

## LE MASSIF GRANITIQUE DE LA MALADETA (PYRENEES CENTRALES ESPAGNOLES), SYNTHESE DES DONNEES GEOLOGIQUES<sup>1</sup>

par

J.M. CHARLET<sup>2</sup>

(1 figure et 2 tableaux)

**RESUME.-** Une description géologique complète du massif granitique de la Maladeta est présentée dans cette note : relation du massif avec son encaissant, âge du granite, métamorphisme au contact, description et répartition des granitoïdes et des complexes filoniens, distribution des enclaves, relation géométrique et chronologique entre les types pétrographiques, faciès orientés et tectoniques.

La nature et la répartition des principaux types pétrographiques permettent de distinguer deux grandes unités situées à des niveaux structuraux différents : l'unité occidentale du Nethou séparée de l'unité orientale de Bohi par une zone écrasée. Si la structure zonale concentrique de l'unité du Nethou est évidente à tous les stades d'évolution du massif, il n'en n'est pas de même de l'unité de Bohi qui structurellement apparaît plus complexe.

Pour terminer, différents modèles génétiques sont discutés et les premiers résultats d'une étude en géochimie et géochimie isotopique sont évoqués.

**ABSTRACT.-** A complete geological description of the Maladeta granitic Massif is provided. This includes : the relation between the plutonic complex and its surround; datation of the granitoids; metamorphic aureole; description and distribution of the various granitic types (from two-mica granite to gabbro) and of the acidic and basic dykes and sills; frequency, type and distribution of xenoliths; chronological and geometrical relationships between the different petrographic types; a structural study.

The characteristics and distribution of the chief petrographic types allow the discrimination of two principal units situated at different structural levels; the western (Nethou) unit of the Maladeta complex is separated from the eastern (Bohi) unit by a mylonitic zone.

The western unit (Nethou) consists of concentrically zoned petrographic types. The evolution of this massif may be either as a core of two-mica granite surrounded by a rim of biotite-hornblende granodiorite or as a core of aplite-pegmatites dykes with some tourmaline surrounded by a rim of aplite dykes without tourmaline.

The eastern (Bohi) unit is more complicated : various small stocks of muscovite-biotite-cordierite granite intrude here and there the core of the mass of granodiorite.

Finally, various genetic models are discussed and the first results given of the geochemistry and isotopic geochemistry.

### INTRODUCTION

La description générale qui va suivre est le résultat de nombreuses campagnes de terrain qui s'échelonnèrent sur plus de dix ans au cours des mois d'été et qui furent réalisées par l'auteur avec en 1972 et 1973, la participation de Ch. DUPUIS et en 1978, celle de D. BOURKE.

Au sens géologique du terme, le massif de la Maladeta forme un vaste domaine granitique de 400 km<sup>2</sup>

allant du Rio Esera à l'W à la région du lac de Sant Maurici à l'E. Les conditions d'observations y sont particulièrement favorables et ce grâce à l'altitude élevée du massif (généralement supérieure à 2.000 m),

<sup>1</sup> Manuscrit déposé le 13 décembre 1979.

<sup>2</sup> Faculté Polytechnique de Mons, rue de Houdain, 9, B 7000 Mons (Belgique).

à la présence de nombreuses zones lacustres polies par l'action des glaciers et à l'existence de vallées profondément encaissées.

Les contours du massif déjà esquissés par DALLONI (1910, 1930), ont été revus par l'équipe hollandaise du professeur ZWART (KLEINSMIEDE, 1960; ZANDVLIET, 1960; MEY, 1967 et 1968; WENNEKERS, 1968). Toutefois, le massif lui-même ne fut l'objet que de brèves reconnaissances; sur les cartes récentes publiées par l'Université de Leide, il est toujours représenté comme une granodiorite homogène à biotite.

En 1966, j'entamai son étude et m'aperçus que la Maladeta était en fait un massif complexe constitué de nombreux types pétrographiques répartis en plusieurs unités différentes.

Initialement, trois unités furent distinguées : l'unité occidentale du Nethou, l'unité centrale de la Noguera de Tor, l'unité orientale de Capdella.

En réalité toute la partie centrale et orientale du massif est caractérisée par les mêmes faciès granodioritiques découpés en blocs par une série de grandes zones failleuses; la distinction entre ces deux unités portant essentiellement sur la distribution des granites à cordiérite et des satellites filoniens.

Aussi, nous nous limiterons dans la suite de ce travail à reconnaître deux grandes unités :

- l'unité centrale et orientale de Bohi où les granites et granodiorites à grain grossier, à biotite et amphibole affleurent largement (types  $\gamma 2$ );
- l'unité occidentale du Nethou où affleure principalement un granite à biotite, muscovite et cordiérite (type  $\gamma 3$ ) et où les granodiorites type  $\gamma 2$  sont essentiellement représentées par des faciès à grain moyen, riches en biotite et amphibole.

#### LES RELATIONS DU MASSIF GRANITIQUE AVEC SON ENCAISSANT

Le contact des granitoïdes de la Maladeta et de son encaissant paléozoïque est intrusif ou tectonique (faille Nord-Maladeta déjà mise en évidence par les Hollandais, faille des Baños de Bohi, faille de Pala d'Eriexe). Lorsque le contact est normal, il est toujours net, d'allure redressée et généralement déversé vers le Sud. Sur les bordures tant septentrionales que méridionales, le contact généralement bien visible sur les parois rocheuses, pend vers le Nord; il peut être soit

concordant en grand avec les structures sédimentaires encaissantes (unité du Nethou), soit nettement sécant (région de Tahull-Capdella).

