3059	3122	0	5	5	250	30	69	600
M20M	48.96	37.0	1.80	0.32	0.26	0.20	0.30	3.25	0.12	0.06	4.70	0.59	12	3453	109	0	15	5	300	13	0	1000
URM1	46.04	25.8	6.40	0.50	1.95	0.00	0.40	9.50	0.64	0.06	4.30	4.50	20	3200	7700	0	40	5	300	88	0	300
URM2	46.10	25.8	5.57	0.50	1.92	0.25	0.37	10.25	0.52	0.05	4.46	4.50	20	3260	7733	0	40	5	250	108	0	200

	NI	CO	V	CR
N23M	0	0	5	5
N23B	0	2	5	5
N39M	0	0	0	0
N55M	5	0	50	5
N61M	0	15	5	5
N76M	5	6	20	5
N86M	5	0	200	5
N86B	15	20	250	10
M2B	2	10	100	20
M15B	2	6	100	10
M19M	0	0	80	0
M20M	5	0	10	5
URM1	5	0	100	0
URM2	0	0	100	0

4 - MODELE DE CONCENTRATION

Les observations précédentes nous permettent de proposer un schéma de concentration du tungstène pour la formation d'un gisement. Il convient d'abord de rappeler que Nahda est accompagné d'un gisement de wolframite très important et que Tamazaror présente un cortège de filons avec une minéralisation réduite. Pour le district d'El Bema, seuls des indices de tungstène ont été relevés à ce jour. En revanche, des filons intrabatholitiques renfermant de la cassitérite y ont été mis à jour mais il ne s'agit que d'un petit gisement.

Ainsi, la mise en place d'un important gisement suppose une "extraction"poussée du tungstène à partir du granite. L'absence d'un tel type de gisement laisse supposer que le processus de différenciation n'a pu concentrer le métal ou que le stock métal affecté était inexistant ou insuffisant. L'absence de corrélation du tungstène à Nahda avec un quelconque élément semble indiquer une extraction poussée du métal. Dans ce cas, la phase fluide qui échappe à l'analyse chimique et par conséquent à l'étude statistique que nous avons faite est responsable de ce processus. En effet, le coefficient de partage du tungstène entre minéraux et fluides est très favorable à ce dernier. En outre, une étude des coefficients de partage de W entre minéraux triés effectuée par dosage de l'élément, montre une concentration de W dans les phases hydroxylées et fluorées (micas) Tableau n°4 . L'étude géochimique complète du système devrait porter sur l'ensemble : Taourirt - filons - phase fluide.

A Tamazaror, nous avons noté l'importance de cette phase fluide et les transformations (évolutions) poussées qu'elle a entraînées.

L'absence de gisement conséquent de W est à relier aux corrélations de ce métal qui existent toujours avec certains éléments. Nous avons noté à cet égard la corrélation W-perte au feu qui laisse supposer le piégeage du métal dans des minéraux hydroxylés. De même, la curieuse corrélation entre W et les "phases basiques" nous a amenés à entreprendre un tri de minéraux qui nous a montré qu'effectivement, le tungstène est lié à des minéraux ferrifères qui, à notre avis, sont les résidus d'une "déferrification" incomplète d'un matériel basique absorbé par l'intrusion et que nous avons d'ailleurs relevé en abondance dans la région sous forme de granodiorites ou de microdiorites. Il est à noter à cet égard que ce type de matériel basique apparaît souvent dans les Taourirts de cette région sous forme de xénolithes. Nous noterons au passage que quelques granodiorites proches de TAMAZAROR renferment des teneurs de 5 ppm largement supérieures au clarke et qu'un échantillon de l'environnement de Nahda a donné 18 ppm de W.

A EL BEMA, nous avons déjà mis en évidence la corrélation entre tungstène et micas ainsi que celle, mais partielle, entre W et Sn. En outre, nous avons relevé grâce au diagramme chimico-minéralogique que l'intrusion était moins évoluée que les précédentes. La concordance de ces faits incite à penser que l'intrusion d'EL BEMA présente un certain caractère de cristallisation fractionnée relevé par ailleurs dans le diagramme K/Rb = f (Rb) Fig.
Ce processus est évidemment inopérant pour la concentration du tungstène dans les filons. Par contre, la présence d'un gisement d'étain non négligeable mais en position intrabatholitique laisse supposer un stock initial de ce métal assez important et susceptible d'être mobilisé "in situ" par le processus mixte cristallisation fractionnée, hydrothermalisme faible qui semble avoir été mis en oeuvre à EL BEMA. Pour appuyer cette hypothèse, étudions les corrélations de certains éléments entre eux.

BOISSAVY-VINEAU (1979) dans son mémoire sur les granites de la MARGERIDE, de la MARCHE ORIENTALE (Massif Central français) et LAGARES (Portugal) distingue nettement deux grandes familles d'éléments présentant un comportement opposé durant la différenciation magmatique. La première comprend les éléments non hygromagmatophiles qui s'appauvrissent dans les fluides au cours de l'évolution magmatique : Tr - U - Th - Hf - Ba - Zr - Sr - Ni - Sc - Co - V - Fe - Ti. La seconde comprend Sn, Ta et dans une moindre mesure W, Cs, Rb, Li, F dits éléments hygromagmatophiles qui s'enrichissent au cours de l'évolution magmatique. Elle obtient une corrélation positive entre deux éléments hygromagmatophiles et une corrélation négative entre un élément hygromagmatophile et un élément non hygromogmatophile et conclut que la nature de la différenciation magmatique est de type cristallisation fractionnée.

A NAHDA, l'absence de corrélation de ce type montre bien que le phénomène de cristallisation fractionnée a été oblitéré par la phase hydrothermale. A EL BEMA, par contre, la bonne corrélation entre W et Rb (r =0,8)

et les corrélations W-Li r = 0,44 ; W-F r = 0,38 ; W-Sn r = 0,31 montrent que la cristallisation fractionnée n'a pas été complètement effacée par l'hydrothermalisme.

Tamazaror présente un cas particulier à cause de la corrélation du tungstène et de certains éléments basiques mais l'absence de corrélation du tungstène avec les autres éléments dits hygromagmatophiles (Sn - Rb - Li - F) rapproche cette intrusion de celle de Nahda.

CONCLUSION

Nous pouvons conclure de cette analyse que la formation d'un gisement de tungstène implique une phase hydrothermale puissante indispensable pour l'extraction et le transport du métal. La forte anomalie en fluor de la région de LAOUNI (NAHDA + TAMAZAROR) est probablement responsable de ce processus. La moyenne à Nahda est de 0,96 %, ce qui représente plus de 11 fois le clarke et à Tamazaror elle atteint 0,46 % soit 5 fois le clarke. A EL BEMA, l'importance du fluor semble moindre, la moyenne de l'intrusion est de 0,14 %.

Une petite quantité de bore inexistante à LAOUNI apparaît dans le district d'EL BEMA.

Il est possible au vu de nos résultats de proposer un indice de différenciation qui permettrait de caractériser les systèmes susceptibles de mobiliser le tungstène sous forme de gisement. A cet égard, un coefficient de corrélation faible ou nul entre le tungstène et tous les autres éléments du cortège géochimique de l'intrusion semble significatif.

