Les massifs cristallins externes - Géologie alpine, t.63, 1987

INTERACTIONS CROUTE-MANTEAU ET GENESE DU PLUTONISME SUBALCALIN DU HAUT-DAUPHINE OCCIDENTAL (massifs cristallins externes, Alpes) : vaugnérites, durbachites et granitoïdes magnésio-potassiques

Par Gilles BANZET *

Résumé

Bien que des rééquilibrations avec la croûte continentale aient pu intervenir à divers stades de leur évolution, l'affinité lamproïtique des vaugnérites et des durbachites de la ceinture plutonique hercynienne du Haut-Dauphiné occidental est manifeste (notamment si on se réfère à la distribution de leurs terres rares) et rend compte de la majorité des particularités chimiques de ces plutonites. Elles se rapprochent en effet fortement, tant du point de vue des éléments majeurs que de celui des éléments en traces, des lamproïtes de type méditerranéen (classification de Foley et al., 1987), dont les lamproïtes miocènes du SE de l'Espagne sont des représentants types et pour lesquels l'intervention d'une contamination crustale n'a d'ailleurs pas été exclue (e.g. Venturelli et al., 1984a; Mitchell et al., 1987).

L'intime association de ces plutonites d'origine mantellique à des granitoïdes (adamellites et granites s.s.), présentant eux-mêmes des affinités vaugnéritiques (richesse en MgO, K2O, Ba, Sr, U, Th et terres rares légères; relation MgO > CaO), ne peut refléter une série de différenciation continue. Fondamentalement, il y a bimagmatisme acide et basique (e.g. majeurs, traces, isotopes du strontium). L'apparente consanguinité de l'ensemble des faciès ne serait ainsi qu'une conséquence de processus interactifs très poussés à des niveaux profonds entre magmas lamproïtiques et magmas granitiques alumineux d'origine crustale, hypothèse rejoignant les conclusions d'autres auteurs au sujet de la genèse de ce type d'associations acides et basiques à caractère magnésio-potassique (e.g. Sabatier, 1984). Les termes de composition intermédiaire, très abondants dans deux des plutons étudiés (les adamellites y étant en contrepartie beaucoup plus subordonnées), pourraient justement représenter des témoins de telles hybridations prononcées et non des faciès essentiellement issus d'une simple différenciation des magmas basaltiques Mg-K.

Il est également suggéré que la variabilité des rapports 87Sr/86Sr initiaux (généralement élevés) des termes les plus sombres traduit davantage une hétérogénéité de leur source mantellique métasomatisée (pour laquelle il existe des arguments en faveur de la présence d'un composant crustal) que le jeu de rééquilibrations ultérieures, ces rapports pouvant être supérieurs à ceux des faciès acides, beaucoup plus homogènes.

Abstract

The vaugnerites and durbachites from the Hercynian plutonic belt of the western Haut-Dauphiné have a lamproitic affinity specially well marked in their REE patterns. Their major and trace elements compositions are very similar to those of the lamproite of Mediterranean type such as the Miocene lamproites of SE Spain. For these, crustal contamination has been suggested. Similarly reequilibration with continental crust may have occurred at different

* Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy

stages of the evolution of the Haut-Dauphiné ones.

This first group of rocks of mantellic origin is intimately associated with adamellites and granites having themselves vaugneritic affinities in their MgO, K2O, Ba, Sr, U, Th and LREE abundance and MgO dominant over CaO. However the two groups cannot derive from one another by a continuous differentiation process; they form a basic and acid association fundamentaly bimagmatic as can be shown by the study of major and trace elements and Sr isotopes. The apparent consanguinity of the two groups probably results from large interactions at deep level between the lamproitic magmas and the aluminous granitic magmas of crustal origin. Rocks having an intermediate composition are very abundant in two of the studied plutons where they could represent such products of hybridization between the two fundamental magmas.

The acid group presents Sr isotope ratios that are often lower but much more homogeneous than those of the mafic group. It is suggested that the variable and generally high Sr isotope ratios of the darkest terms result more from the heterogeneity of their metasomatised source in the mantle than from later reequilibrations at crustal level.