#### L'AGE DU GRANITE

Les granites des Pyrénées centrales sont classiquement considérés comme hercyniens (Stephanien-Permien inférieur pour DALLONI 1910 et 1930). Le métamorphisme au contact de la Maladeta affecte les formations détritiques du plan des Etangs dont l'âge va du Namurien (WATERLOT, 1964) au Westphalien probable. En outre, quelques lambeaux de Permien (1) (KLEINSMIEDE, 1960) constitués de grès grossiers rougeâtres et de phyllades violacés non métamorphiques reposent sur la partie septentrionale du massif (région de Tredos). Le métamorphisme de contact est donc post-Namuro-Westphalien et anté-Permien. De même les microgranites aphanitiques de la région de Bono et de Fonchamina-Castanesa que nous considérons comme contemporains de la mise en place du granite de la Maladeta (CHARLET, 1971) sont intrusifs dans les formations du Dévonien-Carbonifère et sont recouverts en discordance par les schistes et grès rouges du Permien.

Enfin, une isochrone 87-RB 87-Sr réalisée sur les granodiorites de l'unité de Bohi donne un âge de  $277 \pm 7$  M A (MICHARD-VITRAC, ALBAREDE, DUPUIS, 1979).

#### LE METAMORPHISME AU CONTACT DES GRANITOÏDES

La succession dans le temps et dans l'espace des paragenèses que nous proposons, résulte des études détaillées de la bordure méridionale de l'unité du Nethou (CHARLET, 1977) et de la partie orientale de l'unité de Bohi (BOURKE, 1979) complétées par une série de coupes effectuées en bordure des deux unités.

Dans la distribution des minéraux de métamorphisme, il y a lieu de distinguer les paragenèses appartenant à la séquence calcaro-pélique du Dévonien, aux séquences péliques du Cambro-Ordovicien, du Dévonien et du Carbonifère, à la séquence ampélique du Gothlandien.

Dans la séquence calcaro-pélique, on rencontre à partir de la bordure du massif :

(1) Ce sont les schistes et grès rouges du Saxonien-Thuringien.

- une paragenèse à vésuvianite-grossulaire-diopside toujours étroitement localisées au contact des granitoïdes et que nous avons pu repérer dans toutes les coupes étudiées;
- une paragenèse à grossulaire qui déborde celle des associations à vésuvianite-grenat et qui est parfois accompagnée d'une amphibole de type hornblende;
- une paragenèse à actinote 1 plus tardive et plus largement distribuée dans la partie externe de l'auréole.

En outre, une paragenèse à actinote 2-calcite-épidote-quartz vient parfois se superposer aux associations précédentes. Elle apparaît liée à une phase tardive de déformation; l'actinote s'y présente avec un faciès asbestiforme très développé que nous avons décrit dans la vallée de l'Esera (CHARLET, 1977) et que nous avons revu largement développé dans la partie orientale du massif (Espot-Llesuy).

Enfin des minéraux du groupe des wernérites (dipyres) sont très fréquents en bordure de l'unité du Nethou. Par contre, nous ne les avons jamais rencontrés en bordure de l'unité de Bohi. Leur présence dans la partie externe de l'auréole de métamorphisme des granitoïdes hercyniens mérite d'être soulignés, la dipyre ayant toujours été considéré comme typomorphe du métamorphisme pyrénéen.

Les séquences pélitiques moins favorables à l'apparition d'une grande variété de paragenèse montrent surtout le développement d'andalousite et de cordiérite dans les schistes et cornéennes du Cambro-Ordovicien, du Dévonien et du Carbonifère. Toutefois, l'existence d'une paragenèse à grenat almandin dans les cornéennes à biotite du Dévonien de la région de l'Esera mérite d'être rappelée (CHARLET, 1977). La déstabilisation du grenat en relation avec la phase d'hybridation des roches basiques est un élément important démontrant l'existence d'un polymétamorphisme au contact des granitoïdes. En outre des paragenèses de basse température à quartz-chlorite-épidote-albite ou des tapissages de zéolites correspondent dans la séquence pélitique à la phase à actinote 2 des faciès carbonatés.

Dans la séquence ampélitique du Gothlandien, deux phases de métamorphisme sont parfois identifiables :

- l'une est caractérisée par la fréquence de l'andalousite (chiastolite) passant au contact des granitoïdes à la sillimanite (2) (CHARLET, 1977; BOURKE, 1979);
- l'autre plus tardive est marquée par la déstabilisation de l'andalousite et de la sillimanite : paragenèse à

muscovite-quartz (BOURKE, 1979).

Signalons en outre l'existence d'un métamorphisme à caractère régional qui se traduit dans les schistes gothlandiens par le développement du chloritoïde et par un degré de cristallinité élevé des illites (domaine de l'épizone) (VINCHON, 1978). En outre la présence d'enclaves de schistes cristallins dans certains granitoïdes ou certains filons de microgranites témoigne de l'existence, à l'échelle régionale, d'un socle fortement métamorphisé.

