

Etude géochimique du processus de concentration du tungstène et de l'étain dans les granites «Taourirts» du Hoggar Central-(Algérie)

Lakhdar BENMOUSSA *

* Entreprise Nationale de Recherche Minière, BP 102 - Boumerdès (Algérie)

Résumé : Les minéralisations de tungstène et d'étain sont en général associées à des granites intrusifs type «TAOURIRTS» que l'on rencontre au Hoggar central Algérie.

L'étude pétrologique et les diagrammes chimico-minéralogiques montrent un degré élevé de l'évolution des deux intrusions NAHDA et TAMAZAROR en comparaison de celle d'EL-NAMA.

Le traitement statistique des données géochimiques montre une absence de corrélation entre le tungstène et les autres éléments à NAHDA. A TAMAZAROR et EL-BEMA il y a de bonnes corrélations. Ces résultats confirment la grande influence de la phase fluide qui concentre le tungstène dans les filons de quartz, phase dont nous n'avons pas tenue compte dans la présente étude. L'absence de corrélation entre le tungstène et les autres éléments doit être soulignée. C'est le cas à NAHDA qui est associé à un grand gisement. A TAMAZAROR associé à un petit gisement, une partie du tungstène est associée à certains éléments (Ti - Fe - Cr..) d'une phase basique non entièrement assimilée par les granites TAOURIRTS. A EL-BEMA associé à un gisement d'étain on remarque un processus de cristallisation fractionnée mis en évidence par une corrélation du W avec Rb - Li K contenus dans les minéraux comme les micas.

Les traits caractéristiques de la différenciation magmatique conduisant à un gisement du tungstène sont ainsi quantifiées.

Abstract : Tungsten and tin mineralizations are commonly associated with the intrusive granite «Taourirts » found in Central Ahaggar (Algérie). Petrological study and chemical-mineralogical diagramme reveal a high degree of evolution of both Nahda and Tamazaror intrusions as compared with those of El Bema. The statistical treatment of geochemical data shows lack of any relationship between tungsten and any other element in Nahda. In Tamazaror and in El Bema good correlations occur. These results point out the major influence of a fluid phase which concentrate W in the vein system not taken into account in the present study. No correlation between W and other element of granite must be expected : it is the case at Nahda connected with a large tungsten deposit.

In Tamazaror connected with a minor deposit a part of tungsten is associated with elements (Ti, Fe, Cr...) of a basic phase not entirely assimilated.

El Bema connected with tin deposit shows a fractionated crystallisation process as emphasized by a correlation of W with Rb, K, Li-bearing minerals (micas).

The features of magmatic differentiation conducting to a tungsten deposit is quantified.

INTRODUCTION

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 miné-

ralisations 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 (Société Nationale de Recherche et d'Exploitation Minière), 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-wolframifères.

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.

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. VITEL, 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-ARMI-

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

** BRMA : Bureau de Recherches Minières en Algérie.

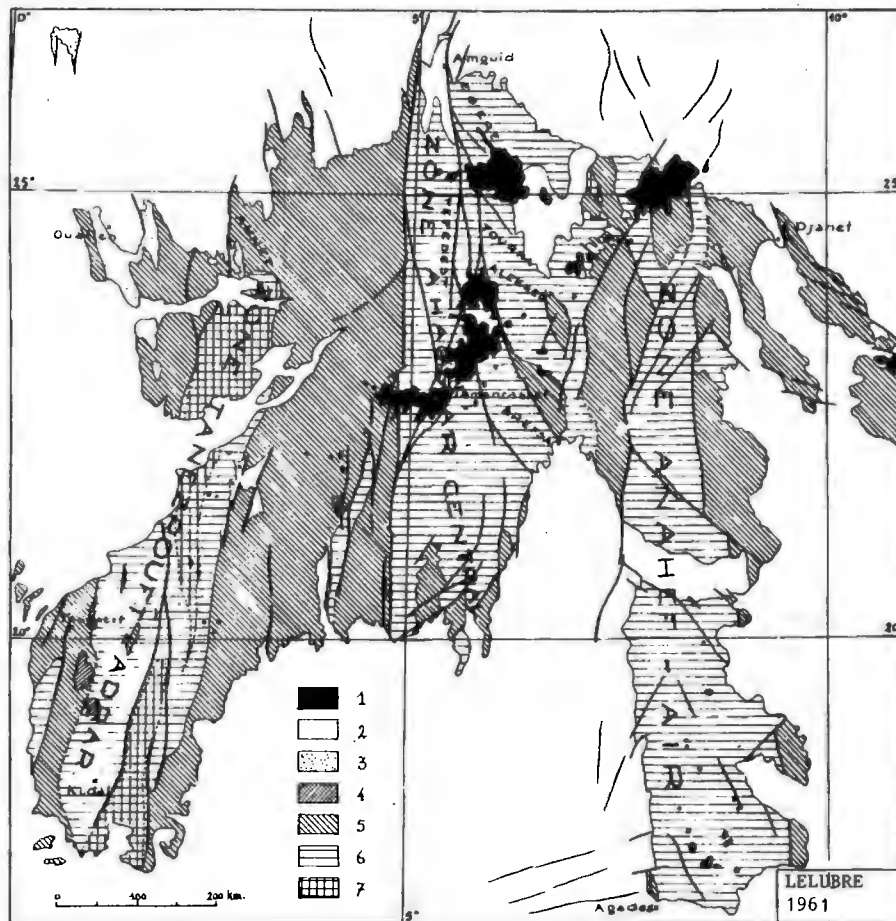


Fig. 1 - Esquisse Structurale Sahara Central. (Adrar des Iforas d'après R. Karpoff (1958); Air d'après M. Raullais (1959) et F. Joulia (1957)

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

NES (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, 1974.

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 de l'Ahaggar comprendrait deux grands ensembles de formations séparés par une coupure fondamentale, la *discordance pharusienne*. Il correspondait 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 post-pharusiennes. 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.

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 - Mégasyntclinatorium 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 crétaçés.

4 - CLASSIFICATION LITHOSTRATIGRAPHIQUE ET CHRONOLOGIE DES EVÈNEMENTS 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 Chaîne pharusienne

À l'Est du craton ouest-africain, le domaine comporte en son centre, comme une armature,

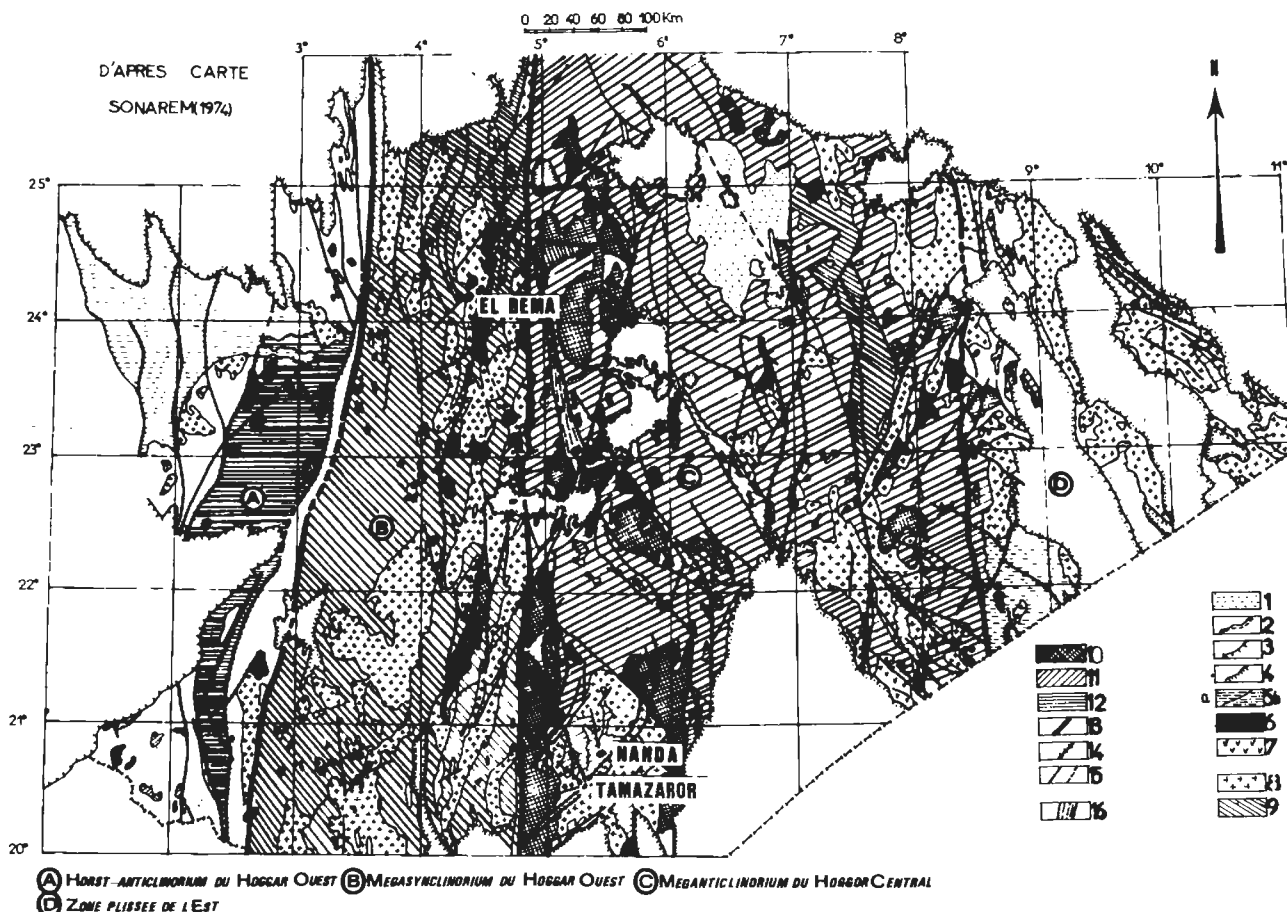


Fig. 2 - Ensembles structuraux du Hoggar.

(1 : Quaternaire; 2 : Couverture basaltique; 3 : Roches terrigènes sédimentaires; 4 : Couverture tassilienne; 5 : a. Série «Nigritien», b. Série «Tiririne»; 6 : Granite «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-Ouzzal; 13 : Failles limitant les zones structuro-faciales; 14 : Failles sur lesquelles se placent les granites «Taourirts»; 15 : Failles réelles et hypothétiques).

le môle granulitique d'In Ouzzal d'âge sans doute archéen (>2 700 Ma). A l'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, métagrauwackes (1000 - 650 Ma) et des formations d'âge éocambrien à cambrien (série pourprée de l'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 l'existence d'une coupure au sein du Pharusien s.s. Cette coupure est marquée par une pénéplation 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 histoire plus difficile à décrypter.