- ORIGINE DU STOCK METAL

La connaissance de l'origine du métal mobilisé par les processus peut être intéressante pour la poursuite de la prospection (Hypothèse de ROUTHIER). Nous avons ainsi cherché à mettre en évidence une corrélation entre une éventuelle anomalie géochimique du socle de base régional et la nature de la minéralisation mobilisée par l'intrusion. L'échantillonnage effectué a permis de doser les mêmes éléments que pour les Taourirts. Il est apparu qu'aussi bien dans la région de LAOUNI que dans celle d'EL BEMA, aucune anomalie significative en W ou en Sn n'était révélée (seuls deux échantillons de granodiorite proches de Tamazaror et un échantillon de granitogneiss de l'environnement de Laouni présentent des teneurs anormales en tungstène). En particulier il ne semble pas possible statistiquement d'affirmer que le socle de la région de Laouni soit riche en W et celui d'El Bema riche en Sn. L'hétérogénéité des échantillons étudiés ne nous permet pas de trancher ce débat. Seule une étude régionale comparant les teneurs en W et Sn de séries de roches identiques dans les deux districts permettrait probablement d'apporter une réponse à cette question. Ceci suppose toutefois une origine crustale des deux métaux, origine qui, en ce qui concerne W, semble encore discutée.

En outre, il ne nous a pas été possible de dater les granites étudiés dans ce mémoire ni de calculer la valeur du rapport initial Sr^{87}/Sr^{86}.

Dans la bibliographie, nous avons trouvé deux datations de Taourirts situés dans le Nord du Hoggar.

Les massifs d'Iskel et de Tioueine ont donné un âge de 560 $\mp$ 50 Ma et un rapport initial Sr^{87}/Sr^{86} = 0,705 sur isochrone roche totale granite (Boissonnas et al, 1969).

Le massif d'In Akoulmou a donné un âge de 502 $\mp$ 13 Ma et un rapport initial Sr^{87}/Sr^{86} = 0,703.

Ces rapports initiaux du Sr semblent plutôt indiquer une origine mantellique des magmas granitiques de ces trois massifs.

CONCLUSION GENERALE

Le but du présent travail a été de chercher la liaison existant entre les caractéristiques géochimiques des granites Taourirts du Hoggar central et les gisements de tungstène et d'étain qui leur sont associés, le premier élément constituant l'essentiel des minéralisations observées dans cette province métallifère.

Le premier chapitre a présenté sommairement l'évolution des conceptions géologiques de l'ensemble du Hoggar.

Le deuxième chapitre a montré qu'à des systèmes de failles bien répertoriées sont liées des intrusions de granites jeunes, d'âge pan-africain qui présentent des phénomènes de différenciation magmatique poussée.

Le troisième chapitre s'est attaché à l'étude pétrographique des trois intrusions retenues dans le cadre de cette étude Nahda, Tamazaror et El Bema. Les deux premières sont constituées de granites qui seraient un concentré d'éléments hygromagmatophiles.

L'intrusion d'El Bema présente dès le premier stade de l'étude un caractère moins différencié que les précédentes.

Le quatrième chapitre traite de l'étude géochimique des granites. Après description de la méthode d'échantillonnage, nous avons développé les méthodes analytiques utilisées (absorption atomique, fluorescence X, spectrométrie d'émission, électrodes sélectives). 27 éléments majeurs et traces ont ainsi été dosés sur : SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 - Mno - MgO - CaO - Na_2O - K_2O - TiO_2 - P_2O_5 - perte au feu - F - Sr - Rb - Li - Mo - Cu - Pb - Zn - W - Zr - Sn - Ba - Ni - Co - V - Cr.

Les éléments majeurs ont servi à tracer les diagrammes chimico-minéralogiques. Ils ont montré que les intrusions de NAHDA et de TAMAZAROR étaient fortement différenciées et que, en revanche, celle d'El Bema conser-

vait un caractère moins évolué et se rapprochait des granites corses étudiés par CARRON et al (1973). Dès cette étude les greisens s.st sont apparus comme détachés de la lignée magmatique qui est tracée à l'aide des caractéristiques des différents faciès granitiques. L'étude des éléments traces a été entreprise à l'aide de l'analyse en composantes principales (ACPN). Cette étude a fait ressortir les points suivants :

Tout d'abord, les lignées magmatiques des granites se retrouvent (mais là encore les greisens s'individualisent en entités nettement détachées de ces lignées).

Ensuite, nous avons pu montrer que pour Nahda, les zones albitiques et siliceuses sont opposées aux zones à muscovite et à microcline. Le même schéma se retrouve à peu près à El Bema et à Tamazaror.

A Nahda, le tungstène et l'étain ne présentent aucune corrélation avec les autres éléments.

A El Bema, une corrélation non négligeable de ces éléments avec des phases micacées riches en OH^- et F^- (éléments fluides) apparaît.

A Tamazaror, on est en présence d'une curieuse corrélation entre W et les éléments des "phases basiques" (Fe_2O_3 - TiO_2 - P_2O_5 - Zr - V - Cr) ainsi d'ailleurs qu'avec OH^- qui est, comme nous l'avons montré, lié dans ce cas surtout au kaolin. Une analyse par régression multiple a permis de préciser plus finement ces observations en liant à Tamazaror W aux phases basiques contenant du fer et non du magnésium ou du titane et à EL BEMA W aux phases micacées contenant du rubidium au détriment de celles qui retiennent le potassium.

Ces observations nous ont permis d'expliciter le mécanisme de concentration de W.

A Nahda, l'absence de corrélation de W avec les autres éléments laisse supposer l'intervention d'une phase fluide très importante au bénéfice de laquelle s'effectue le partage de W qui s'est déposé ultérieurement dans les filons. Rappelons que ceux-ci n'entrent pas dans le bilan de l'étude géochimique présente et que le gisement de W auquel est lié cette intrusion est très important.

A El Bema, au contraire, une corrélation non négligeable de W avec des micas riches en fluides (OH^-, F^-) laisse supposer une intervention moins massive de ces derniers. Cette corrélation W- fluide existe encore dans ce cas et implique que W reste piégé dans ces phases silicatées. Ce fait constitue un facteur déterminant entre les minéraux de granite bien mis en évidence par l'ACPN et surtout l'analyse par régression multiple. Aucun gisement de W n'est lié à cette intrusion. Un petit gisement de Sn intrabatholitique est connu à El Bema.

A Tamazaror, une curieuse corrélation de W avec les phases basiques ferrifères (et non magnésiennes comme l'a montré l'analyse en régression multiple) a été mise en évidence. L'abondance de ces phases basiques prouvées comme étant de l'hématite, provient d'une déferrification incomplète d'un matériel basique abondant dans la région et qui apparaît quelquefois sous forme de xénolithes dans les Taourirts. W reste lié à ces phases ferrifères (ainsi d'ailleurs qu'à une kaolinite). Malgré l'importance de la phase fluide, le processus n'a pu pour cette raison concentrer qu'un gisement modeste.

Il apparaît donc, à la suite de cette étude, que le processus majeur nécessaire à la concentration et au dépôt d'un gisement de W est l'intervention d'une phase fluide (ici riche en F^-, Rb, Li...), susceptible grâce au coefficient de partage de W élevé en sa faveur, d'extraire cet élément d'un granite en fin de consolidation en oblitérant le phénomène de cristallisation fractionnée illustrée par la loi de Rayleigh. Là où cette phase fluide n'a pas le volume ou la qualité suffisants, l'extraction de W ne peut être menée à bien. Une absence de corrélation de W avec les autres éléments du granite nous paraît constituer un bon critère pour l'évaluation de ce phénomène.

Nous n'avons pas au cours de ce travail émis d'hypothèse sur le caractère tardi ou postmagmatique des phénomènes étudiés et sur le mécanisme mis en oeuvre par les pneumatolytes. En effet, nous n'avons pas cherché à déterminer les données qui auraient permis d'aborder cette question en particulier par une étude minutieuse des inclusions fluides tant en ce qui concerne leur température d'homogénéisation que la nature des fluides piégés.