En résumé, dans un domaine touché par un métamorphisme régional plus ou moins intense s'est développé, en relation directe avec la mise en place des granitoïdes, toute une série de paragenèse nouvelles :

- une phase précoce à grenat almandin en relation étroite avec les faciès basiques;
- une succession plus ou moins complexe de phases (en bordure du massif, phase de haute température généralement suivie d'une rétromorphose) et qui apparaissent liées à la mise en place des granodiorites et granites à biotite et amphibole (type  $\gamma$  2);
- une paragenèse à scapolite qui semble associée aux granites à cordiérite (type  $\gamma$  3);
- des paragenèses de basse température (épidote-actinote ou épidote-chlorite) en relation avec une phase tardive de déformation.

Suivant l'extension au sein des diverses unités, des principaux types pétrographiques, cette succession de paragenèses sera plus ou moins complète. La comparaison des données obtenues en bordure des unités du Nethou (CHARLET, 1977) et de Bohi (BOURKE, 1979) est à cet égard instructive (pas de grenat almandin ni de dipyre dans les coupes étudiées de l'auréole de contact de l'unité de Bohi).

## LES GRANITOÏDES

### LES FACIES BASIQUES $\gamma$ 1 :

En bordure méridionale de l'unité de Bohi s'individualisent des faciès basiques à grain fin auxquels nous avons donné le nom de "faciès basiques de Tahull". Ils affleurent sur 5 km<sup>2</sup> environ et sont constitués d'une grande variété de types pétrographiques allant des gabbros à augile et hyperstène à des gabbros ou diorites quartziques.

(2) De la très belle sillimanite en étoile a été observée dans la région d'Espot (BOURKE, 1979).

Dans l'unité du Nethou les faciès basiques affleurent plus sporadiquement. Ils forment soit quelques petits massifs hectométriques isolés dans l'encaissant métamorphique de la vallée de l'Esera, soit la partie tout à fait externe de l'unité à structure concentrique du Nethou. Les véritables gabbros  $\gamma$  sont très rares; les types pétrographiques dominants sont représentés par des gabbros ou diorites quartziques.

#### LES GRANITES ET GRANODIORITES $\gamma 2$ :

L'unité de Bohi est en majorité constituée d'une granodiorite  $\gamma 2b$  à grain grossier, à biotite et amphibole passant progressivement vers la partie centrale à des granites  $\gamma 2c$  porphyroïdes à grain grossier, à biotite ou à biotite et amphibole. La limite  $\gamma 2b - \gamma 2c$  toujours très floue est principalement marquée par l'apparition des porphyroblastes de feldspaths alcalins fréquemment maclés Carlsbad.

Dans l'unité du Nethou, la granodiorite de la Maladeta  $\gamma 2a$  est à grain moyen, à biotite et amphibole; elle affleure à la périphérie du massif.

Si les granitoïdes  $\gamma 2$  réalisent des types pétrographiques variés, ils sont cependant tous caractérisés par l'abondance d'enclaves essentiellement représentées par des roches basiques à grain fin (enclaves microgrenues).

#### LES GRANITES A BIOTITE ET CORDIERITE $\gamma 3$ ET LES LEUCOGRANITES DE BORDURE :

Dans toute l'unité de Bohi s'individualisent des corps ou massifs constitués de granites à grain moyen, à biotite et fréquemment à cordiérite ou muscovite. En outre tous sont caractérisés par la présence d'enclaves de schistes cristallins ou de loupes surmicacées. On y rencontre cependant plusieurs types pétrographiques.

Le granite de Tredos se distingue des faciès habituels  $\gamma 3$  par un grain nettement plus fin, l'absence quasi générale de muscovite et de cordiérite ( $\gamma 3a$ ). Le granite mélanocrate de Beciberri souvent porphyroïde est riche en biotite ( $\gamma 3b$ ).

Les granites plus leucocrates des Cirques ( $\gamma 3d$ ) sont constitués eux-mêmes de plusieurs faciès dont l'un porphyroïde affleure dans le Cirque de l'Estany Negre de Bohi et en bordure du Cirque de Colomers.

Le granite d'Artiès présente de fortes analogies avec le granite des Crêtes ( $\gamma 3c$ ) qui affleure dans le coeur de l'unité du Nethou. Ce dernier est un granite à grain moyen, porphyroïde, à biotite, muscovite, cordiérite et megacristsaux de feldspath alcalin fréquem-

ment maclés Carlsbad. Il est découpé dans sa masse par un réseau de joints tapissés d'aiguilles de tourmaline noire.

Les granites de type  $\gamma 3$  se distinguent encore par leur contenu en enclaves (tab. 1). D'une manière générale les faciès melanocrates sont plus riches en enclaves de schistes cristallins; celles-ci étant parfois accompagnées d'enclaves microgrenues.

Des leucogranites s'individualisent également en bordure des unités de Bohi et du Nethou.

En bordure méridionale de l'unité de Bohi, ils forment toute une série de petits corps hectométriques d'allure lenticulaire. Ce sont des roches d'aspects assez variés allant du granite saccharoïde à quelques traînées biotitiques ou à taches centimétriques de cordiérite au microgranite à grain fin ou moyen à biotite, muscovite et cordiérite.

En bordure méridionale ou septentrionale de l'unité du Nethou affleurent également des granites leucocrates à grain fin, à lamelles de biotite ou nodules centimétriques de cordiérite. En allure filonienne ou en petites masses de quelques dizaines de  $m^2$  ils sont intrusifs dans les cornéennes de contact ou dans la granodiorite  $\gamma 2$ .