Il est constitué en effet, pour l'essentiel, de formations polycycliques affectées à des degrés variables par les événements 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

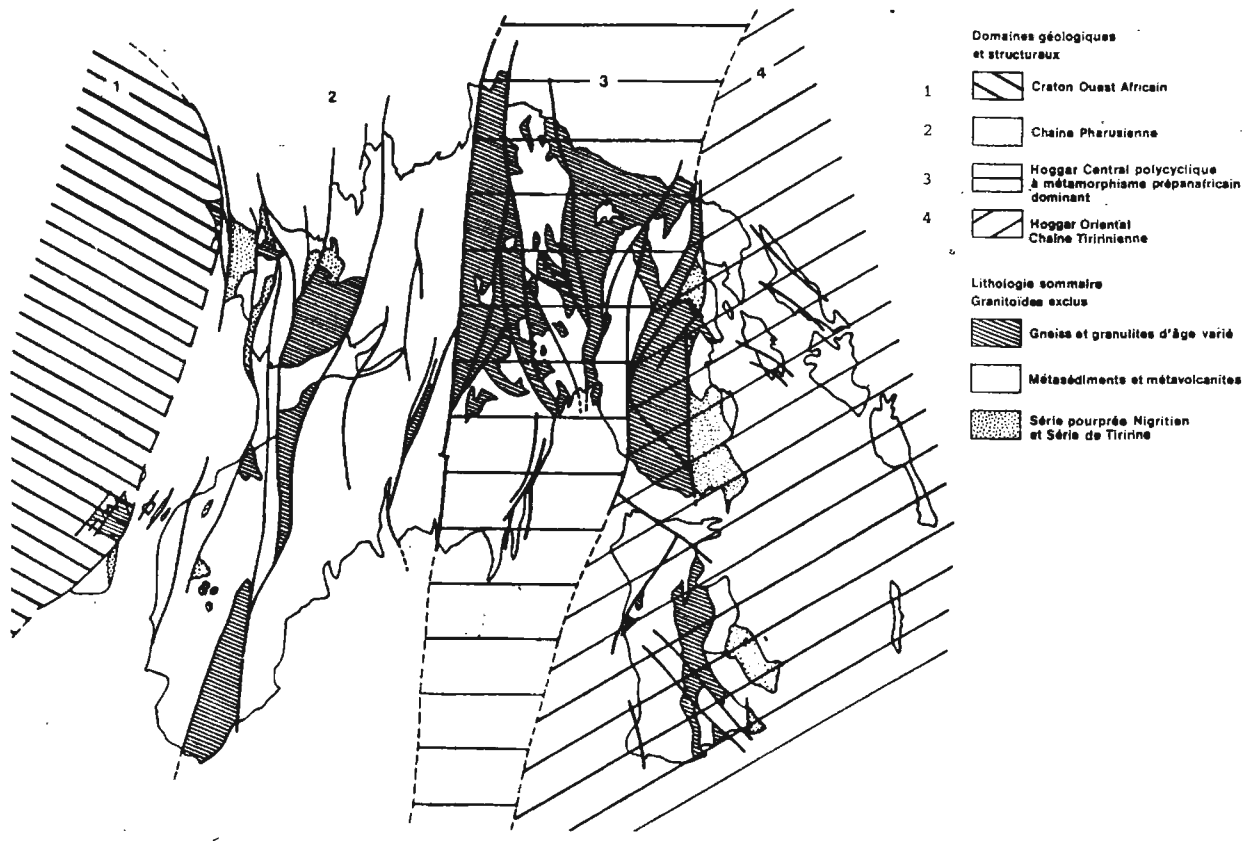


Fig. 3 - Les grandes divisions géologiques et structurales du Hoggar. (d'après SONAREM-ARMINES, 1977).

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 - Temasint) 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 linéaire encadrée à l'Ouest et à l'Est par deux socles plus anciens structuralement différents l'un de l'autre.

Trois sous-domaine peuvent être distingués :

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

- à 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 événement est daté de 580 Ma (granites syn à tarditectoniques de type Adaf).

ETUDE DES INTRUSIONS DE TYPE TAOURIRT DANS L'ENSEMBLE DU HOGGAR ET DES MINERALISATION 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 compor-

tent pas de minéralisation intéressante. Seules quelques faibles anomalies de Nb et Ta (Ta = 0,003 %) sont signalées.

2.2. Mégasyclinorium du Hoggar Ouest (fig. 4)

Les Taourirts sont tous associés aux grani-
toïdes 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 ré-
seau de failles de direction nord-ouest : TES-
NOU - EG'ELE - TAN-ATARAM; EL BEMA
- IMEHELLATENE - TEFOKRA - TIHI-
LAOUINE - 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 (TES-
NOU; 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 hypi-
diomorphes et zonés de plagioclases, 8 à 10 %
de biotite ferrifère et quelquefois de la hornblen-
de. Il faut citer parmi les minéraux accessoires :
fluorine, allanite, sphène, apatite et zircon.

2.2.2. Structure

Ils présentent souvent des zones emboî-
tées 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 recon-
nue qui contienne en même temps de la cassité-
rite 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 drai-
nant 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 irrégulière-
ment 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 Taou-
rirts dans la partie sud du HOGGAR ouest.

Ils sont tous contrôlés par des failles de
direction nord-nord-ouest. La plupart se trou-
vent 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 ren-
ferme le plus grand nombre de Taourirts miné-
ralisés. Ils se répartissent dans deux régions : TA-
MANRASSET 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 : 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 profon-
deur comme en témoignent les bordures figées.

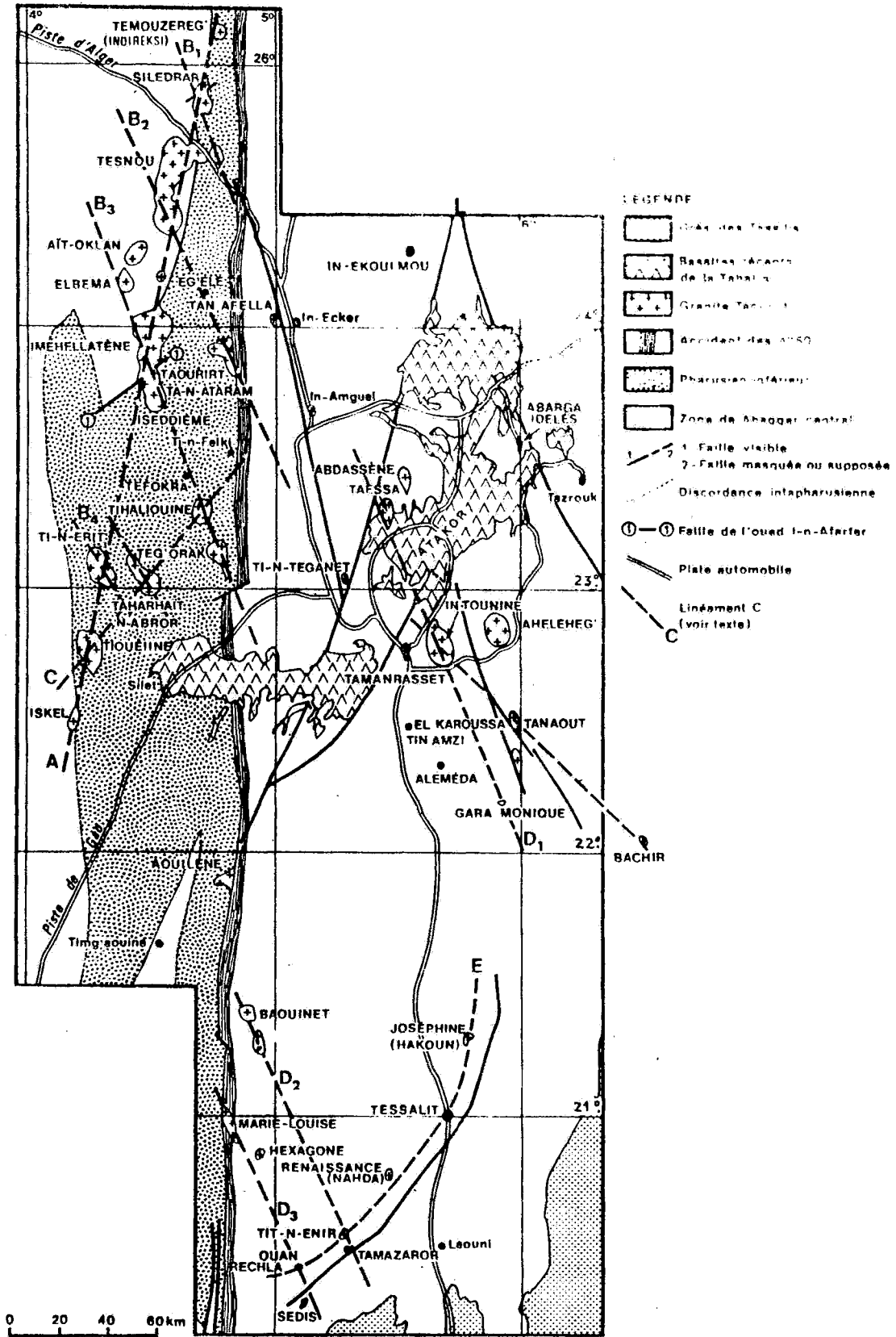


Fig. 4 - Répartition des granites tardifs de part et d'autre du grand accident
 J. Boissonnas, 1973 complétée par SONAREM-ARMINES, 1977).

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 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.

GISEMENT DE 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 chalcopryrite) 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 .

GISEMENT D'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 géo-

logique (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 chalcopryrite, de la pyrite et de la blende.

GISEMENT DE 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 greisenisées et dans des greisens quartzeux. Ce gisement contient essentiellement de la wolframite, très peu de cassitérite et des traces de chalcopryrite 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, 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 coupôles 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 cassitérite, 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 greiséisées. Ces filons contiennent surtout de la wolframite avec occasionnellement de la scheelite et de la chalcopryrite. 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 - REMAQUES SUR LES MINÉRALISATIONS DU HOGGAR

3.1. Minéralisations non liées 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 4 bis).

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 minéralisées par rapport aux intrusions granitiques

Les minéralisations des gisement 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.