Il nous semble que dans le cas de nos intrusions, la formation de ces granites serait la conséquence d'une fusion des éléments du socle avec le concours d'une phase fluide d'origine profonde riche en fluor. La mise en place des greisens puis des filons apparaîtrait alors comme le stade ultime d'une différenciation de ce magma en présence de la phase fluide. Toutes les observations effectuées sur les gisements liés aux Taourirts du Hoggar central confirment cette hypothèse.

B I B L I O G R A P H I E

AUBERT G. (1969) - Les coupoles granitiques de Montebras et d'Echassières (MCF) et la genèse de leurs minéralisations en étain, lithium, tungstène et beryllium.
Mémoire du BRGM n° 46.

ALLEGRE C.J., TREUIL M., MINSTER J.F., MINSTER B., ALBARERE F., (1977) - Systematic use of trace element in igneous process, part 1 : fractionnal crystallisation processes in volcanic suites - Contributions to mineralogy and petrology, vol. 60, n° 1.

ANTONOV et GLYNSKY (1972-1976) - Rapport SO.NA.R.E.M. Groupe "Métaux rares" - Rapport interne.

BENZEKRI J.P. (1976) - La Taxinomie - Dunod.

BENZEKRI J.P. (1976) - L'analyse des correspondances - Dunod.

BERTIER P. et BOUROCHE J.M. (1975) - Analyse des données multidimensionnelles - Edition P.U.F.

BERTRAND J.M.L. (1974) - Evolution polycyclique des gneiss précambriens de l'Aleksod (Hoggar central, Sahara algérien) : aspects structuraux, pétrologiques, géochimiques et géochronologiques. Thèse Etat, Montpellier, 307 p. Ed. CNRS, n° 19.

BEUS A.A., SERENOV E.A., SITNIN A.A. (1962) - Granites albitisés et greisénisés (apogranites). Izv. Akad. Nauk. SSSR. Moscou, 1 vol., 196 p.

BOISSAVY-VINAU M. (1979) - Processus géochimiques de concentrations liés à l'évolution des magmas granitiques. Application aux filons à Sn, W du Massif Central et du Nord Portugal, thèse 3° cycle, Paris VI.

BOISSONNAS J. (1973) - Les granites à structure concentrique et quelques autres granites tardifs de la chaîne pan-africaine en AHAGGAR (Sahara central, Algérie). Thèse Etat, 2 tomes, Paris VI, Edition BRGM.

BURNOL L., GEFFROY J. et SOLER P. (1978) - Le tungstène, ses principaux types de gisements. Chroniques de la recherche minière n° 441 et 443.

BURNOL L. (1974) - Géochimie du béryllium et types de concentration dans les leucogranites du Massif Central français. Mémoires du BRGM, n° 85.

CABY R. (1970) - La chaîne pharusienne dans le Nord-Ouest de l'Ahaggar (Sahara central, Algérie), sa place dans l'orogénèse du Précambrien supérieur en Afrique. Thèse Etat, Univ. Montpellier.

CARRON J.P., BONIN B., VELLUTINI P., LAGACHE M. (1973) - L'évolution du rapport $\frac{K}{Rb} = f(Rb)$ dans les roches éruptives de Corse occidentale. Bull. Soc. Geol. Fr. 7, XV, n° 3-4, p. 274-282.

CHAROY B. (1979) - Définition et importance des phénomènes deutériques et des fluides associés dans les granites. Conséquences métallogéniques. Thèse Etat. Nancy.

CHAURIS L. (1977) - Ceintures granitiques hercyniennes et minéralisations stannowolframifères dans le Massif Armoricain. C.R.A.S., Paris, t 284, série D, 1009.

DIDIER J. et LAMEYRE J. (1980) - Les granitoïdes corses du Massif Central. Mémoires du B.R.G.M., n° 107.

DUPUY C. (1970) - Contribution à l'étude des fractionnements géochimiques des alcalins, des alcalino-terreux et du gallium au cours des processus magmatiques. Thèse Etat. Montpellier.

GRAVELLE M. (1969) - Recherche sur la géologie du socle précambrien de l'Ahaggar centro-occidental dans la région de Silet-Tibehaouine. Thèse Etat, Fac. Sci. Paris.

HOLLAND H.D. (1972) - Granites, solutions and base metal deposits. Economic Geology, vol. 67, May 1972, n° 3, p. 281-301.

JORESKOG K.G., KLOVAN J.E., REYMENT R.A. (1976) - Geological factor analysis. Tome 1, Methods in geomathematics. Elsevier scientific publishing compagny. Amsterdam. Oxford. New-York.

LAMEYRE J. (1966) - Leucogranites et muscovitisation dans le Massif Central français. Ann. Fac. Sc. Univ. Clermont, n° 29, 264 p.

LA ROCHE H. de (1972) - Revue sommaire de quelques diagrammes chimico-minéralogiques pour l'étude des associations ignées ou sédimentaires et de leurs dérivés métamorphiques. Sc. de la terre. Nancy. t. XVII, n° 1 et 2, pp. 31-46.

LELUBRE M. (1952) - Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental. Thèse Etat. Paris. Bull. Serv. Carte géol. Alger, 2° série, n° 22.

LESCUYER J.L. et RIOU R. (1976) - Geologie de la région de Mianeh (Azarbaijan). Contribution à l'étude du volcanisme tertiaire de l'Iran. Thèse 3° cycle. Grenoble.

LEUTWEIN F. (1964) - Les caractéristiques géochimiques de l'évolution des gisements d'étain et de wolfram de l'Erzgebirge. Sci. Terre, Fr., 10, n° 1, pp. 35-78.

MARMOTTANS M., DUPUY C., ORSINI J. (1977) - Interprétation de la répartition des éléments Li, Rb, Sn, Ba dans les granitoïdes : exemple des massifs de Budduso et de Concas (Sardaigne nord-orientale). C.R. somm. Soc. Géol. Fr., fasc. 6, pp. 336-338.

Mc CARTY T.S. and GROVES D.I. (1972) - The blue batholith, Northeastern Tasmania a cumulate. Like product of fractional cristallisation. Contributions to Mineralogy and Petrology, vol. 60, n° 1.

MONIER GILLES (1980) - Petrologie des granitoïdes du Sud Millevaches (MCF), Minéralogie, géochimie, géochronologie. Thèse 3° cycle, Clermont.

PELLITERO E., SAAVEDRA J., SANCHEZ A.G. et A. ARRIBA MORENO (1976) - Geoquimica del W en el area circumdate al yaciemento de scheelita de Barrueco-pardo (Salamanca). Acta geologica hispanica tXI (1976), n° 5, pp. 133-136.

VITEL G. (1979) - La région Tefedest-Atokor du Hoggar central (Sahara). Evolution d'un complexe granulitique précambrien. Doctorat Etat. Paris VII. ORSAY.