#### LES RELATIONS GEOMETRIQUES ET CHRONOLOGIQUES ENTRE LES GRANITOIDES

##### CONTACT ENTRE LES FACIES BASIQUES $\gamma 1$ ET LES GRANODIORITES $\gamma 2$ :

Dans l'unité de Bohi (région de Tahull), ce contact est franc, les gabbros à grain fin étant envahis par des filonnets de granodiorite  $\gamma 2$  à grain grossier. Au voisinage du contact de grosses enclaves de gabbros ou de diorites quartziques sont isolées dans le granodiorite.

Dans l'unité du Nethou le passage  $\gamma 1 - \gamma 2$  est très progressif. Il est marqué vers le coeur du massif par une diminution du pourcentage en ferromagnésiens (amphibole, biotite) et par une importance croissante de la phase granitique.

##### CONTACT ENTRE LES GRANITOIDES DE TYPE $\gamma 2$ ET $\gamma 3$ :

Dans l'unité de Bohi ces contacts sont francs, réguliers et parfois soulignés par un "stockscheider" ou sinueux, les granites  $\gamma 3$  pénétrant alors en filons dans les granodiorites de type  $\gamma 2$ . En outre les grani-

		Enclaves microgrenues	Enclaves de schistes cristallins
Unité de Bohi	granitoïde de type $\gamma$ 2	très abondantes avec avec parfois champs d'enclaves	absentes
	granite de Tredos $\gamma$ 3a	fréquentes	présentes mais assez rares
	granite de Besiberri $\gamma$ 3b	assez fréquentes	fréquentes
	granite des Cirques $\gamma$ 3d Cirque de l'Es. Negre Cirque de Colomers	assez rares très rares ou absentes	assez rares très rares
Unité du Nethou	granitoïde de type $\gamma$ 2	très abondantes avec parfois champs d'enclaves	absentes
	granite des Crêtes $\gamma$ 3c	fréquentes à assez fréquentes	fréquentes

Tableau 1

tes  $\gamma$  3 à grain fin ou moyen contiennent fréquemment des enclaves de granitoïde du faciès  $\gamma$  2. Enfin dans de nombreux cas, on voit les granodiorites  $\gamma$  2 encapuchonner les granites à cordiérite  $\gamma$  3 (Cirque de l'Estany Negre de Bohi).

Dans l'unité du Nethou le contact entre les faciès à grain moyen  $\gamma$  2 -  $\gamma$  3 est généralement progressif, le passage s'opérant en quelques mètres ou quelques dizaines de mètres. Il est marqué par :

- la disparition de l'amphibole;
- l'apparition de la muscovite, de la cordiérite, des megacristaux de feldspath alcalin et des joints tourmalinifères.

Toutefois, certaines modalités de variations existent au niveau de ce contact, celui-ci étant tantôt franc et sinueux (itinéraire du Nethou, Portillon supérieur), tantôt marqué par une alternance de bandes de granite à cordiérite et de faciès amphibolitiques à grain fin (cf. au granite de Tredos).

### LES COMPLEXES FILONIENS

Il y a lieu de distinguer :

- des phases hétérogènes constituées de blocs, d'enclaves ou de coussins de roches basiques isolés dans une

matrice de nature aplitique contenant parfois de la cordiérite ( $\gamma''$  3);

- des aplites à nodules ou à taches de tourmaline et à cordiérite ( $\gamma''$  4);
- des aplites banales ou parfois à aiguilles de tourmaline, des pegmatites graphiques ( $\gamma''$  5);
- des roches anchybasaltiques ( $\gamma''$  6);
- le microgranite potassique des Crêtes ( $\gamma''$  7).

Dans l'unité de Bohi un complexe aplitopegmatische puissant s'allonge sur une dizaine de km depuis l'Estany Gemena jusqu'au Cirque de Colomers. Nous lui avons donné le nom de complexe du barrage de Cavallers. Les filons d'aplite à taches ou cocardes de tourmaline et à cordiérite de puissance métrique à décimétrique forment dans la partie centrale du complexe des lames subhorizontales intrusives dans les granodiorites  $\gamma$  2 : cette disposition est visible sur plus de 100 m de hauteur le long de la route montant au barrage des Cavallers. Les types pétrographiques adoptent en outre une disposition grossièrement zonaire avec en bordure les aplitopegmatites  $\gamma''$  5 et dans la partie centrale les aplitopegmatites  $\gamma''$  4.

Les relations géométriques entre les filons (3)

(3) Tous les points où nous avons pu observer de telles relations sont signalés sur la carte fig. 1.

permettent d'établir l'ordre chronologique de mise en place suivant : phase hétérogène diabase-aplite  $\gamma'' 3$  - complexe aplitopegmatitique à taches de tourmaline et cordiérite  $\gamma'' 4$  - aplites  $\gamma'' 5$  - roches anchybasaltiques  $\gamma'' 6$ .

Les filons de microgranite potassique des Crêtes  $\gamma'' 7$  si fréquents dans l'unité du Nethou sont totalement absents de l'unité de Bohi.

Dans l'unité du Nethou les aplitopegmatites adoptent une disposition grossièrement zonaire concentrique aux faciès granitiques : au centre des filons parfois épais de plusieurs mètres d'aplitites à taches ou soleils de tourmaline passant dans une zone intermédiaire à des filonnets de tourmalinite tapissant les joints des Crêtes puis dans les faciès granodioritiques à des pegmatites aplitiques non tourmalinifères ou à aiguilles de tourmaline.