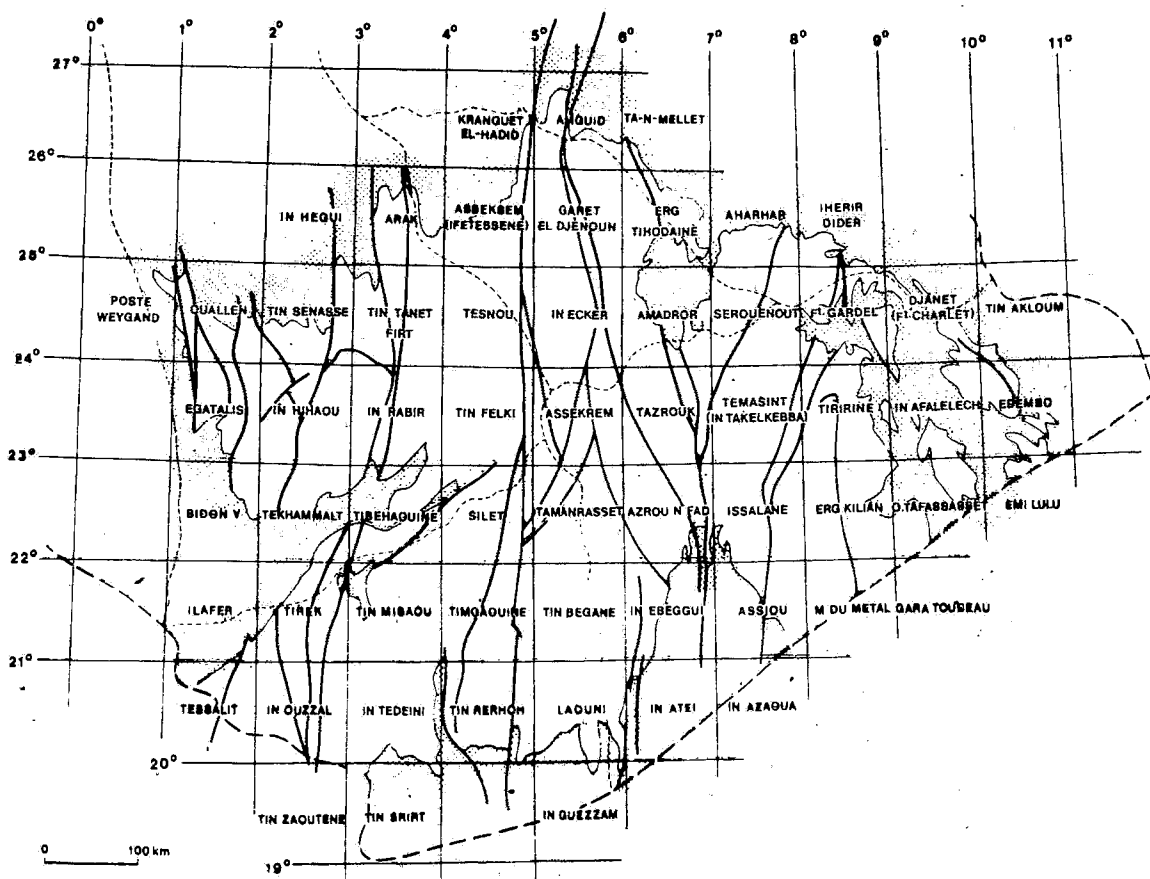


Fig. 4 bis. - Tableau d'assemblage des coupures au 1/200.000 du Hoggar.

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'atmosphère. A l'appui de cette hypothèse, on note dans la région de TAMANRASSET très fracturée que la mise en place des dykes de granite Tàourirt 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 pharu-

siens 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. Zonalité spatiale des minéralisations à l'échelle 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 KA-

ROUSSA. 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. Critère régional

Ils se localisent de préférence dans le HOGGAR Central.

4.2. Critère 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. Critère aéroradiométrique

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 clark.

4.4. Critère morphologique

Les granites Taourirts *s.s.* 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, TEGORAK, TANAFELLA) alors que 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 ci-

catrisés 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. Critères de zonalité et de mode de mise en place

Les différents massifs montrent le plus souvent des structures plus ou moins concentriques, chaque anneau *s.l.* 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 EZZOUA 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.

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, seuls des indices de wolframite ont été signalés 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 des équipes de prospection.

2 - ETUDE DE L'INTRUSION NAHDA

2.1. Présentation

Le massif de NAHDA («Renaissance») est situé sur la faille 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 de Be (REBOUL C, BOISSON-

NAS, 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 pénéplainé, 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 greiséisés et les greisens. On observe aussi une pegmatite à microcline qui renferme de très gros cristaux de wolframite.

2.2. Etude Pétrographique (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 fines des précédents cernent le massif à l'Ouest.

- Les «lambeaux» du toit au sens SONA-

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

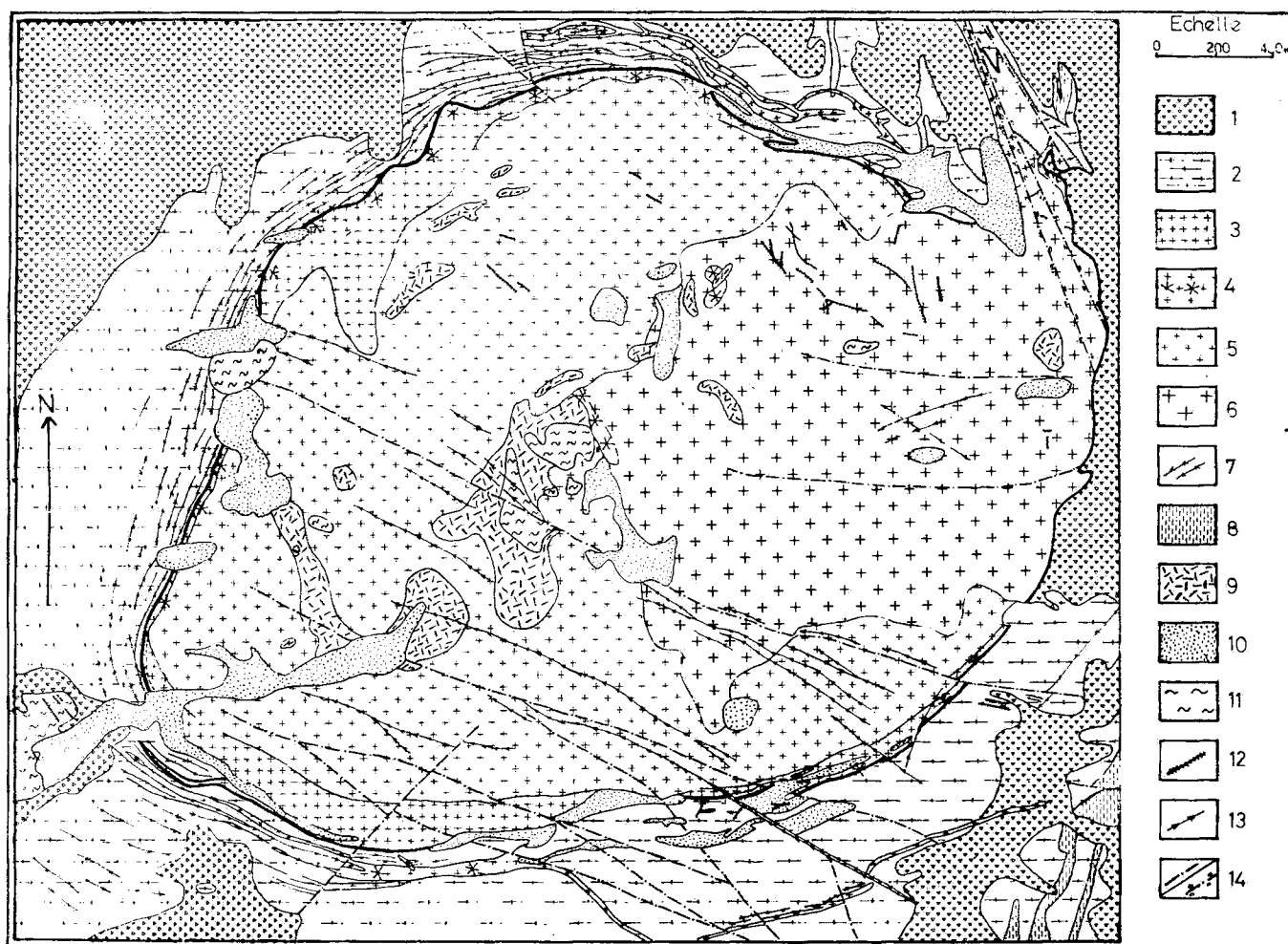


Fig. 5 INTRUSION NAHDA (d'après carte SONAREM, 1976).

(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 pegmatitoïdes à grain fin, 8 : Gneiss à grain fin, 9 : Granites «lambeaux du toit», 10 : Sables éoliens, 11 : Greisen greisénisation, 12 : Filons quartzeux wolframifères, 13 : Filons quartzeux non minéralisés, 14 : Accidents tectoniques, Failles silicifiées).

REM 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.

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 poecilites (inclusions de petits grains de quartz, d'albite et 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 post-magmatique 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.

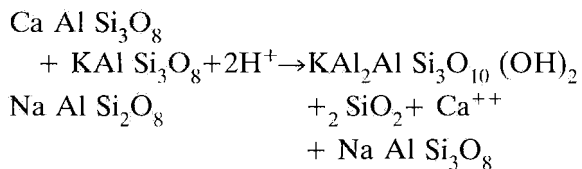
- *micas* (5 à 10 %). Le plus souvent, il s'agit de zinnwaldite et quelquefois de biotite qui, quand elle existe, est en proportion nettement plus faible que la zinnwaldite. Les analyses chimiques sur mica blanc montrent qu'il ne s'agit pas de l'épidolite mais de zinnwaldite à cause de leur forte valeur 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 réaction suivante :

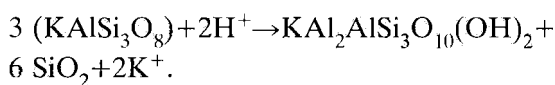


Plagioclase + orthose + eau → muscovite + albite + quartz.

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).