ANNEXES

INTRUSION NAHDA

TABLEAU DES DONNEES

N° échantillon	SIO2 %	AL03	FE03	MNO	MGO	CAO	NA20	K20	TIO2	P205	PAF	F	SR	RB	LI	MO	CU	PB	ZN	W	ZR	SN
NO1A	60.92	19.61	3.91	0.30	1.47	1.68	1.40	6.72	0.65	0.17	3.40	2.17		1222	1735	0	20	305	233	72	208	60
NO2A	70.06	17.58	0.13	0.11	0.12	0.20	4.63	4.14	0.01	0.14	0.94	2.43		3284	5596	0	6	13	20	12	15	100
NO3A	70.38	17.32	0.15	0.18	0.18	0.52	4.40	3.18	0.01	0.15	1.16	2.26		3012	6887	0	6	9	32	14	22	200
NO4B	73.44	15.98	0.60	0.18	0.13	0.41	4.37	4.41	0.00	0.16	1.03	0.83		1264	753	0	24	23	184	19	19	25
NO5C	74.24	15.10	0.82	0.18	0.20	0.43	4.24	3.94	0.01	0.11	0.94	0.80		1053	602	0	37	23	116	11	22	40
NO6C	73.69	15.10	1.03	0.14	0.07	0.50	4.18	3.93	0.03	0.12	1.09	0.60		1011	697	0	4	16	79	8	60	60
NO7E	73.08	15.89	0.93	0.16	0.10	0.33	4.93	3.87	0.03	0.12	1.01	0.67		1039	447	0	6	16	115	14	22	65
N7AE	65.61	19.60	0.11	0.01	0.14	0.03	2.73	11.85	0	0.13	0.36	0		2917	15	0	3	39	26	0	1	10
NO8F	53.35	20.56	3.14	0.34	1.50	4.74	4.39	5.95	0.59	0.93	1.09	5.15		2390	8327	6	3	412	129	63	164	80
NO9F	43.27	24.77	4.68	0.78	1.18	6.80	0.21	9.72	1.64	1.08	1.47	7.17		3933	5203	4	3	9	246	32	607	100
N10C	77.29	14.62	0.76	0.14	0.06	0.37	4.23	4.33	0.03	0.17	2.33	0.37	33	927	405	0	4	14	72	9	20	45
N11F	46.09	24.24	6.36	1.26	1.84	2.75	0.33	9.79	0.58	1.70	1.46	4.15		5357	8108	6	3	11	484	31	205	200
N12C	73.28	15.44	0.94	0.20	0.15	0.40	4.34	4.17	0.04	0.15	0.73	0.60		1126	545	4	4	11	92	10	33	70
N13C	89.09	7.15	0.41	0.10	0.25	0.04	0.37	1.97	0.01	0.02	1.06	1.60		570	60	0	2	5	40	1	2	20
N14A	54.11	29.76	1.56	0.36	0	0.09	4.55	5.57	0.01	0.05	1.83	2.95		1694	658	2	35	46	342	9	10	80
N15A	71.65	15.88	0.35	0.22	0.18	0.87	4.63	3.50	0.01	0.49	1.11	0.25		1954	2027	4	3	9	84	5	8	100
N18A	72.23	16.18	0.42	0.13	0.09	0.35	5.62	3.73	0	0.23	0.66	0.05		1158	156	4	2	22	82	6	1	60
N19B	71.07	16.69	2.23	0.11	0.20	0.16	2.15	6.33	0.01	0.11	1.31	0.60		1126	680	4	2	92	134	23	10	55
N20C	75.58	16.38	1	0.13	0.05	0.13	5.19	4	0.02	0.23	2.48	0.30	45	1031	275	4	32	15	199	41	16	70
N21D	73.59	15.04	0.91	0.09	1.82	0.47	5.98	4.27	0.04	0.12	0.70	0.25	42	618	237	5	3	33	71	35	40	45
N22D	73.01	15.22	1.35	0.10	0.26	0.40	3.96	4.60	0.10	0.11	0.96	0.20	33	632	347	4	8	31	99	14	60	50
N22*	71.57	13.80	0.92	0.07	0.13	0.33	4.24	3.46	0.06	0.10	0.85	0.25		540	486	5	2	17	80	17	2	65
N23F	74.21	13.52	5.29	0.19	0.25	0.22	0.15	4.10	0.08	0.18	1.32	0.85		1193	699	82	2	5	384	31	32	200
N24D	71.87	15.83	1.38	0.09	0.24	0.65	4.23	4.77	0.10	0.11	1.07	0.43	37	758	446	4	2	26	76	10	55	25
N25C	71.99	16.69	0.72	0.14	0.05	0.38	5.67	3.66	0.03	0.18	0.94	0.35	5	920	370	4	3	44	138	7	15	50
N26C	72.01	16.01	0.80	0.15	0.12	0.54	5.05	3.76	0.03	0.20	1.24	0.35	22	1006	392	4	11	22	141	9	18	40
N27A	71.93	18.57	0.31	0.20	0.11	0.40	5.76	3.66	0.01	0.24	2.36	0.65		1607	1333	0	2	240	78	7	4	40
N28B	70.36	16.88	1.77	0.12	0.03	0.25	3.72	5.53	0.02	0.08	0.99	0.64		1152	1042	0	8	50	148	19	8	80
N29B	73.08	16.06	0.70	0.16	0.05	0.24	5.13	3.95	0.05	0.12	0.54	1.20		1124	684	0	22	15	129	9	8	45
N30C	73.57	16.04	0.71	0.14	0.07	0.19	4.92	3.86	0.02	0.10	0.60	1.25	7	1092	649	0	32	20	170	5	7	60
N31E	71.91	14.52	0.92	0.13	0.17	0.28	4.85	3.66	0.53	0.10	0.64	0.58		948	625	0	5	18	96	10	30	70
N32C	72.84	14.50	0.80	0.12	0.10	0.50	4.20	3.00	0.04	0.22	0.84	0.91		994	579	5	30	41	169	7	17	150