Des filons de roches basiques recoupent le complexe. Ce sont soit des roches hétérogènes (enclaves de roches basiques dans un matrice aplitique) en filons parfois épais de plusieurs mètres soit des roches apparentées aux anchybasaltes de l'unité de Bohi.

Enfin un des caractères typiques de l'unité du Nethou est l'abondance des filons de microgranite potassique à beaux phénocristaux de quartz automorphe

et de feldspaths alcalins blanchâtres, en dykes subverticaux épais de plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres et généralement à bordure aphanitique sur quelques décimètres. D'allure subméridienne, ils affleurent de la bordure septentrionale à la bordure méridionale de l'unité en passant par la zone des pics du Nethou-Maladeta. Nous leur avons donné le nom de "microgranites des Crêtes". Ils recoupent le complexe aplitopegmatitique du Nethou et semblent également postérieurs aux roches filoniennes basiques.

Leurs relations géométriques mutuelles permettent d'établir l'ordre chronologique de mise en place suivant : complexe aplitopegmatitique à tache de tourmaline et cordiérite  $\gamma'' 4$  - phase hétérogène diabase - apélite  $\gamma'' 3$  - aplites banales ou à aiguilles de tourmaline  $\gamma'' 5$  - roches anchybasaltiques  $\gamma'' 6$  - microgranites des Crêtes  $\gamma'' 7$ .

## LES FACIES ORIENTES

Les granites adoptent parfois une texture orientée soulignée par la disposition des lamelles de biotite, des aiguilles d'amphibole, des mégacristaux de feldspaths alcalins et par l'allongement des enclaves basiques.

Figure 1

### A. Les granitoïdes et les roches associées :

- 1a -  $\gamma 1$  : faciès basiques de Tahull (et de l'Esera)
- 1b : champs d'enclaves et faciès hétérogènes
- 2 -  $\gamma 2a$  : granodiorite de la Maladeta à grain moyen
- 3 -  $\gamma 2b$  : granodiorite à grain grossier, à biotite et amphibole
- 3 -  $\gamma 2c$  : granite porphyroïde à biotite et accessoirement amphibole
- 5 -  $\gamma 3a$  : granite de Tredos 6 -  $\gamma 3b$  : granite de Beciberri
- 7 -  $\gamma 3c$  : granite des Crêtes 8 -  $\gamma 3d$  : granite des Cirques
- 9 -  $\gamma' 2a-b$  : faciès orienté de  $\gamma 2a-b$
- 10 -  $\gamma' 2c$  : faciès orienté de  $\gamma 2c$
- 11 - : mylonites et faciès épidotisés du Rio San Nicolau
- 12 - : contacts nets
- 13 - : contacts progressifs
- 14 - : transitions graduelles
- 15 - : nature du contact non observée
- 16 - : failles

### B. Les satellites filoniens et les petits corps granitiques intrusifs du sein du massif ou sur les bordures :

- 17 -  $\gamma'' 2$  : granites et microgranites leucocrates à grain fin
- 18 -  $\gamma'' 3$  : phases hétérogènes diabase-apélite
- 19 -  $\gamma'' 4$  : aplitopegmatites à taches et cocardes de tourmaline
- 20 -  $\gamma'' 5$  : aplitopegmatites parfois à aiguilles de tourmaline
- 21 -  $\gamma'' 6$  : roches anchybasaltiques
- 22 -  $\gamma'' 7$  : micrographites des Crêtes, potassiques à structure porphyrique.

### C. Les formations sédimentaires et divers :

- 23 - : Permien (phyllades et grès rouges)
- 24 - : Paléozoïque
- 25 - : Enclaves métasédimentaires
- 26 - : Lacs et glaciers
- 27 - : Principaux itinéraires carrossables dans le massif.



Dans l'unité du Nethou comme dans celle de Bohi, les faciès orientés forment un anneau plus ou moins continu autour du coeur de l'unité.

Dans l'unité du Nethou, l'orientation est N 50 - 60° W en bordure méridionale du massif, grossièrement parallèle au contact du granite avec l'encaissant et à la direction des plis principaux. Elle est par contre N-S à N 20° W dans la coupe de Cregueña.

Dans l'unité de Bohi, l'orientation générale est N 65 - 75° E dans la région du tunnel de Viella, N 5 - 15° W dans la barranco de Beciberri, N 50° W dans la vallée de Bohi.

### LES ENCLAVES, LEUR RELATION AVEC LES GRANITOÏDES

Parmi les enclaves des granitoïdes de la Maladeta, on peut distinguer : des fragments de roches encaissantes, des roches basiques, des schistes cristallins, des roches surmicacées.

Les fragments de roches encaissantes sont de toutes dimensions (kilométriques à centimétriques). A faciès de cornéennes (à grenat almandin ou grossulaire, à cordiérite, ...) plus ou moins évoluées elles sont principalement localisées à l'extrémité occidentale du massif (coupe de l'Esera). Ailleurs elles semblent relativement rares.

Les roches basiques sont assez nombreuses et principalement localisées dans les faciès  $\gamma$  2. Dans l'unité du Nethou, elles sont peu fréquentes en bordure du massif mais deviennent abondantes vers la zone de contact  $\gamma$  2 -  $\gamma$  3; on passe généralement d'une densité de 1 à 2 enclaves au m<sup>2</sup> en bordure de l'unité à une densité de 10 à 20 enclaves au m<sup>2</sup> à une centaine de mètres du contact avec le faciès à cordiérite. Très localement d'ailleurs la densité est telle que sur quelques m<sup>2</sup> un véritable faciès hétérogène se développe, les enclaves devenant plus abondantes que la matrice (champ d'enclaves).