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

Il faut noter que certains phénocristaux de feldspath peuvent atteindre 5 cm. Ces roches sont plus intensément cataclasées et métasomatées (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 grains 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. Présentation

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 quartzomiacés); 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 forts pendages 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 pétrographique

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

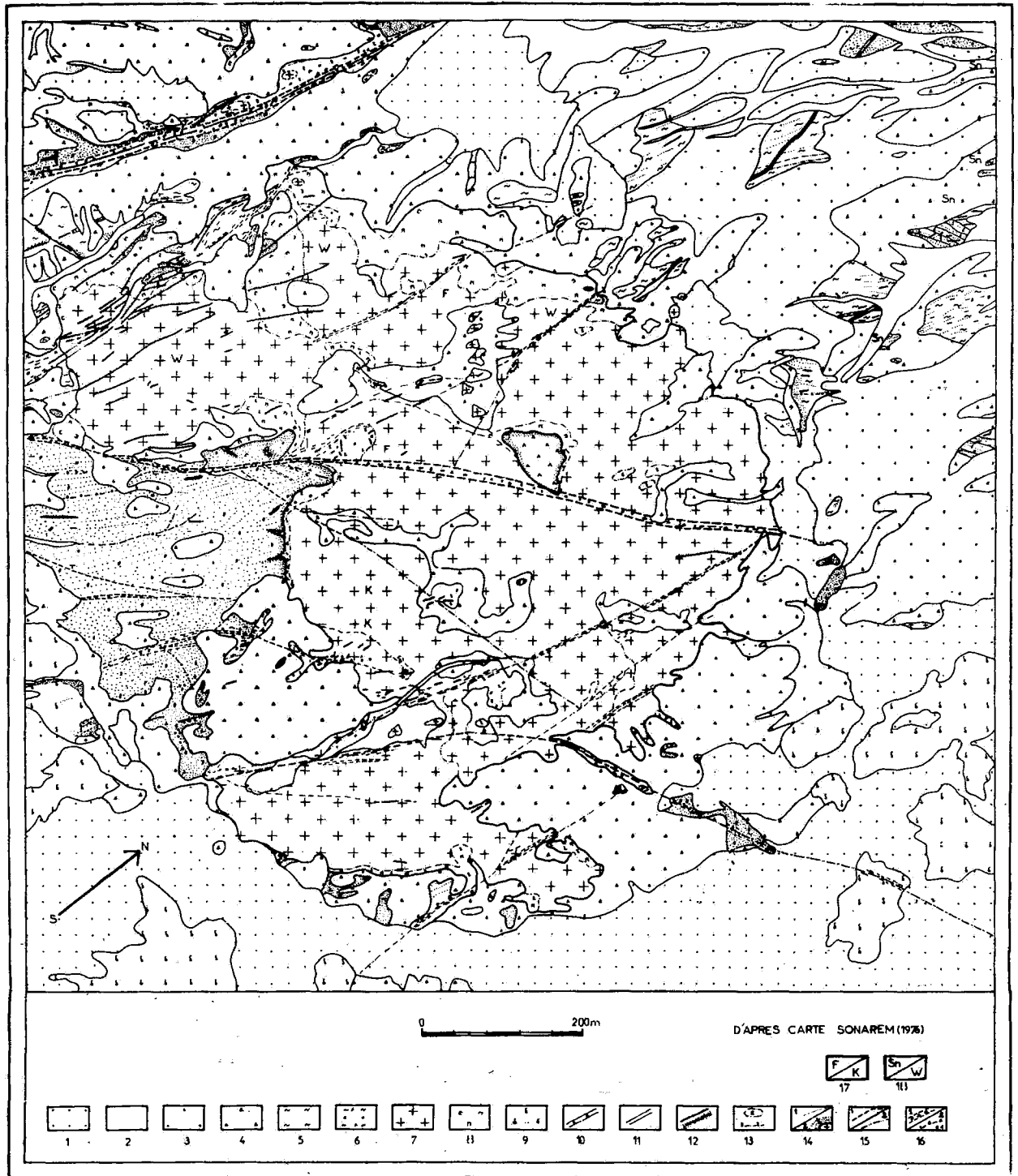


Fig. 6 - INTRUSION TAMAZAROR.

- . apogranites,
- . granites greiséisés,
- . granites kaolinisés.

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

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

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 interstitiels 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 greiséisés et les greisens

Ils sont constitués de quartz (60 % environ), muscovite (30 %), topaze (5-10 %) et 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 greiséisation. 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 greiséisation. 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. Présentation

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 pétrographique

Il y a deux formations principales :

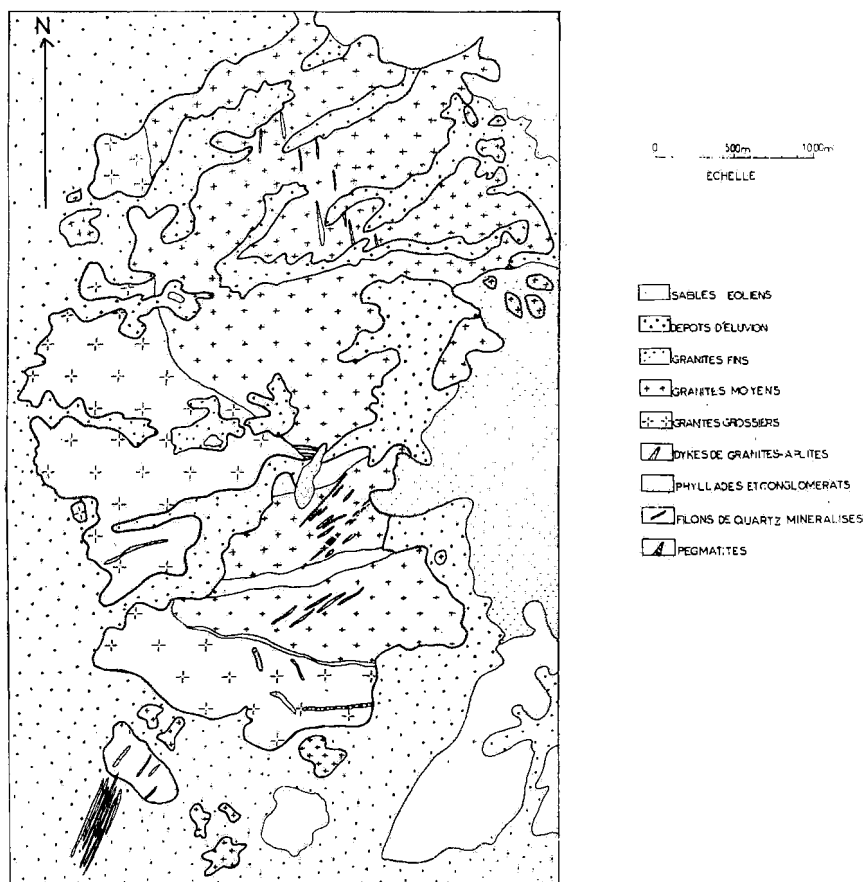


Fig. 7 INTRUSION EL BEMA (d'après Carte SONAREM, 1974).

- 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.

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 puis-

que 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 déferriée et/ou chloritisée.

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 stannio-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. Méthodes analytiques utilisées

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 éléments 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 éléments 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 alcalinoterreux 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 mesurées 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 données dans la littérature. Cette approche nous permettra de mieux visualiser l'évolution magmatique.

2.1. Diagramme $\text{SiO}_2 = f(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$ (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).

$\text{SiO}_2 = f(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ $r = -0,51$; $\text{SiO}_2 = f(\text{MgO})$ $r = -0,54$;
 $\text{SiO}_2 = f(\text{TiO}_2)$ $r = -0,65$.

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 greisénisées 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.

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 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{MgO} \dots \text{CaF}_2$) extraits des granites lors de l'évolution pneumatolytique. A partir du pôle 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

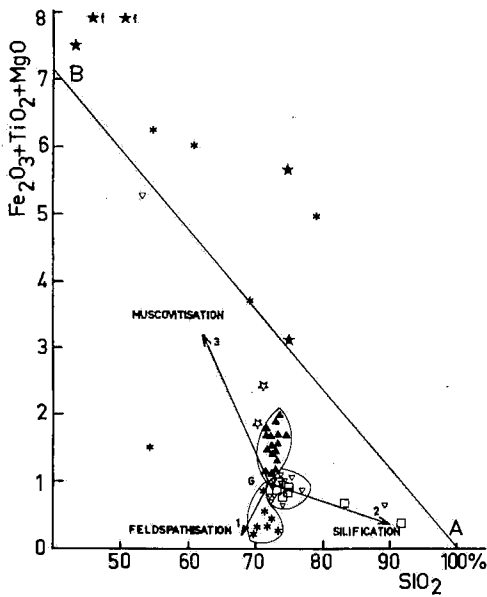


Fig. 8 NAHDA.

- * Aplopegmatites
- △ Granites à gros grain
- × Granites à grain fin
- Lambeaux du toit
- ▽ Granites à grain moyen
- ★ Gneissens

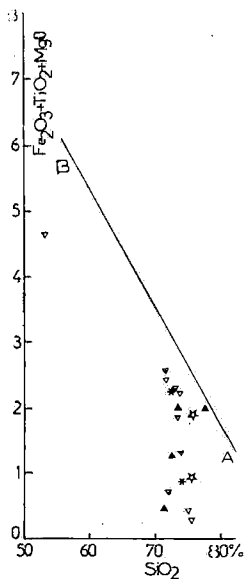


Fig. 9 EL BEMA.

- * Aplopegmatites
- × Granites à grain fin
- ★ Gneissens

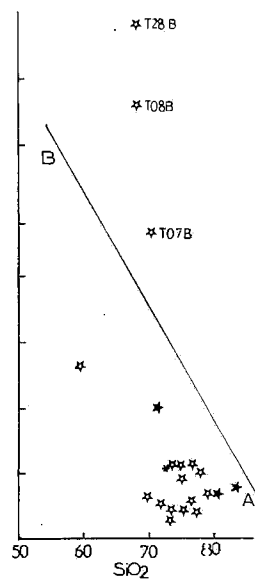


Fig. 10 TAMAZAROR.

- ▽ Granites à grain moyen
- △ Granites à gros grain

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 (TO7B, TO8B, T28 B) renfermant beaucoup de minéraux opaques (hématite) se classent, compte tenu du type de diagramme adopté, dans la zone des greisens, décalés toutefois vers de plus grandes valeurs de SiO₂.

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.