INTRUSION NAHDA

TABLEAU DES DONNEES

N° échantillon	SIO2 %	AL03	FE03	MNO	MGO	CAO	NA20	K20	TIO2	P205	PAF	F	SR	RB	LI	MO	CU	PB	ZN	W	ZR	SN
N33E	73.13	15.48	0.97	0.15	0	0.20	4.44	4.01	0.03	0.09	0.54	1.20		1131	870	4	2	16	93	8	15	70
N34C	73.15	15.80	0.76	0.15	0.19	0.39	4.48	3.70	0.03	0.17	0.79	0.83	7	1042	507	3	2	11	96	8	21	50
N35C	72.69	15.35	1.06	0.14	0.11	0.22	4.04	3.98	0.05	0.11	0.75	0.85	9	1030	718	3	2	27	84	13	19	90
N36E	73.18	11.95	1.18	0.17	0.09	0.36	4.64	3.61	0.05	0.12	0.65	0.96		901	746	4	4	18	80	10	13	70
N37C	72.89	15.55	0.97	0.16	0.05	0.25	4.73	3.74	0.04	0.15	0.56	1.07	15	1059	778	5	2	18	105	9	14	80
N38E	72.40	15.55	0.84	0.17	0	0.45	5.03	3.63	0.03	0.23	0.86	0.72		966	417	4	4	16	81	8	10	40
N39E	73.56	15.60	0.75	0.17	0.19	0.29	4.56	3.99	0.03	0.17	0.56	0.75		1092	411	0	1	11	81	5	8	70
N40E	82.92	10.23	0.61	0.13	0.10	0.23	2.32	2.49	0.02	0.14	0.79	0.65		793	269	3	2	13	66	6	4	50
N40*	92.54	5.19	0.23	0.05	0.13	0	0.04	1.34	0.03	0.02	0.78	0.35		330	65	0	1	5	25	0	0	30
N41C	73.95	15.28	0.87	0.18	0.07	0.36	4.57	3.80	0.04	0.13	0.60	0.91	8	1063	411	4	3	18	102	5	12	50
N42C	72.34	15.89	0.75	0.16	0.13	0.26	5.24	3.98	0.02	0.13	0.66	0.75		1101	417	5	2	14	84	6	15	35
N43C	72.47	16.16	0.72	0.16	0.15	0.15	6.01	3.59	0.03	0.09	0.99	0.59	14	920	456	2	3	15	161	5	12	30
N44A	49.08	20.40	16.54	0.79	0.29	0	0.21	8.41	0.16	0.04	0.58	3.40		4342	5741	0	2	11	1125	44	0	70
N44*	68.94	16.77	3.39	0.18	0.28	0.16	2.19	6.11	0.06	0.07	1.28	0.01		1477	1650	3	4	22	288	25	7	40
N45A	72.11	16.35	0.23	0.33	0.06	0.22	5.21	2.81	0.01	0.18	0.83	2.13		2361	3133	4	2	11	123	9	14	100
N46A	73.53	14.54	0.89	0.04	0.19	1.38	4.17	4.23	0.12	0.04	1.04	0.03	20	152	24	2	2	26	58	1	93	4
N47C	72.96	15.86	0.76	0.23	0.12	0.19	5.48	3.81	0.04	0.16	0.71	1.43	42	1330	838	2	59	24	162	9	5	100
N48J	54.63	21.92	4.55	0.30	1.04	2.41	4.58	5.63	0.62	0.38	1.53	4.17		3091	4074	3	6	7	325	59	175	150
N49C	74.04	13.80	0.52	0.10	0.10	0.14	4.05	4	0.05	0.23	0.90	0.77	63	1117	685	2	70	13	226	5	14	149
N50C	72.28	15.99	0.79	0.21	0.02	0.15	4.87	3.53	0.03	0.12	0.77	0.83	44	1016	840	3	12	13	165	8	17	107
N51C	72.99	15.43	0.95	0.17	0.15	0.21	4.67	3.50	0.03	0.11	0.69	0.90	2	1056	732	5	7	7	110	5	13	78
N52E	73.77	15.26	0.92	0.19	0.10	0.30	4.94	3.29	0.04	0.12	0.55	1.05		994	924	3	3	24	200	9	17	55
N54C	72.75	16.14	0.85	0.19	0.15	0.13	4.72	3.75	0.03	0.14	0.80	0.98		1124	902	3	3	20	104	7	18	25
N55F	74.44	16.25	2.71	0.51	0.25	0	0	5.43	0.11	0.05	2.48	1.53		1556	1457	3	11	98	204	16	88	1400
N56C	72.51	16.40	0.76	0.20	0.13	0.29	4.38	4.09	0.03	0.13	0.65	1.51	25	1477	902	3	98	15	141	10	10	100
N57C	73	15.85	0.74	0.16	0.05	0.19	4.60	3.96	0.01	0.14	0.57	1.20		1322	873	3	11	17	180	5	16	55
N58C	72.93	15.73	0.90	0.23	0	0.21	4.59	3.64	0.02	0.12	0.46	1.53		1293	988	3	54	28	116	6	10	250
N59B	72.65	16.41	0.71	0.16	0.14	0.02	4.29	4.28	0	0.15	0.82	1.40		1573	916	3	75	15	159	5	16	65
N60A	71.35	16.60	0.75	0.19	0.15	0.13	5.95	1.90	0.03	0.10	1.19	1.20		1193	1100	0	64	7	238	8	15	350
N60*	78.39	11.18	4.51	0.26	0.37	0.02	1.34	3.08	0.05	0.05	1.14	0.97		1129	1054	3	37	7	493	16	0	80
N61C	73.17	15.60	0.82	0.12	0.10	0.43	5.25	3.38	0.02	0.21	0.78	0.60	16	817	249	14	11	26	169	144	10	90
N62C	71.50	16.68	0.95	0.11	0.20	0.32	5.76	3.48	0.04	0.13	0.75	0.40		813	277	3	4	17	131	12	5	150

INTRUSION NAHDA

TABLEAU DES DONNEES

N° échantillon	SIO2 %	AL03	FE03	MNO	MGO	CAO	NA20	K20	TI02	P205	PAF	F	SR	RB	LI	MO	CU	PB	ZN	W	ZR	SN
N63D	74.38	16.15	1.45	0.14	0.14	0.53	4.10	4.82	0.10	0.10	2.16	0.70	34	813	486	4	8	26	149	21	62	80
N64D	73.43	14.74	1.38	0.12	0.13	0.68	4.04	4.27	0.09	0.10	0.93	0.75		646	491	4	39	31	119	15	70	50
N65D	73.29	15.12	1.67	0.12	0.22	0.20	4.	4.09	0.07	0.07	1.10	0.26	16	658	368	3	4	28	136	17	26	55
N66D	73.51	14.33	1.28	0.10	0.17	0.64	3.59	4.46	0.09	0.10	0.97	0.75	28	596	369	4	111	28	133	12	54	45
N67D	72.01	15.91	0.91	0.12	0.07	0.48	5.34	3.67	0.04	0.12	0.83	0.43	3	761	395	3	3	20	78	11	12	50
N68D	71.78	15.87	1.29	0.10	0.14	0.65	3.95	4.69	0.08	0.11	0.97	0.52	40	649	25	5	71	33	136	19	46	50
N69D	73.78	14.60	1.10	0.12	0.07	0.36	4.03	3.80	0.04	0.14	0.91	0.34		792	304	8	54	26	130	74	10	80
N70E	73.60	15.04	1.01	0.14	0.26	0.35	4.44	3.98	0.05	0.12	0.68	0.35		799	270	5	12	22	127	27	21	100
N71D	71.75	15.36	1.42	0.11	0.28	0.65	3.83	4.33	0.09	0.08	1.13	0.52	32	685	402	5	111	28	155	21	51	60
N73D	73.01	14.66	0.90	0.11	0.22	0.27	4.62	3.73	0.02	0.10	0.58	0.31		682	222	5	32	9	134	22	17	100
N74C	72	14.46	1.15	0.14	0.01	0.41	4.83	3.17	0.03	0.13	1.24	0.51		754	296	61	52	33	169	237	28	60
N75D	72.66	15.49	1.20	0.11	0.30	0.26	4.32	3.88	0.05	0.11	0.91	0.52		869	749	5	4	22	90	12	14	15
N76D	72.72	15.79	1.16	0.10	0.27	0.29	4.33	4.33	0.06	0.14	0.93	0.26	12	662	449	0	2	26	242	30	18	60
N77D	73.44	14.59	1.41	0.07	0.15	0.41	4.20	4.66	0.09	0.09	0.93	0.48	14	620	228	3	32	39	126	28	75	50
N90D	73.60	13.46	1.77	0.07	0.26	0.40	3.74	4.81	0.32	0.07	0.87	0.15		159	14	2	63	54	160	3	212	15
N91D	60.90	21.86	2.49	0.07	0.68	0.71	5.99	5.24	0.46	0.14	1.21	0.12		513	39	5	8	24	90	14	302	40
N92D	60.18	21.70	2.60	0.09	0.71	0.88	6.62	5.01	0.49	0.16	1.33	0.12		543	43	5	8	20	93	15	296	40
N94D	73.29	14.90	0.90	0.07	0.24	0.33	4.34	4.15	0.05	0.10	0.76	0.20	43	527	41	4	36	35	87	14	39	65
N95D	73.60	14.91	1.29	0.10	0.16	0.47	4.27	4.13	0.06	0.13	0.93	0.32	33	649	12	4	47	31	96	16	26	70
L01A	66.91	18.55	0.64	0.24	0.32	0.13	2.02	9.96	0.01	0.08	0.89	0.42		2000	855	1	21	25	156	15	100	80
L02A	59.40	22.51	1.17	0.11	0.55	0.06	1.24	11.39	0.04	0.04	1.50	2.57		1841	2000	1	52	45	87	10	150	50
L03D	74.75	14.45	0.61	0.06	0.40	0.57	4.57	3.73	0.05	0.12	0.95	0.28		599	355	1	5	15	91	9	100	80
L05C	72.73	15.13	0.56	0.14	0.33	0.37	4.20	4.23	0.02	0.11	0.97	0.02		1180	680	1	5	10	110	7	2500	65
L06D	90.81	2.20	4.38	0.67	0.52	0.06	0	0.19	0.01	0.02	1.16	0.01		40	147	4	17	5	87	9	550	20
L6AD	73.58	14.65	1.06	0.08	0.37	0.58	4.23	4.72	0.09	0.07	0.96	0.34		784	364	1	3	23	50	9	300	60
L07D	69.59	18.06	0.78	0.21	0.36	0.42	6.36	2.77	0.02	0.12	1.10	1.57		1096	1270	2	79	13	184	18	200	60
L09B	71.59	15.85	0.89	0.01	0.27	1.13	4.08	4.98	0.25	0.08	0.67	0.02		125	34	1	4	5	31	2	100	4
L10C	75.07	14.37	0.99	0.09	0.09	0.52	3.78	3.64	0.04	0.09	0.95	0.32		573	105	3	375	10	57	58	200	100
L13C	77.45	12.56	0.89	0.22	0.30	2.32	2	3.78	0	0.09	2.04	0.90		909	243	1	4	1	119	2	200	6
L14E	74.50	14.50	0.85	0.14	0.12	1.17	4.26	3.84	0.05	0.11	0.49	0.78		1035	816	1	2	10	72	12	200	100
N64*	73.77	15.20	1.46	0.16	0.14	0.17	3.90	4.33	0.08	0.11	0.81	0.95		866	507	6	62	24	131	77	28	5
N72D	73.83	15.03	0.73	0.83	0.19	0.41	4.65	4.20	0.05	0.08	0.87	0.42		612	250	4	4	28	73	14	28	20