Parfois le contact entre les faciès hétérogènes et les granodiorites dépourvues d'enclaves est net, la matrice des enclaves étant plus chargée en ferromagnésiens que la granodiorite encaissante. Enfin les enclaves basiques vont généralement d'un type 1 à grain fin et contour net à un type 2 à grain analogue à celui de la matrice et contour flou; en outre les enclaves sont parfois entourées d'une frange quartzofeldspathique.

Comme dans l'unité du Nethou, les granodiorites des unités de la Noguera de Tor et de Capdella sont

riches en enclaves basiques; très localement s'y développent également des champs d'enclaves et des faciès hétérogènes.

Si dans les faciès  $\gamma$  2 les enclaves sont généralement nombreuses et de nature principalement basique, dans les granites  $\gamma$  3 elles sont moins fréquentes et pétrographiquement plus variées. Suivant le faciès granitique considéré, on peut rencontrer des schistes cristallins, des enclaves surmicacées, des roches éruptives basiques (gabbro quartzique, diorite) et des granodiorites de type  $\gamma$  2.

La présence de schistes cristallins et de loupes surmicacées en enclaves dans les granites à cordiérite de l'unité du Nethou et de Bohi constitue un trait caractéristique. Essentiellement distinctes des enclaves de cornéennes ce sont des roches nettement orientées constituées d'une alternance de lits quartzofeldspathiques et de lits à biotite, muscovite, grenat, cordiérite, sillimanite. Les mêmes enclaves de schistes cristallins sont parfois abondantes dans les microgranites des Crêtes de l'unité de Nethou (région de Llosas par exemple).

### COMPARAISON ENTRE LES UNITES DU NETHOU ET DE BOHI

Les unités du Nethou et de Bohi sont nettement distinctes par la nature et la disposition des types pétrographiques, des satellites filoniens et des enclaves.

L'unité du Nethou présente une structure zonaire concentrique avec en bordure des roches basiques de type  $\gamma$  1, dans une zone intermédiaire les granodiorites de type  $\gamma$  2, dans le coeur les granites à cordiérite et muscovite de type  $\gamma$  3 qui constituent le type pétrographique dominant. Tous les granitoïdes sont à grain moyen et leurs contacts sont très généralement progressifs. La disposition zonaire concentrique de l'unité est encore soulignée par la répartition des aplitopegmatites et des enclaves basiques. Des filons épais de microgranite potassique plus tardifs et de direction subméridienne recourent l'ensemble de l'unité.

Dans l'unité de Bohi la structure zonaire concentrique est essentiellement soulignée par la répartition des granitoïdes de type  $\gamma$  2 : granodiorite à biotite et amphibole en bordure, granite porphyroïde à biotite au coeur; les granites à cordiérite de type  $\gamma$  3 forment par contre toute une série de corps intrusifs perçant ici ou là les granitoïdes de type  $\gamma$  2. De plus la répartition des enclaves (densité, faciès hétérogènes) n'adopte pas une disposition zonaire concentrique comparable à celle de l'unité du Nethou.



Bloc de la Capella de Santa Rita	Pas de granitoïde de type $\gamma$ 3 Pas de complexe aplitique à taches de tourmaline
Bloc de Capdella	Pas de granitoïde de type $\gamma$ 3 Pas de complexe aplitique à taches de tourmaline
Bloc de l'Estany Gerbe	Quelques rares granitoïdes de type $\gamma$ 3 Quelques aplites à taches de tourmaline
Bloc de la Noguera de Tor	Nombreux massifs de granitoïde de type $\gamma$ 3 Complexes aplitopegmatitiques à taches de tourmaline fréquents et épais

Tableau 2

Enfin les complexes des aplitopegmatites sont, à l'échelle du massif, orientées transversalement à l'allongement de l'unité et à la disposition des granitoïdes de type  $\gamma$  2.

L'absence de filons de microgranite potassique est un trait supplémentaire qui différencie ces deux unités.

Toutefois les unités de Bohi et du Nethou présentent un certain nombre de points communs :

- trois mêmes grands types pétrographiques : faciès basique  $\gamma$  1 - granodiorite à biotite et amphibole  $\gamma$  2 - granite à biotite et cordiérite  $\gamma$  3;
- des aplitopegmatites à nodules, taches ou soleils de tourmaline;
- des associations intimes aplitite-diabase;
- des filons basiques tardifs.

Comme nous l'avons souligné dans nos premiers travaux (CHARLET, 1968), la répartition des granitoïdes et des complexes aplitopegmatitiques montre que l'unité du Nethou correspond à un niveau structural plus profond que celui de l'unité de Bohi.

## LA TECTONIQUE

Le massif de la Maladeta a été soumis à des actions cataclastiques se traduisant par une mylonitisation plus ou moins complète le long de grandes zones failleuses. On y trouve généralement tous les stades de déformation : mylonites nodulaires à blocs granitiques, granites schistifiés passant à des phyllonites verdâtres comme

dans la vallée de la Noguera Ribagorzana, granites épidotisés comme dans la vallée du Rio San Nicolau, granites plus ou moins écrasés à nombreux joints chloriteux.