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 la 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 K₂O. La présence de phénocristaux de feldspaths dans les

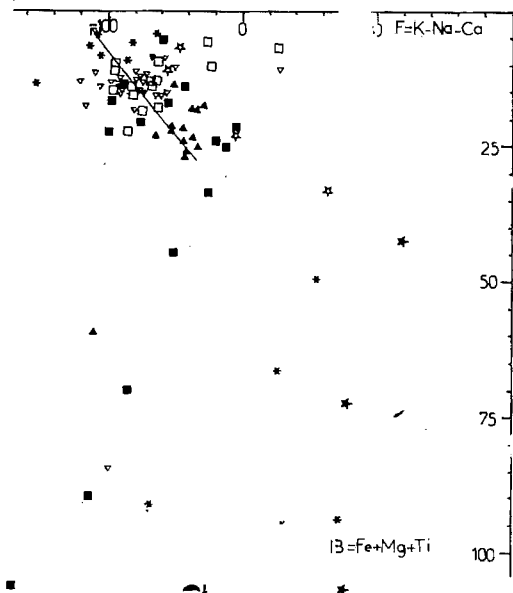


Fig. 11 NAHDA.

- * Aplomegmatites
- x Granites à grain fin
- v Granites à grain moyen
- Granitogneis
- ▲ Granites à gros grain
- Lambeaux du toit
- ☆ Greisens
- ◐ Granodiorites

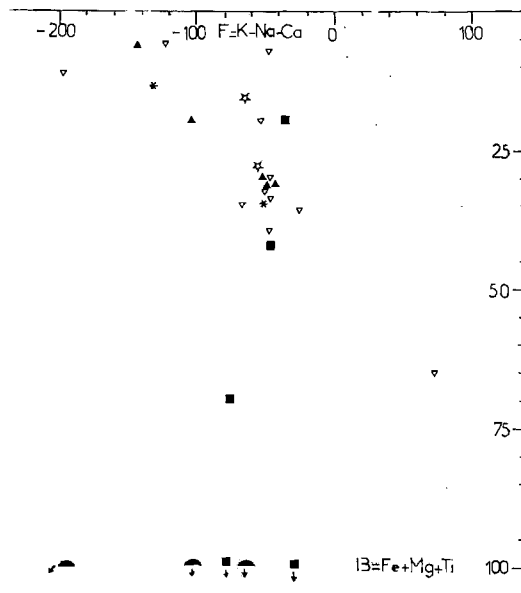


Fig. 12 EL BEMA

- * Aplomegmatites
- x Granites à grain fin
- Granitogneis
- v Granites à grain moyen
- ▲ Granites à gros grain
- ◐ Granodiorites

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 F = - 50 et B = + 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.

2.2.2. Diagramme Q = f (F)

Ce diagramme met-en jeu deux paramètres :

$$Q = \frac{Si}{3} - (K + Na + \frac{2}{3} Ca)$$

$$\text{et } F = K - (Na + Ca)$$

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 mica-cés 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).

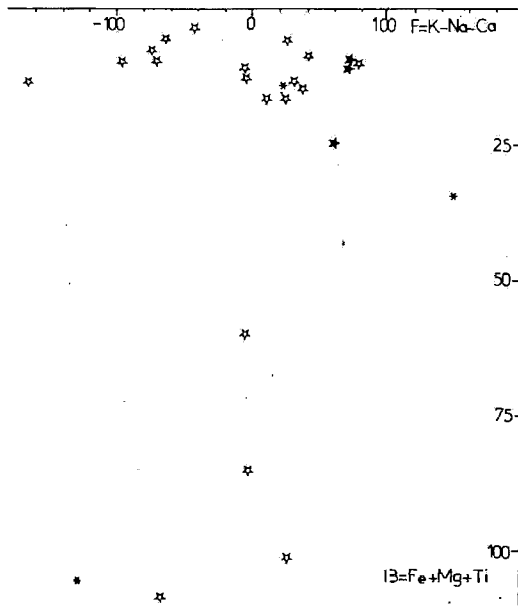


Fig. 13 TAMAZAROR.

* Aplomegmatites * Granites à grain fin * Gneissens

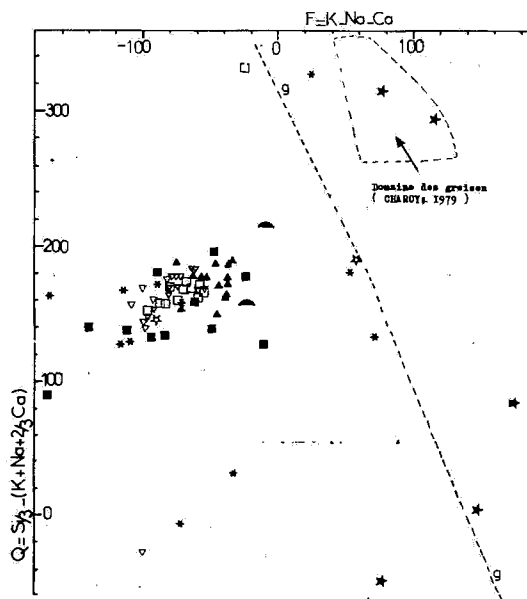


Fig. 14 NAHDA.

* Aplomegmatites ▲ Granites à gros grain
 * Granites à grain fin □ Lambeaux du toit
 ▽ Granites grain moyen * Gneissens
 ■ Granitogneiss ▴ Granodiorites

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

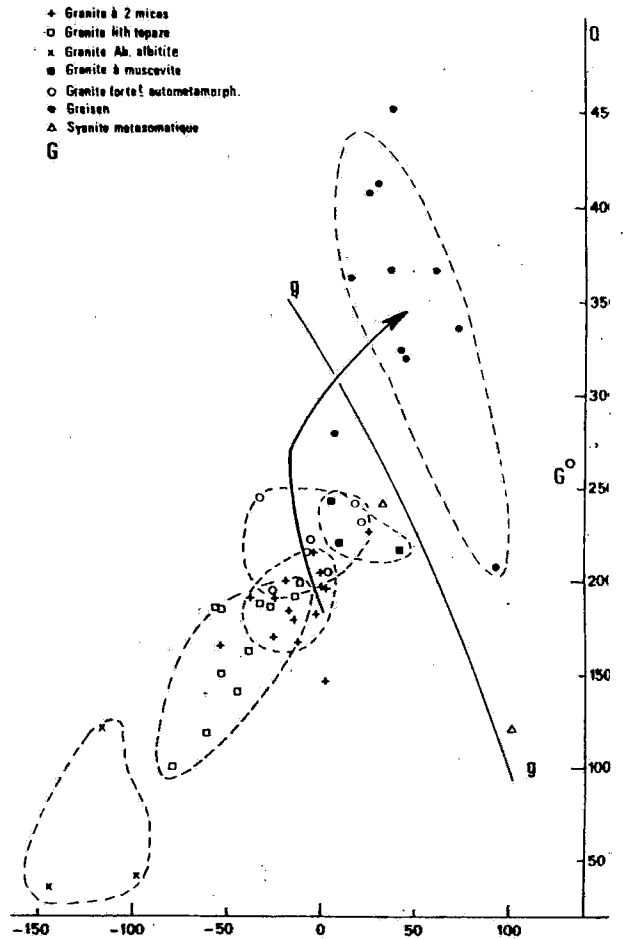


Fig. 15 Diagramme chimico-minéralogique Q - F de H. de la Roche (1963).

Distribution des différents faciès «primaires» et des altérations deutériques associées dans le massif de Slavoski (données d'après Fiala, 1968).

Il n'y aurait donc pas d'évolution continue entre albitisation et microclinisation d'une part et gneissénisation 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, gneissens. 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 critaux de feldspaths bien identifiables. Si le «granite gneissés» apparaît dans la lignée des processus de différenciation des granites, les gneissens mica-cés 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-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 quartzéux minéralisé.

A El Bema, (fig. 16), une lignée magmatique nette n'est pas plus observée sur ce diagramme qu'on sur les précédents (B - F) pour $F < O$. Pour $F > O$, nous trouvons deux échantillons EB19C et EB2AD, à gauche de la ligne gg, qui sont des granites greisés relativement riches en K_2O en raison de leur richesse en micas. Il ne nous a pas été possible d'observer les 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 $F > O$ 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 lignée 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 :

	K_2O en %	Rb ppm
Granites à gros grain	4,17	693
Granites à grain moyen et fin	3,82	1088
«Lambeaux du toit»	3,73	1013

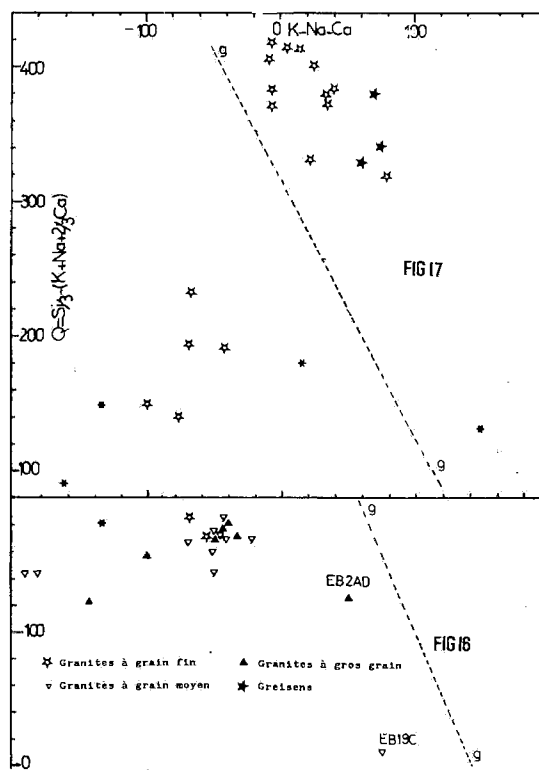


Fig. 16 EL BEMA.

Fig. 17 TAMAZAROR.