INTRUSION NAHDA

TABLEAU DES DONNEES

N° échantillon	BA	NI	CO	V	CR	N° échantillon	BA	NI	CO	V	CR	N° échantillon	BA	NI	CO	V	CR
N01A		11	3	85	7	N33E		4	0	15	1	N63D	174	6	1	15	2
N02A		13	0	23	2	N34C	115	2	0	15	2	N64D		6	1	15	0
N03A		6	1	0	2	N35C	105	7	0	15	3	N65D	157	6	4	15	1
N04B		6	1	15	2	N36E		13	1	15	2	N66D	179	6	2	15	2
N05C	67	6	3	15	2	N37C	143	7	1	15	0	N67D	100	6	2	15	0
N06C		2	0	15	3	N38E		6	1	15	2	N68D	197	6	2	15	0
N07E		6	0	15	3	N39E		4	1	15	0	N69D		4	1	15	0
N7AE		15	2	15	1	N40E		9	1	15	3	N70E		6	1	15	0
N08F		12	1	69	14	N40*		4	0	15	3	N71D	166	11	1	30	1
N09F		11	1	69	10	N41C	83	4	0	15	2	N73D		7	1	0	0
N10C	161	9	0	8	3	N42C		7	1	8	1	N74C		4	2	0	1
N11F		15	6	69	7	N43C	73	4	0	15	2	N75D		9	2	0	1
N12C		15	2	8	3	N44A		2	0	15	2	N76D	124	9	1	15	2
N13C		7	2	15	3	N44*		5	6	15	2	N77D	212	9	1	15	2
N14A		11	0	15	2	N45A		7	0	15	0	N90D		7	5	30	2
N15A		6	0	15	2	N46A		4	0	15	3	N91D		7	7	62	2
N18A		9	0	15	0	N47C	54	4	0	15	4	N92D		9	5	62	3
N19B		13	0	8	1	N48J		4	4	69	13	N94D	201	11	3	0	1
N20C	97	9	0	15	0	N49C		2	0	15	1	N95D	175	9	3	0	2
N21D	154	6	0	15	2	N50C		6	0	15	4	L01A		5	3	7	1
N22D	228	17	0	15	0	N51C		7	0	15	2	L02A		5	2	21	3
N22*		9	0	23	3	N52E		7	0	15	2	L03D		3	2	0	2
N23F		9	2	15	3	N54C		9	0	15	3	L05C		3	2	7	1
N24D	187	11	0	15	3	N55F		7	0	30	2	L06D		8	5	50	4
N25C	75	6	0	15	3	N56C	113	7	1	15	2	L6AD		0	3	14	0
N26C	81	6	1	15	3	N57C		6	1	15	3	L07D		3	4	14	0
N27A		6	1	15	2	N58C		7	1	15	0	L09B		0	4	28	3
N28B		6	1	15	2	N59B		7	1	15	0	L10C		0	2	7	2
N29B		4	0	15	3	N60A		6	0	15	3	L13C		3	2	14	2
N30C	62	7	0	15	1	N60*		4	0	15	0	L14E		0	2	7	2
N31E		6	1	15	2	N61C	103	6	1	0	0	N64*		4	0	15	0
N32C		2	1	0	1	N62C		9	2	15	0	N72D	147	11	1	15	0