La recristallisation est généralement très faible si bien que les mylonites constituent des zones de moindre résistance à l'érosion (vallées, cols, régions lacustres).

Parmi les accidents majeurs on peut citer :

- la zone mylonitisée de la Noguera Ribagorzana, profonde cicatrice entre les unités de Bohi et du Nethou.
- les zones failleuses du Rio San Nicolau, de la Ratera et des Baños qui découpent l'unité de Bohi en 4 blocs tectoniques distincts : bloc de la Capella de Santa Rita, bloc de la Noguera de Tor, bloc de Capdella, bloc de l'Estany Gerbe.

La répartition des granitoïdes et des filons aplitopegmatitiques au sein de l'unité de Bohi (tab. 2) montre que les blocs périphériques de la Capella de Santa Rita, de l'Estany Gerbe et de Capdella sont effondrés par rapport au bloc central de la Noguera de Tor et correspondent donc à des niveaux structuraux moins profonds.

D'une manière générale, deux familles de zones fracturées conjuguées (NS et EW d'une part, NW-SE et NE-SN d'autre part) ont joué à plusieurs reprises. C'est ainsi que dans la région de Beciberri, on peut distinguer parmi les directions majeures de fracturation :

- une direction N 10 - 20° W parallèle à l'orientation générale du granite, à certains filons d'aplitopegma-

tites et à la zone mylonitisée de la Ribagorzana.

- une direction N 60 - 70° E parallèle à certains filons d'aplitopégmatites et à la faille des Baños.
- une fracturation N 30 - 40° E subordonnée et plus tardive affectant les aplites à tourmaline et coïncidant avec la direction des filons de roches anchybasaltiques (ces derniers étant d'ailleurs sécants sur les aplitopégmatites).

Notons enfin que des filons aplitiques mis en place à la faveur d'une fracturation N 10° W sont laminés par les mêmes accidents de direction subméridienne.

### CONCLUSIONS

La Maladeta est un batholite composite constitué de plusieurs unités distinctes où les faciès pétrographiques sont très variés et adoptent parfois une disposition grossièrement zonaire concentrique. La cartographie soigneuse des massifs granitiques montre qu'une telle disposition est de plus en plus fréquemment observée. Dans le domaine pyrénéen c'est notamment le cas des massifs de Bordères (FORGHANI, 1964 et 1965) de Cauterets-Panticosa (DEBON, 1968 et 1975) de la partie septentrionale du massif de Quérigut (LETERRIER, 1968 et 1972) des Eaux Chaudes (DEBON, 1976). Dans le détail cependant les modalités de contact (franc ou passage progressif), d'association dans le temps (mise en place plus précoce au centre ou en bordure) des différents faciès pétrographiques peuvent être très variables. Ces faits suffisent déjà à montrer les nombreuses difficultés qui surgissent lorsqu'il s'agit de choisir un modèle génétique.

En 1968, n'ayant étudié que la partie occidentale du massif et à la lumière d'une tendance apparemment calcique des granitoïdes (granodiorite à amphibole) et de la présence d'enclaves métasédimentaires à grenat grossulaire à l'extrémité Ouest de l'auréole granodioritique de l'unité du Nethou, nous étions tentés d'attribuer à l'endomorphisme la cause de la répartition en structure concentrique des faciès pétrographiques  $\gamma 2 - \gamma 3$ . Par la suite grâce à une première étude pétrochimique, nous avons montré (CHARLET, 1971) que les granitoïdes de la Maladeta accusaient une tendance alumineuse et une déficience sodique. D'autre part, du levé de la partie orientale du massif ressort l'absence de relation systématique entre le chimisme des faciès de bordure et celui des formations encaissantes. Les faciès basiques de Tahull sont en contact avec ceux du Cambro-Ordovicien essentiellement pélitique, inversement le granite à 2 micas d'Arties affleure au sein

des formations carbonatées du Dévonien.

Une série d'observations nouvelles dans l'unité de Bohi (CHARLET, DUPUIS, 1974) montre l'existence de deux grands ensembles pétrographiquement distincts :

- des faciès à grain très grossier, à hornblende fréquente et qui comprennent des granodiorites à amphibole  $\gamma 2b$  passant en continuité à des granites porphyroïdes à biotite  $\gamma 2c$ . Une phase basique associée à cette filiation serait représentée par les faciès de Tahull (gabbros à augite et hyperstène).
- des faciès à grain moyen ou à grain fin, à cordiérite fréquente et qui vont des granites  $\gamma 3$  aux filons aplitiques à tourmaline en passant par les petits massifs de leucogranite. C'est une filiation pratiquement continue et à laquelle est liée une phase basique représentée par les diabases en association fréquente avec les aplitopégmatites ou les filons de granite à cordiérite.

Le contact entre les deux ensembles est franc, le second étant indubitablement postérieur au premier et formant au sein des faciès  $\gamma 2$  toute une série de corps intrusifs allant des massifs granitiques aux complexes filoniens aplitopégmatitiques.

Il apparaît donc que la cristallisation fractionnée d'un seul et même magma ne peut être à l'origine de la différenciation observée.

Les données récentes sur les relations entre les grands ensembles pétrographiques des unités de Bohi et du Nethou et sur le contenu en enclaves des granitoïdes tendent à montrer que l'individualisation des types pétrographiques est liée à l'intervention en proportion variable de deux grands termes; l'un de nature basique, l'autre de nature pélitique.