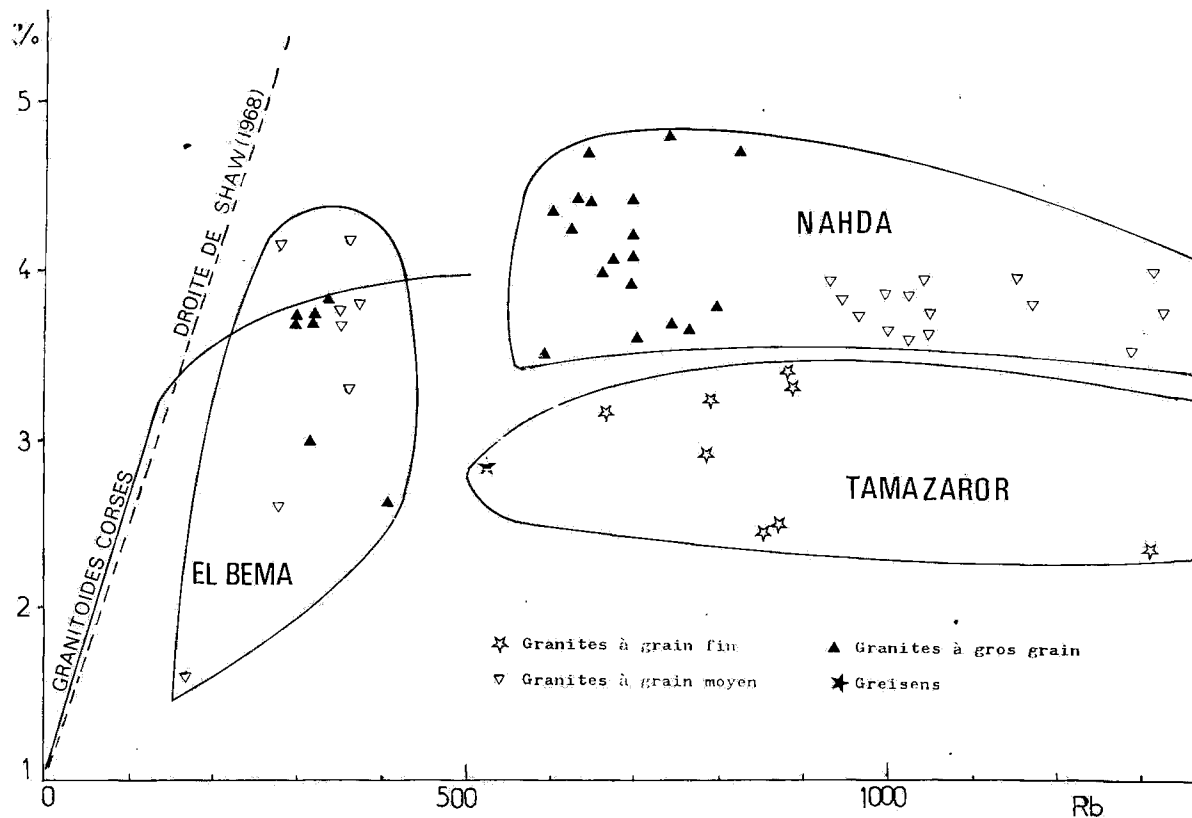


Fig. 18 - NAHDA - EL BEMA - TAMAZAROR.

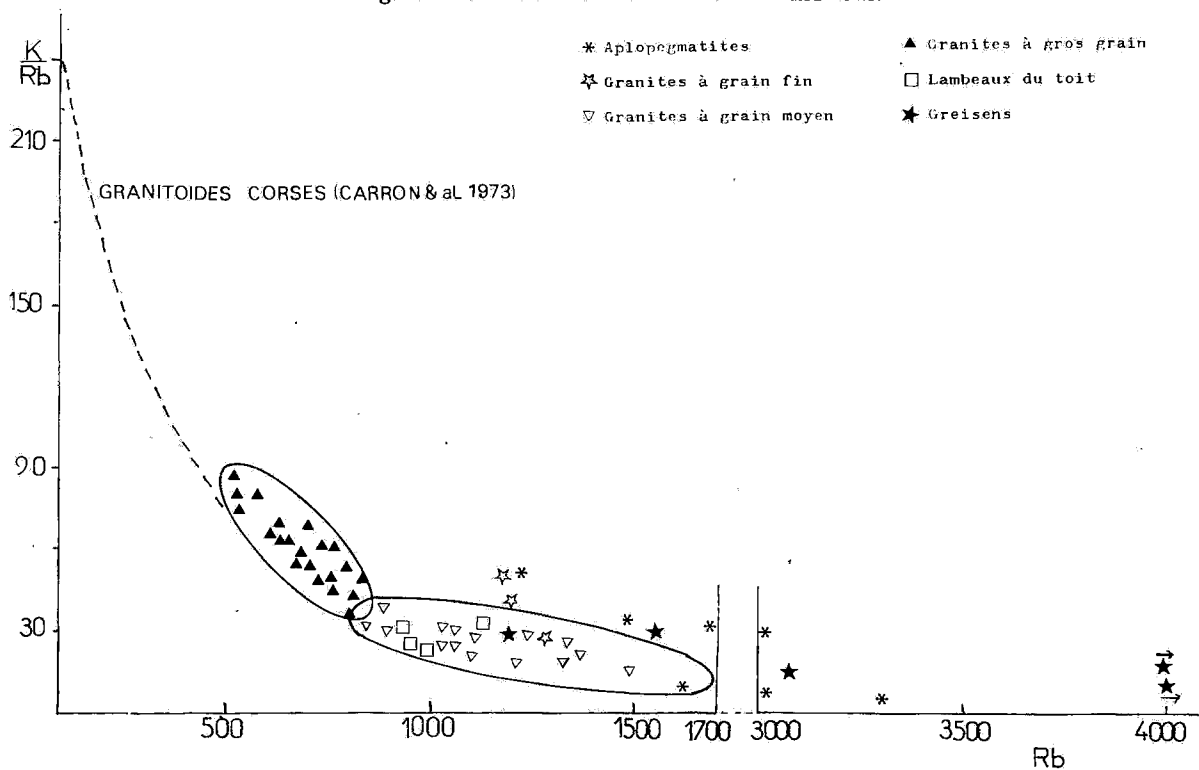


Fig. 19 - NAHDA.

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 Tamazaror, (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 greisés 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 fortes valeurs du rubidium et qui ne semble pas là encore résulter d'une évolution continue des granites. Cette observation 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 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.

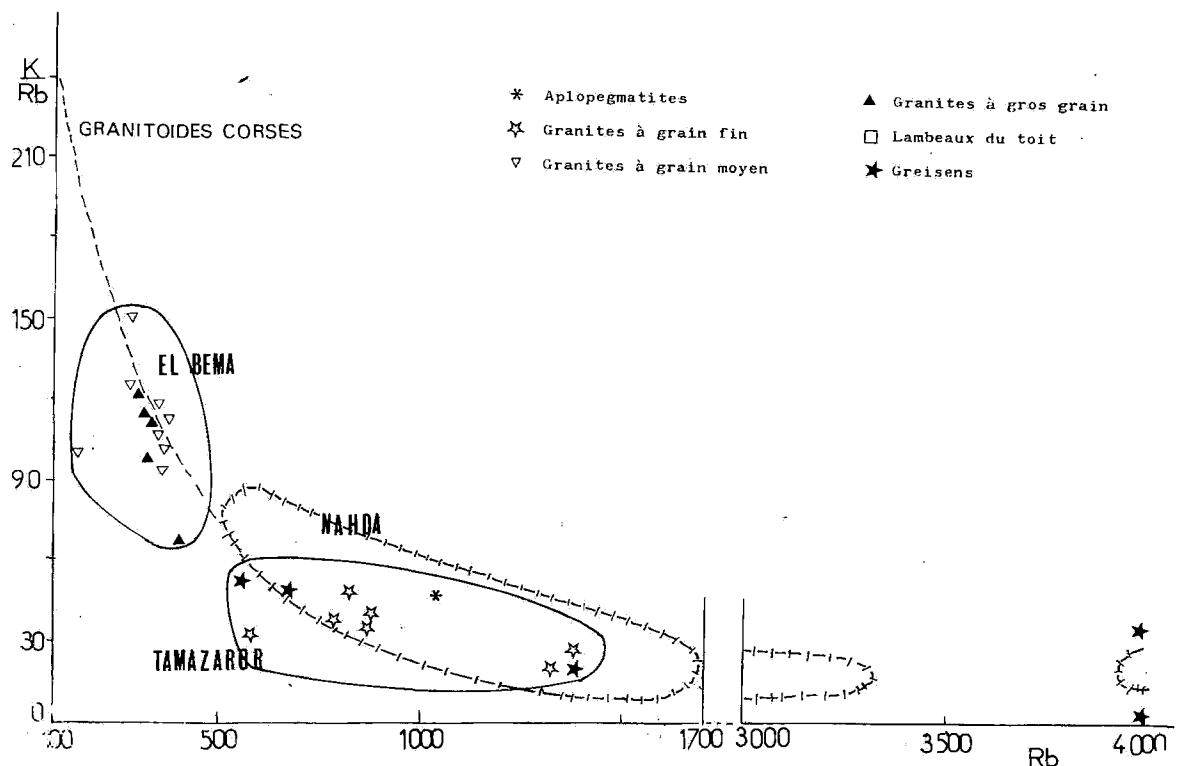


Fig. 20 NAHDA - EL BEMA - TAMAZAROR.

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 :

$$c_l = C_0 \cdot f^{(K_{S/l} + K_{v/l} \cdot G) - 1} \quad \text{est donné par :}$$

$$\bar{D}_i = (K_{S/l} + K_{v/l} \cdot G) \quad \text{où } K_{S/l} \text{ est le coefficient de}$$

partition solide/liquide, $K_{v/l}$ 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 $K_{v/l} \cdot G$ comparée à $K_{S/l}$ 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.

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 (K₂O)

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 K₂O - Rb - Sr et Ba pour ces deux types de granites :

	K ₂ O %	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 K₂O, Sr et Ba que les granites à grain moyen et fin.

Les diagrammes Ba = f (Sr) et Ba = f (K₂O) montrent une bonne corrélation entre Ba d'une part, Sr et K₂O 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.

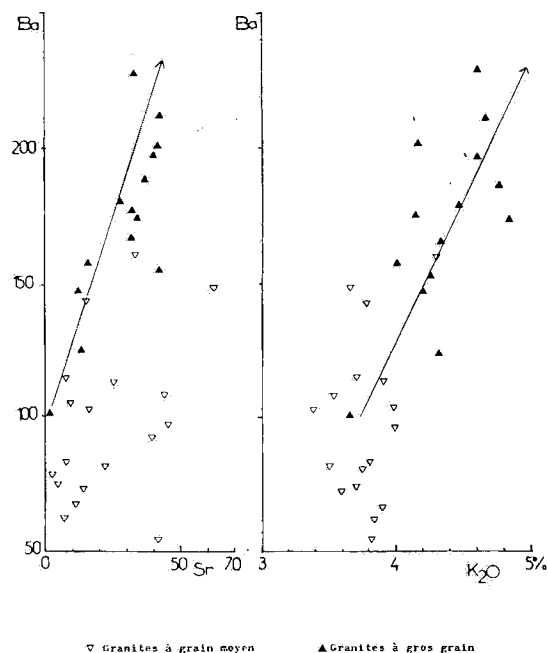


Fig. 21

NAHDA

Fig. 22

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 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.