SOCLE DE BASE NAHDA

TABLEAU DES DONNES

N° échantillon	SIO2	ALO3	FEO3	MNO	MGO	CAO	NA2O	K2O	TIO2	P2O5	PAF	F	RB	LI	MO	CU	PB	ZN	W	ZR	SN	NI	CO	V	CR
S16G	72.83	14.94	1.17	0.03	0.29	0.82	3.71	5.39	0.14	0.04	0.57	0.05	89	11	2	4	20	38	0	103	2	13	1	15	2
S17G	64.64	16.38	5.10	0.18	1.56	3.11	5.44	2.90	0.70	0.25	0.66	0.15	109	50	4	9	18	188	0	303	5	13	8	85	5
S78H	66.93	13.88	5.63	0.12	2.35	0.97	3.31	4.43	0.72	0.08	0.96	0.26	115	136	3	4	22	155	0	154	8	117	23	115	251
S78*	63.98	15.39	8.62	0.15	3.89	0.70	1.99	3.13	0.97	0.09	1.55	0.13	99	120	3	40	52	170	2	160	4	147	34	162	406
S79G	71.12	15.37	2.25	0.04	0.48	0.45	4.55	4.87	0.44	0.12	0.90	0.06	81	38	4	5	18	66	2	300	2	9	2	30	2
S80G	74.81	14.01	0.48	0.02	0	0.39	4.67	4.51	0.02	0	0.56	0.05	67	11	0	6	22	19	0	93	2	7	4	15	2
S81G	73.22	14.85	0.91	0.03	0.12	0.92	5.16	4.44	0.11	0.05	0.36	0.03	142	16	4	2	28	79	0	84	2	7	2	15	2
S82G	72.14	15.13	0.76	0.03	0.25	0.62	4.64	4.79	0.09	0.03	0.49	0	152	13	3	2	28	34	0	51	2	5	3	15	2
S82*	61.17	15.41	6.75	0.14	4.59	6	2.39	2.58	0.66	0.17	10.40	0.04	121	95	4	51	13	115	3	140	1	46	26	162	245
S83G	75.39	14.38	0.42	0.02	0.30	0.49	4.83	3.56	0.05	0.04	0.63	0.01	124	23	0	3	22	21	0	17	2	9	3	15	2
S84G	70.94	15.56	1.27	0.03	0.14	1.99	4.64	4.10	0.22	0.13	0.61	0.02	142	20	0	4	24	86	3	123	3	7	4	30	2
S85G	72.78	13.94	1.10	0.03	0.27	0.91	4.76	4.40	0.17	0.11	0.79	0.01	143	18	3	3	37	75	1	109	4	2	4	23	2
S86G	69.56	15.36	3.20	0.04	0.90	0.34	5.01	4.05	0.44	0.14	1.02	0.12	194	183	3	66	18	210	19	202	10	4	6	46	4
S88G	71.35	14.94	1.44	0.08	0.27	1.12	3.77	6.14	0.06	0.05	0.62	0	143	17	3	10	31	25	1	59	2	9	5	15	5
S88*	70.18	16.34	1.67	0.07	0.43	2.41	4.96	2.78	0.18	0.07	0.73	0.05	70	39	2	4	20	61	2	108	4	7	5	30	5
S93G	74.56	13.85	0.86	0.05	0.10	0.61	3.76	4.16	0.08	0.09	0.88	0.30	497	19	2	179	37	68	8	39	30	7	3	8	1
S96G	67.10	15.98	3.84	0.12	1.36	2.51	4.40	3.38	0.66	0.17	0.61	0.15	140	83	4	9	24	126	0	253	8	13	11	69	8
S97G	76.36	12.96	1.18	0.03	0.22	0.74	3.01	4.98	0.15	0.04	0.43	0.04	111	16	2	2	24	33	1	84	2	11	3	15	0
S53J	52.53	15.53	8.43	0.17	7.09	7.05	3.44	1.07	1.28	0.25	3.91	0.10	50	45	6	0	7	132	1	207	2	102	31	192	414
S2AH	60.94	15.16	6.52	0.11	4.25	5.19	1.23	4.25	0.65	0.19	0.87	0.72	438	426	1	6	8	123	4	300	20	30	22	157	206
S04G	84.79	6.88	2.77	0.11	0.42	2.71	0.80	0.65	0.25	0.11	0.97	0.02	72	37	1	1295	28	148	3	600	300	3	5	35	10
S08G	74.62	13.83	1.11	0.02	0.21	0.93	3.65	4.90	0.15	0.05	0.50	0.01	70	23	2	5	10	33	0	300	5	3	4	14	1
S11G	72.11	14.76	1.88	0.08	0.53	1.24	4.89	3.93	0.31	0.13	0.92	0.03	84	70	1	6	15	81	2	100	5	0	4	28	5
S12G	77.45	12.56	0.89	0.22	0.30	2.32	0	3.78	0	0.09	2.04	0.90	56	24	1	7	5	46	3	100	5	8	4	14	2
S09G	75.68	14.01	0.77	0.04	0.39	0.23	5.92	1.01	0.19	0.11	1.07	0.02	40	35	4	4	5	28	6	120	30	15	2	23	8
S34I	62.99	16.50	5.07	0.12	2.02	4.03	4.19	2.29	0.60	0.17	0.84	0.44	116	131	3	220	15	616	4	140	65	28	15	92	18
S35I	57.50	18.01	8.08	0.16	3.72	5.12	3.77	2.45	1.05	0.27	0.65	0.15	109	75	2	32	15	179	5	143	6	33	22	146	32
S36I	65.46	14.78	5.99	0.14	2.76	3.68	3.65	1.86	0.76	0.23	0.49	0.01	56	28	2	8	13	135	4	155	6	68	17	100	123
S37H	70.81	15.61	2.45	0.08	0.40	1.21	3.36	4.59	0.09	0.07	0.82	0.01	82	14	2	67	26	65	2	109	5	12	4	15	5
S06I	55.47	13.52	12.42	0.15	4.04	6.12	3.08	1.75	2.73	0.34	1.21	0.10	55	28	6	28	4	180	2	400	4	24	40	286	7

INTRUSION EL BEMA

TABLEAU DES DONNEES

N° échantillon	S102	AL03	FE03	MN0	MG0	CA0	NA20	K20	T102	P205	PAF	F	RB	LI	MO	CU	PB	ZN	W	ZR	SN	NI	CO	V	CR
EB1D	76.68	14.21	1.53	0.05	0.38	0.88	3.82	4.61	0.17	0.07	0.63	0.06	336	117	1	5	23	46	1	136	45	12	0	15	5
EB1AD	72.43	13.44	0.91	0.04	0.25	1.94	4.50	3.69	0.09	0.07	1.54	0.03	320	53	0	16	36	35	3	36	15	8	1	15	3
EB2D	73.28	14.12	1.59	0.05	0.31	1.15	3.88	4.53	0.18	0.07	0.71	0.14	325	105	4	5	30	49	2	140	25	6	0	30	5
EB2AD	68.78	13.71	12.48	0.29	2.47	0.92	1.93	6.04	1.62	0.32	0.58	0.51	583	864	4	5	23	382	6	719	50	10	14	132	17
EB3D	73.43	13.87	1.48	0.04	0.40	0.10	3.72	4.49	0.18	0.06	0.75	0.12	302	92	0	6	25	47	6	133	15	6	1	23	4
EB4B	74.34	14.16	1.49	0.04	0.29	0.81	4.25	4.49	0.15	0.07	0.65	0.04	305	68	0	5	55	49	3	115	25	2	0	23	3
EB5B	74.40	12.10	0.61	0.09	0.22	0.34	4.34	3.79	0.03	0.03	0.84	0.06	806	86	4	5	70	53	15	54	80	12	0	15	1
EB6A	74.12	15.15	0.67	0.07	0.16	0.20	5.56	2.24	0.03	0.05	1.02	0.08	588	226	0	5	25	35	16	40	80	12	0	15	2
EB8D	71.95	16.03	0.48	0.11	0.01	0.24	6.48	3.22	0.01	0.03	1.34	0.18	413	179	0	7	30	45	8	130	20	12	2	23	3
EB8AD	71.09	13.81	0.49	0.09	0.10	0.21	4.57	3.93	0.01	0.03	0.56	0.	795	55	8	7	52	33	13	42	40	10	1	15	2
EB9A	72.23	16.21	1.50	0.02	0.57	0.76	3.73	4.81	0.17	0.06	0.32	0.05	962	129	0	4	36	31	22	41	200	4	0	15	2
EB10C	72.91	14.37	1.62	0.05	0.47	0.90	3.88	4.32	0.18	0.07	0.60	0.05	281	119	0	6	27	53	3	152	25	4	1	23	3
EB11C	74.89	14.80	0.41	0.04	0.	0.35	5.	2.	0.02	0.04	0.65	0.04	162	134	0	4	25	19	6.	27	45	4	0	15	0
EB12C	72.07	14.84	1.60	0.05	0.56	0.55	4.30	4.57	0.16	0.09	0.92	0.03	377	196	0	8	34	47	5	120	25	10	0	23	2
EB13C	73.07	14.47	1.56	0.05	0.49	1.	4.16	4.04	0.16	0.07	0.65	0.09	360	186	0	8	50	50	5	127	30	2	2	23	3
EB14C	71.87	14.44	1.81	0.05	0.43	0.99	3.44	5.04	0.22	0.06	0.81	0.13	279	166	0	8	27	51	1	187	15	10	0	23	5
EB15C	74.06	13.88	1.06	0.06	0.18	0.66	4.18	4.47	0.10	0.05	0.42	0.03	348	102	0	5	36	42	6	79	30	8	1	15	2
EB16C	71.50	14.13	1.85	0.05	0.52	1.17	4.09	5.05	0.23	0.06	0.66	0.26	357	161	0	9	23	52	2	168	40	13	2	23	5
EB17C	75.41	14.10	0.	0.03	0.28	0.50	4.12	4.45	0.	0.04	0.45	0.02	348	63	0	25	32	30	6	62	20	2	1	15	0
EB19C	53.60	25.29	3.81	0.31	0.53	1.26	2.72	8.75	0.30	0.08	2.22	1.05	2048	1508	5	3	20	204	22	111	350	2	2	23	2
EB18C	73.82	14.32	1.41	0.06	0.39	0.91	4.	4.72	0.13	0.06	0.57	0.12	330	90	0	9	32	48	2	120	20	12	2	54	3
EB20*	72.03	16.81	0.43	0.30	0.26	0.17	6.72	1.46	0.02	0.04	0.89	0.05	435	22	0	16	14	52	8	66	1000	10	1	8	2