A ce stade de l'interprétation, une étude par les moyens classiques n'est plus suffisante pour résoudre tous les problèmes posés par la distribution des granitoïdes et des enclaves.

Aussi une série de travaux en géochimie et en géochimie isotopique sont-ils actuellement réalisés sous l'impulsion de Ch. DUPUIS (MICHARD-VITRAC, ALBAREDE, DUPUIS, 1979).

Les premiers résultats obtenus dans l'unité de Bohi éclairent d'un jour nouveau les problèmes posés par l'histoire du massif granitique le plus vaste et le plus élevé de toute la chaîne pyrénéenne. Ils permettront de compléter et de préciser les données recueillies à l'occasion d'un levé général du massif.

## BIBLIOGRAPHIE

- BOURKE, D., 1979. Etude géologique de la terminaison orientale du massif de la Maladeta et de ses abords, région d'Espot (province de Lerida, Pyrénées espagnoles). Thèse Doct. Univ., Lille, 69 pp.
- CHARLET, J.M., 1968. Etude préliminaire du massif granitique de la Maladeta (Pyrénées centrales espagnoles). Ann. Soc. geol. Nord., 88 : 65-75.
- CHARLET, J.M., 1971. Utilisation de quelques données pétrochimiques dans l'étude des granites des Pyrénées centrales espagnoles. C.R. Sommaire Soc. geol., Fr., 25 : 174-175.
- CHARLET, J.M., 1974. Les grands traits géologiques du massif de la Maladeta (Pyrénées centrales espagnoles). VII Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos, Instituto de estudios Pirenaicos, Jaca : 37-38.
- CHARLET, J.M., & DUPUIS, Ch., 1974. Observations nouvelles dans le massif de la Maladeta. VII Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos, Instituto de estudios Pirenaicos, Jaca, : 38.
- CHARLET, J.M., 1977. Le métamorphisme au contact des granitoïdes entre les vallées de l'Esera et de la Noguera Ribagorzana (Pyrénées centrales espagnoles). Ann. Soc. geol. Nord., 97 : 165-177.
- DALLONI, M., 1910. Etude géologique des Pyrénées de l'Aragon. Ann. Fac. Sc., Marseille, 19 : 444 p.
- DALLONI, M., 1930. Etude géologique des Pyrénées catalanes. Ann. Fac. Sc., Marseille, 26 : 373 p.
- DEBON, F., 1968. Sur l'existence de structures concentriques dans le massif granitique de Cauterets (Pyrénées occidentales). Sc. de la Terre, Nancy, 13 (1) : 65-78.
- DEBON, F., 1975. Les massifs granitoïdes à structure concentrique de Cauterets-Panticosa (Pyrénées occidentales) et leurs enclaves. Sc. de la Terre, Nancy, Mém. 33.
- DEBON, F., 1976. Les "Eaux-Chaudes" (Pyrénées occidentales) : nouvel exemple de massif granitoïde pyrénéen à structure zonée. 4ème Réunion annuelle des Sciences de la Terre, Paris, : 125.
- FORGHANI, A.H., 1964. Le massif granitique de Bordères (Hautes Pyrénées) et son auréole métamorphique. Thèse Doct. Univ., Paris : 94 pp.
- FORGHANI, A.H., 1965. Sur la structure annulaire du massif éruptif de Bordères (Hautes Pyrénées). C.R. Acad. Sc., 260 : 6943-6945.
- KLEINSMIEDE, W.F., 1960. Geology of the Valley de Aran (Central Pyrenees). Leidse Geol. Med., 25 : 129-247.
- LETERRIER, J., 1968. La structure du massif granitique de Querigut (Ariège) : un type intermédiaire entre les structures concentriques et les structures stratoïdes. C.R. Ac. Sc., 266 : 1928-1930.
- LETERRIER, J., 1972. Etude pétrographique et géochimique du massif granitique de Querigut. Sc. de la Terre, Nancy, Mém. 23.
- MEY, P.H.W., 1967. The geology of the Upper Ribagorzana and Baliera Valleys (Central Pyrenees). Leidse Geol. Med., 41 : 153-220.
- MEY, P.H.W., 1968. Geology of the Upper Ribagorzana and Tor Valleys (Central Pyrenees). Leidse Geol. Med., 41 : 229-292.
- MICHARD-VITRAC, A., ALBAREDE, F. & DUPUIS, Ch., 1979. Implications génétiques des compositions isotopiques en Sr, Pb et O dans la série gabbro-granodiorite-granite du Massif de la Maladeta (Pyrénées centrales). 7ème Réunion annuelle des Sciences de la Terre, Lyon : 328.
- VINCHON, Ch., 1977. Contribution à l'étude pétrographique du Silurien des Pyrénées centrales espagnoles (Région du Rio Esera, Province de Huesca et région de Llavorsi, Province de Lerida). Diplôme d'Etudes Approfondies, Lille, 86 pp.
- WATERLOT, M., 1964. Note préliminaire à l'étude géologique du syndinorium du Plan des Etangs (Pyrénées centrales espagnoles). Ann. Soc. geol. Nord., 84 : 73-78.
- WENNEKERS, J.H.N., 1968. The geology of the Esera Valley and the Lys-Caillouas massif, Central Pyrenees, Spain-France. Leidse Geol. Med., 41 : 221-267.
- ZANDVLIET, J., 1960. The geology of the Upper Salat and Pallaresa Valleys, Central Pyrenees, France-Spain. Leidse Geol. Med., 25 : 1-127.