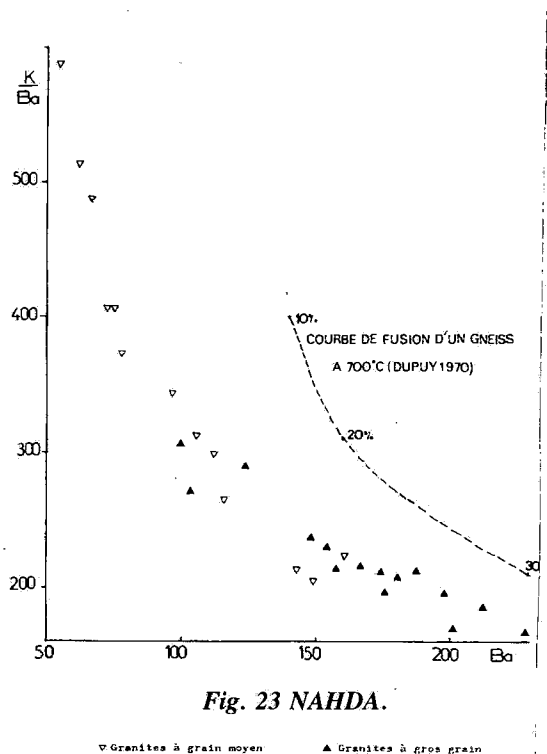


Fig. 23 NAHDA.

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.

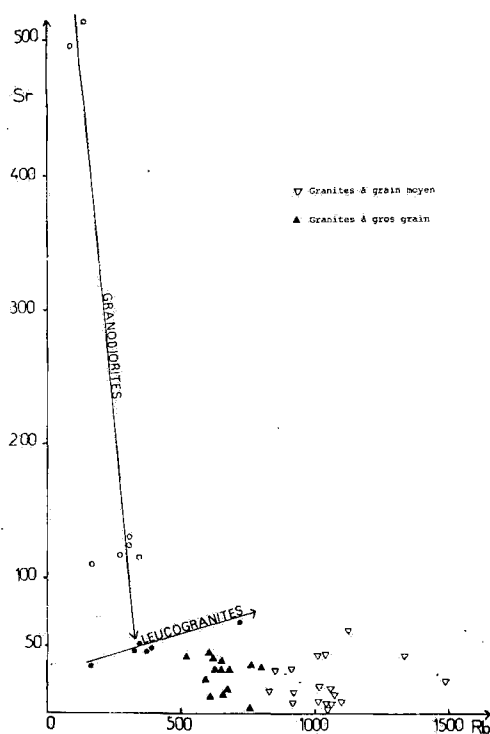


Fig. 24 Granitoïdes du Limousin (d'après J.L. Duthou, 1977) & Nahda.

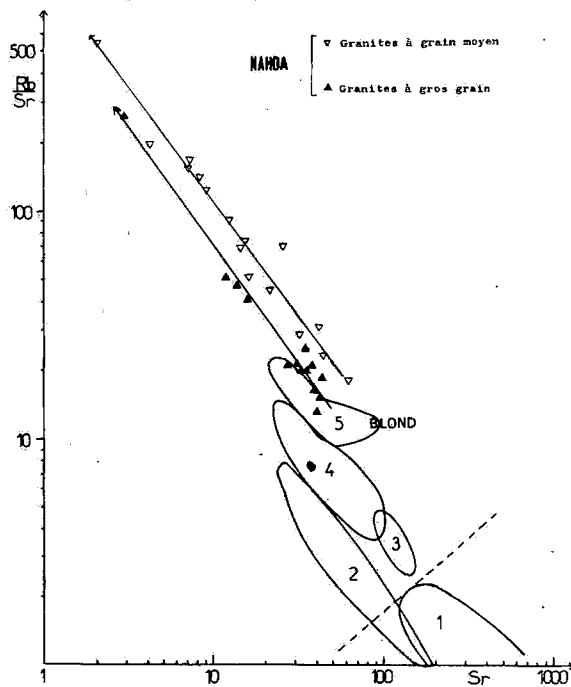


Fig. 25 Granitoïdes du Limousin (d'après J.L. Duthou, 1977) & Nahda.

1: Ensemble des granitoïdes
2,3,4,5: Ensemble des leucogranites

Seul un groupe d'échantillons du Massif Central français présente des teneurs en Rb similaires à celle 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 Rb/Sr plus élevées.

Les granites à grain fin et moyen forment en revanche un domaine pratiquement distinct du premier pour des valeurs de 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 $K/Rb = f (Rb)$.

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.

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) (JORES KOG 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. - Caractéristiques de la méthode 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 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 échantillon) 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 fig 26 & 27 .

Le plan des axes factoriel 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 $\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O}$ à tous les autres éléments,

- l'axe 2 souligne le comportement différentiel de Co, Pb et V par rapport à Zn et Rb.

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.s. 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 : apposition 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 EBO1D (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 (fig 30 & 31).

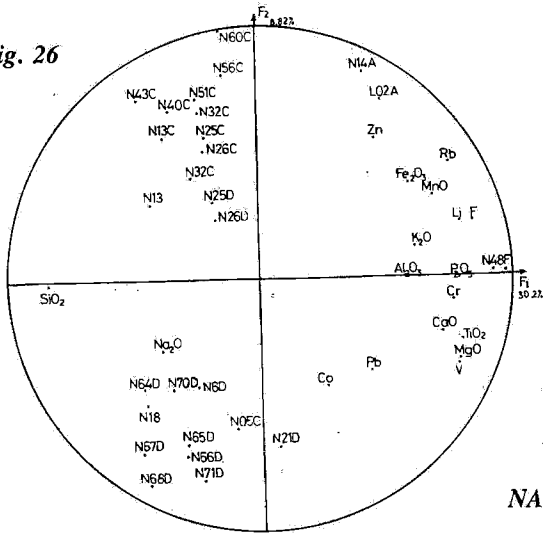
Remarque sur la perte au feu

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.

Fig. 26



NAHDA

Fig. 27

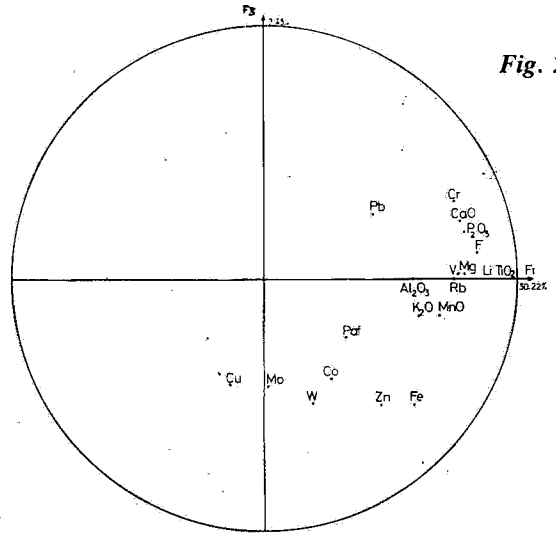
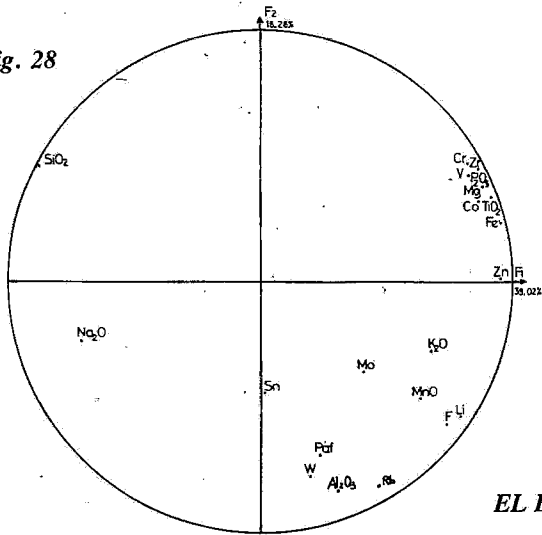


Fig. 28



EL BEMA

Fig. 29

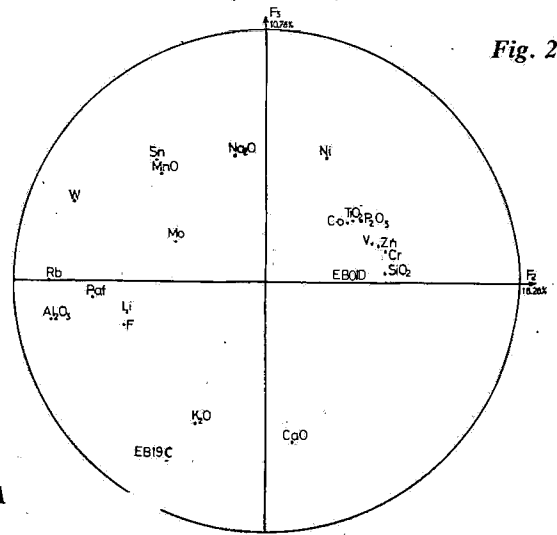
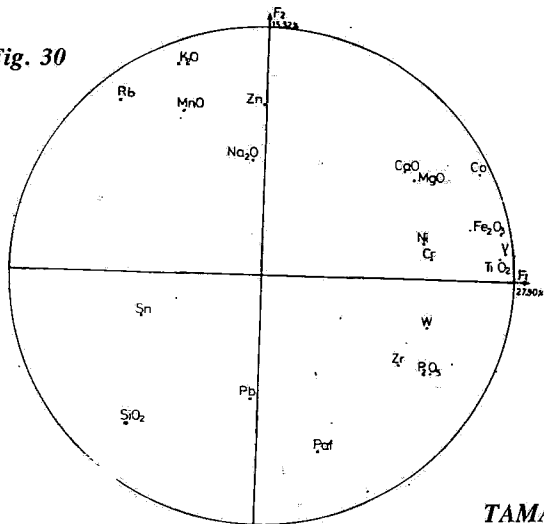
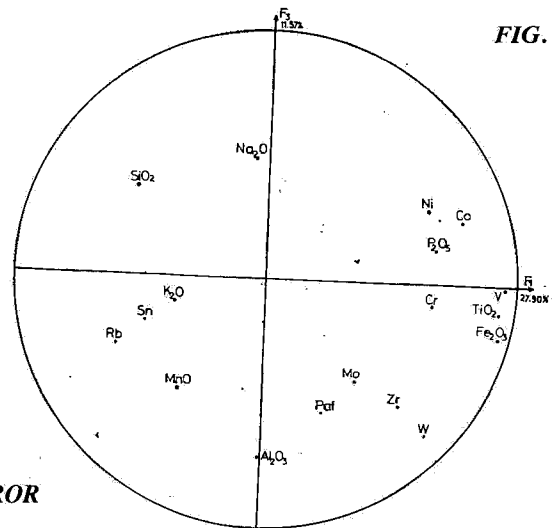


Fig. 30



TAMAZAROR

FIG. 31



3.3.3. Comportement du tungstène et de l'étain 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 - Al₂O₃ - Rb - F - Li - K₂O - 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:

P₂O₅ - Zr - TiO₂ - Cr - V - Ni - Fe; il s'oppose à l'étain lié davantage à SiO₂ 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 corrélation 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.