SOCLE DE BASE EL BEMA

TABLEAU DES DONNEES

N° échantillon	SIO2	AL03	FE03	MNO	MGO	CAO	NA20	K20	TIO2	P205	PAF	F	SR	RB	LI	MO	CU	PB	ZN	W	ZR	SN	NI	CO	V	CR
S7I	61.91	15.5	6.26	0.14	3.	3.94	4.85	1.40	0.89	0.26	1.87	0.05	381	62	84	0	40	16	119	2	198	10	50	17	142	71
S20H	68.94	13.96	5.14	0.06	1.97	2.02	3.45	2.09	0.70	0.17	1.01	0.05	82	92	34	0	32	14	85	3	244	50	27	9	108	64
S21G	73.51	15.25	0.84	0.06	0.30	0.52	3.86	4.60	0.07	0.10	0.87	0.02	0	198	21	5	5	20	30	1	27	25	10	1	15	2
S21*	65.88	14.99	6.01	0.06	2.52	0.77	3.12	4.38	0.80	0.18	0.95	0.02	0	145	60	5	14	27	108	2	192	10	40	14	115	44
S22G	72.21	15.03	1.84	0.04	0.67	1.43	3.47	4.35	0.28	0.09	0.59	0	0	198	38	5	3	20	48	0	171	15	10	4	23	6
S23H	66.47	15.53	4.93	0.09	0	2.29	3.39	3.54	0.64	0.34	0.78	0	152	107	34	0	22	20	102	1	199	8	35	14	100	54
S24H	65.57	15.47	5.98	0.09	1.46	2.23	3.54	3.80	0.90	0.44	1.11	0.04	69	134	39	4	15	20	125	4	386	10	13	9	85	20
S25H	58.76	18.26	6.20	0.12	3.03	5	5.93	1.44	0.93	0.30	0.58	0.02	792	31	40	0	7	11	117	0	168	15	19	18	162	26
S26H	64.34	16.32	6.50	0.09	1.83	1.81	3.07	3.08	0.89	0.20	1.01	0.04	175	77	26	4	35	11	111	1	171	4	44	14	146	43
S27H	66.02	15.66	5.33	0.08	1.75	2.16	3.72	3.01	0.70	0.21	0.93	0.02	98	105	30	4	24	20	117	2	250	4	33	14	100	43

TAMAZAROR

TABLEAU DES DONNEES

N° des échantillons	SIO2	AL03	FE03	MNO	MGO	CAO	NA20	K20	TI02	P205	PAF	F	RB	LI	MO	CU	PB	ZN	W	ZR	SN	NI	CO	V	CR
T01F	82.13	11.89	0.58	0.30	0.22	0.08	0.00	3.38	0.00	0.04	1.72	5	525	6	6	6	45	174	1	150	300	3	4	14	8
T03A	65.70	15.67	4.82	0.10	1.54	3.54	3.69	2.42	0.56	0.17	1.01	58	174	148	6	134	5	117	1	500	20	15	14	100	27
T05B	77.87	15.04	0.75	0.05	0.11	0.03	0.13	0.11	0.09	0.14	4.76	106	125	165	2	17	113	40	1	250	40	6	2	7	4
T06B	78.56	13.80	0.43	0.28	0.14	0.00	0.55	4.57	0.09	0.07	1.72	5	806	7	4	4	3	95	1	200	60	0	2	14	4
T06*	58.59	25.67	2.59	0.71	0.04	0.00	0.76	7.97	0.13	0.01	3.55	65	2204	20	4	4	5	397	10	150	100	3	5	14	4
T07B	70.16	17.60	4.00	0.03	0.03	0.13	0.16	0.06	0.72	0.20	6.52	5	9	14	4	36	53	32	25	2000	60	6	5	86	11
T08B	68.00	17.91	5.72	0.02	0.23	0.12	0.10	0.15	0.68	0.27	7.04	10	23	27	10	189	1	41	40	4000	60	12	4	93	51
T10B	76.61	16.70	0.38	0.08	0.00	0.00	0.00	1.18	0.08	0.06	4.73	32	391	38	4	5	8	83	1	300	100	9	2	0	3
T12B	76.19	16.34	0.45	0.12	0.06	0.04	0.00	1.91	0.08	0.16	4.34	15	524	35	2	8	8	128	1	50	60	3	3	7	2
T13F	70.21	20.85	1.90	0.24	0.00	0.00	0.03	2.98	0.10	0.03	1.57	462	1392	272	2	3	1	94	10	100	100	6	4	7	5
T14B	73.58	16.29	0.11	0.21	0.05	0.06	3.99	4.15	0.08	0.04	2.15	3	897	12	4	5	10	44	1	100	100	3	4	7	4
T20A	73.56	15.28	0.94	0.10	0.12	0.56	2.99	5.73	0.00	0.12	1.20	40	1041	42	3	23	13	111	8	17	30	10	4	15	1
T21B	69.52	18.60	0.21	0.03	0.40	0.17	7.00	3.05	0.04	0.14	1.03	42	877	10	4	77	22	29	3	49	30	25	3	15	0
T22B	71.75	16.33	0.26	0.11	0.24	0.28	5.24	3.54	0.03	0.12	1.48	15	782	6	3	1489	5	190	0	31	100	10	2	15	1
T23B	72.57	15.72	0.20	0.05	0.20	0.19	5.13	4.50	0.03	0.18	0.82	1	1386	3	0	59	5	35	4	32	80	16	3	15	1
T24B	75.40	16.38	0.26	0.09	0.14	0.06	3.77	2.82	0.02	0.08	1.00	115	1319	509	0	94	28	230	2	37	70	22	2	15	2
T25F	78.47	13.64	0.63	0.32	0.09	0.00	0.25	3.83	0.01	0.06	1.98	5	671	7	0	9	9	173	2	26	55	10	1	23	1
T26B	76.40	15.47	0.66	0.06	0.33	0.00	0.02	0.27	0.02	0.10	5.30	4	116	29	0	16	13	38	2	42	150	25	2	15	0
T27B	75.22	16.82	0.85	0.06	0.00	0.00	0.21	0.11	0.02	0.14	5.02	70	119	162	0	16	13	28	3	28	100	20	4	8	1
T28B	68.13	17.52	6.39	0.06	0.41	0.13	0.35	1.69	1.04	0.15	3.93	9.00	72	13	2	174	11	252	33	215	25	76	13	146	338
T30B	74.89	16.98	0.84	0.09	0.22	0.12	0.00	0.80	0.01	0.11	4.78	49.00	297	72	0	16	11	96	4	36	100	14	3	15	1
T31B	75.73	16.46	1.02	0.16	0.09	0.00	0.04	1.78	0.01	0.09	4.26	1.00	425	22	0	7	11	126	9	43	100	20	4	15	1
T32B	67.37	13.50	5.79	0.20	2.75	2.41	2.79	3.12	0.83	0.15	0.65	1.00	121	38	2	5	13	148	2	198	6	57	18	100	56
T33B	74.19	16.25	0.90	0.14	0.16	0.00	0.03	1.70	0.01	0.10	4.55	1.00	342	21	2	16	7	90	11	31	40	28	8	15	3