A El Bema, (tableau n°2) une corrélation du tungstène avec les composantes des phases micacées Al₂O₃, F, Rb, F, 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.

A Tamazaror, (tableau n° 3), nous retrouvons une bonne corrélation du tungstène avec les éléments d'une phase basique (Fe₂ O₃, TiO₂, P₂O₅, V très faible corrélation avec les éléments acides.

Tableau n° 1

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3T}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Paf	F	Rb	Li	Mo	Cu	Pb	Zn	W	Zr	Sn	Ni	Co	V	
SiO ₂	1.00																								
Al ₂ O ₃	-0.82	1.00																							
Fe ₂ O _{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 ₂ O	0.03	0.10	-0.51	-0.44	-0.25	-0.19	1.00																		
K ₂ O	-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 ₂ O 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° 2

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3T}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PaI	F	Rb	Li	Mo	Cu	Pb	Zn	W	Zr	Sn	Ni	Co	V	
SiO ₂	1,00																								
Al ₂ O ₃	-0,94	1,00																							
Fe ₂ O _{3T}	-0,71	0,09	1,00																						
MnO	-0,78	0,59	0,56	1,00																					
MgO	-0,60	-0,05	0,96	0,47	1,00																				
CaO	-0,26	0,09	0,25	-0,09	0,24	1,00																			
Na ₂ O	0,50	-0,09	-0,65	-0,07	-0,65	-0,56	1,00																		
K ₂ O	-0,70	0,36	0,50	0,27	0,45	0,53	-0,82	1,00																	
TiO ₂	-0,63	-0,06	0,99	0,50	0,98	0,24	-0,64	0,45	1,00																
P ₂ O ₅	-0,59	-0,02	0,97	0,46	0,97	0,26	-0,61	0,40	0,98	1,00															
PaI	-0,36	0,79	0,92	0,47	-0,11	0,29	0,07	0,31	-0,06	-0,05	1,00														
F	-0,92	0,79	0,58	0,70	0,83	0,31	-0,48	0,76	0,47	0,82	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	0,12	-0,18	-0,25	-0,03	-0,13	0,02	0,27	-0,24	-0,21	-0,37	-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	0,56	-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	-0,33	0,04	0,07	0,02	-0,23	0,26	-0,24	0,08	0,03	-0,01	-0,14	-0,38	-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	0,97	0,13	-0,48	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	-0,34	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 n° 3

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3T}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PaI	F	Rb	Li	Mo	Cu	Pb	Zn	W	Zr	Sn	Ni	Co	V	
SiO ₂	1,00																								
Al ₂ O ₃	-0,72	1,00																							
Fe ₂ O _{3T}	-0,64	0,16	1,00																						
MnO	-0,27	0,38	-0,05	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 ₂ O	-0,27	-0,01	-0,14	-0,17	0,27	0,32	1,00																		
K ₂ O	-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 ₂ O ₅	-0,21	-0,14	0,50	-0,67	0,26	0,28	0,13	-0,50	0,55	1,00															
PaI	0,03	0,22	0,19	-0,23	-0,36	-0,49	-0,88	-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	-0,40	-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	-0,01	0,06	0,06	-0,11	-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	0,17	0,27	0,11	-0,10	-0,10	-0,25	1,00										
Cu	-0,12	0,00	-0,02	-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	-0,12	-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	-0,16	0,57	0,11	-0,53	-0,24	0,01	0,59	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	-0,15	-0,25	0,02	-0,41	-0,44	0,03	0,02	0,11	-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	-0,39	0,60	0,28	-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	0,61	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	0,86	0,38	-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	0,73	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	

3.5. - Etude du comportement de l'étain et du tungstène par la méthode de «régression 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^o degré du type :

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

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 :

$$Sn = 69,55 Al_2 O_3 - 87,12 K_2 O - 488$$

La corrélation positive entre Sn et $Al_2 O_3$ et négative entre Sn et $K_2 O$ qui apparaît dans cette équation semble indiquer une relative opposition entre l'étain et le microcline.

Pour W l'équation s'écrit :

$$W = 0,18 Rb - 2,23 K_2 O + 7,84$$

W apparaît lié aux phases micacées; en revanche l'anticorrélation de W avec $K_2 O$ 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^o 4.

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

$$W = 5,42 Fe - 7,48 MgO - 4,87 CaO + 36,55 P_2 O_5 + 0,5 Na_2 O - 11 TiO_2 - 3,83$$

Ceci montre une bonne corrélation entre W et les éléments basiques comme il a été observé en ACPN. Mais W semble lié essentielle-

ment 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 Ti.

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.

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

Tableau n° 4

N° des échantillons	SI02	AL03	FE03	MNO	MGO	CAO	NA2O	K2O	TIO2	P2O5	PAF	F	V	RB	LI	MO	CU	PB	ZN	W	ZR	SN
	%											ppm										
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
EB2B	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
EB15B	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
EB19M	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
EB20M	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
	ppm			
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
EB2B	2	10	100	20
EB15B	2	6	100	10
EB19M	0	0	80	0
EB20M	5	0	10	5
URM1	5	0	100	0
URM2	0	0	100	0

N = Nahda
 EB = El Bema
 UR = Ursule

M = muscovite
 B = biotite

(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 microdiocrites. 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. 20). 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 hygromagmatophile 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 métal

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 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 ± 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 ± 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 chimicominéralogiques. Ils ont montré que les intrusions de NAHDA et de TAMAZAROR étaient fortement différenciées et que, en revanche, celle d'EL BEMA conservait un caractère moins évolué et se rapprochait des granites corses étudiés par CARRON *et al* (1973). Dès cette étude les greisens s.s 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'expliquer 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 du 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 déferri-fication 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 que cette étude confirme 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 post-magmatique 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.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT G. (1969) - Les coupoles granitiques de Montebraz et d'Echassières (MCF) et la genèse de leurs minéralisations en étain, lithium, tungstène et béryllium. *Mémoire du BRGM* n° 46.
- ALLEGRE C.J., TREUIL M., 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 GLYNKY (1972-1976) - Rapport SONAREM 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. SSER. Moscou*, 1 vol., 196 p.
- BOISSAVY-VINAUM. (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^e cycle, Paris VI*.
- BOISSONNAS J. (1960) - Mission de synthèses géologiques S 1, Hoggar, 1959, 60. Etude géologique des granites wolframifères de la région de Laouni. *B.R.G.M., Algérie*.
- 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 K/Rb = f(Rb) dans les roches éruptives de Corse occidentale. *Bull. Soc. Géol. 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 Armoricaïn. *C.R.A.S., Paris*, T 284, série D, 1009.
- DIDIER J. et LAMEYRE J. (1980) - Les granitoïdes 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*.
- GRAVELLEM. (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*.
- 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 chimicominéralogiques 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 d'Etat. Paris. Bull. Serv. Carte géol. Alger*, 2^e série, n° 22.
- LESCUYER J.L. et RIOU R. (1976) - Géologie de la région de Mianeh (Azərbayjan). Contribution à l'étude du volcanisme tertiaire de l'Iran. *Thèse 3^e 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, no 1, pp. 35 - 78.
- MARMOTTANS M., DUPUY C., ORSINI J. (1977) - Interprétation de la répartition des éléments Li, Rb, Sn, Ba dans 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, no 1.
- MONIER GILLES (1980) - Pétrologie des granitoïdes du Sud Millevaches (MCF), Minéralogie, géochimie, géochronologie. *Thèse 3^e cycle, Clermont*.
- PELLITERO E., SAAVEDRA J., SANCHEZ A.G. et A. ARRIBA MORENO (1976) - Geoquímica del W en el area circundante al yacimiento de cheelita de Barruecopardo (Salamanca). *Acta geologica hispanica tXI* (1976), no5, pp. 133 - 136.
- PHAN K.D. (1965) - Distribution des traces d'étain, de lithium et de béryllium dans quelques massifs granitiques du Morbihan. Différence entre granites stannifères et granites stériles. *Bull. BRGM*, no 5, pp. 1-48.
- RAGUIN E. (1976) - Géologie des granites, 3^e édition. *Masson*.
- RAPPORT SONAREM (1972 - 1976) - Groupe «Métaux rares », *Rapport interne*.
- RAPPORT SONAREM -ARMINES (1977) - Inventaire et prospective des ressources minérales du Hoggar. *Rapport interne*.
- ROUTHIER P. (1963) - Les gisements métallifères (2 tomes) *Masson*.
- ROUTHIER P. (1980) - Où sont les métaux pour l'avenir ? les provinces métallogéniques. *Mémoire du BRGM*, no 105.
- RAYLEIGH J.M.S. (1896) - Theoretical considerations respecting the separation of gases by diffusion and similar processes. *Phil. Mag.*, 42, pp. 47 - 107.
- SAAVEDRA J., LA ROCHE H. de, LETERRIER J. avec la collaboration de PELLITERO E.-Essai de typologie géochimique de quelques granites à deux micas des Vosges moyennes. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, XV, 1973, no 5-6.
- SAPORTA G. (1978) - Théories et méthodes de la statistique. *Publication de l'I.F.P., Ed. Technip*.
- SHAW D.M. (1968) - A review of K-Rb fractional trends by covariance analysis. *Geochim. Cosmochim. Acta* 32, pp. 573-601.
- STEINBERG. M., TREUIL M., TOURAY J.C., MAS-SARD P. (1979) - Géochimie principes et méthodes. *Tomes 1 et 2, DOIN Editeur*.
- TEGEY M. (1979) - Utilisation de la géochimie majeure pour la cartographie des terrains cristallins. *Document du BRGM* no 12.
- TISCHENDORF G. (1977) - Geochemical and petrographic characteristics of silicic magmatic rocks associated with rare element mineralization, in metallization associated with acid magmatism. *published by the Geological Survey, Prague*, vol. 2.
- VITEL G. (1979) - La région Tefedest-Atokor du Hoggar central (Sahara). Evolution d'un complexe granulitique précambrien. *Doctorat Etat. Paris VII. ORSAY*.