I - INTRODUCTION

L'étude porte sur un ensemble de six plutons intrusifs hercyniens (Colle-Blanche, Moutières, Grun et Péou de Saint-Maurice, Rochail et Quatre-Tours) qui dessinent une ceinture orientée NW-SE bordant l'Ouest du massif du Haut-Dauphiné (i.e. Ecrins-Pelvoux, Alpes occidentales françaises). Ces plutons recoupent et oblitèrent très souvent les relations des deux grands ensembles métamorphiques constituant le socle du massif: (a) un noyau polycyclique ancien (méso- à catazonal) dont l'histoire complexe est en partie masquée par la migmatitisation hercynienne (Pêcher, 1970; Le Fort et Pêcher, 1971; Le Fort, 1973); (b) une zone corticale moins migmatisée dont la structuration serait exclusivement varisque. A l'exception du granite porphyroïde assez homogène du Grun de Saint-Maurice (e.g. Le Fort, 1973; Gidon et al., 1980), ces plutons sont constitués d'une association de termes sombres, riches en amphibole et biotite, et de termes clairs, subleucocrates à leucocrates, à biotite (e.g. Michel et Buffière, 1963a et b; Le Fort, 1970, 1973; Boisset et al., 1984; Boisset, 1986)). Leur gisement et surtout leurs proportions relatives évoluent largement du Sud au Nord de la ceinture (cf. Banzet, en préparation). Dans le détail, il s'agit de roches très diversifiées, fortement potassiques et magnésiennes, à l'image de nombreux complexes subalcalins hercyniens (e.g. plutons des Ballons, Pagel et Leterrier, 1980; Pagel, 1981; André, 1983; des Crêtes, Hameurt, 1968; Gagny, 1968; Fluck, 1980; Pagel, 1981; association magnésio-potassique corse, Orsini, 1980; Cocherie, 1978, 1985; Rossi, 1986; associations vaugnérites-granites Mg-K du Massif central, e.g. Couturié, 1977; Michon, 1979; Sabatier, 1980, 1984). Les faciès les plus sombres présentent les caractères minéralogiques et chimiques typiques des vaugnérites ou des durbachites. De telles affinités ont déjà été signalées dans le Haut-Dauphiné par Michel et Buffière (1963a) à propos de la célèbre "syénite du Lauvitel" en enclaves dans le granite du Rochail. A l'échelle du massif du Pelvoux, il existe ainsi une association acide et basique magnésio-potassique caractéristique de sa marge occidentale. Ces affinités persistent plus au Nord, en particulier dans le massif de Belledonne: Saint-Colomban les Villards et Lauzière notamment (e.g. Gasquet, 1979; Poncerry, 1981; Negga, 1984; Aumaître et al., 1985; Vivier et Ploquin, ce volume), et le massif des Grandes Rousses: granites de La Fare et de Roche Noire (e.g. Giorgi, 1979; Boisset, 1986; Vittoz, travaux en cours); ainsi que la série volcanique stéphanienne (Banzet et al., 1985).

Selon certains auteurs (e.g. Foley et al., 1987), vaugnérites et durbachites dérivent d'une fusion partielle de croûte continentale inférieure, notamment au regard de leur fréquente association à des granitoïdes, et représenteraient des cumulats de magmas granodioritiques ou monzodioritiques (e.g. Gagny, 1978; Bellanger, 1980; Fluck, 1980; André, 1981; Cocherie, 1985). Pour d'autres, ces roches sont issues d'une remobilisation de résidus anatectiques crustaux (e.g. Couturié, 1977; Gil Ibarguchi, 1981; Gil Ibarguchi et al., 1984). A l'opposé, on peut être tenté de considérer ces plutonites particulièrement enrichies en éléments in-

compatibles comme étant directement issues d'un manteau métasomatisé (i.e. à phlogopite), lui-même enrichi en ces éléments. Une telle hypothèse permet en effet de rendre compte d'un bon nombre de leurs particularités chimiques, en premier lieu de l'antagonisme de leurs affinités mantellique (richesse en MgO, Cr et Ni) et crustale (richesse en K2O, Rb, Ba, U, Th, terres rares légères ...). Elle rejoint en outre celle de l'origine d'autres roches ultrapotassiques, notamment les lamproïtes et une partie des minettes, et d'une façon plus générale l'origine des laves shoshonitiques. Leur genèse par suite d'interactions entre magmas basaltiques dérivés du manteau et la croûte continentale est en définitive l'alternative couramment admise (e.g. Albarède et Weisbrod, 1982; Sabatier, 1984; Rossi, 1986; Montel et Weisbrod, 1986) et rejoint les hypothèses les plus souvent avancées à propos des termes basiques des associations subalcalines potassiques (e.g. Barrière, 1977; Pagel et Leterrier, 1980; Albarède et al., 1980; Fourcade, 1981, Pagel, 1981) et calcoalcalines hercyniennes (e.g. Leterrier, 1972; Debon 1975, 1980; Fourcade et Allègre, 1981; Cocherie et al., 1984; Cocherie, 1985; Rossi, 1986; Ohnenstetter et Rossi, 1987). On tente ici de le démontrer en particulier sur la base d'arguments concernant la répartition de certains éléments en traces (Sr, Ba) en fonction d'index de différenciation ou d'éléments très hygromagmaphiles (Th), la distribution des terres rares, ainsi qu'une étude isotopique du strontium.

II - RAPPEL DES PRINCIPAUX CARACTERES PETROGRAPHIQUES ET GEOCHIMIQUES

Les plutons de Colle-Blanche et Moutières présentent une large proportion de termes sombres, basiques et intermédiaires, très hétérogènes dans le détail. Il existe un faciès dominant (quartz-monzonite), à amphibole et biotite, souvent orienté, renfermant des enclaves de matériel plus sombre, de taille (déci- à hectométrique), de texture et de composition variées (monzonites, quartz-monzodiorites). Les bordures des plus grandes sont fréquemment dilacérées et recoupées par un lacis issu de la matrice. Les termes clairs (adamellites à biotite ou plus rarement à deux micas), beaucoup plus subordonnés, sont sous forme de bouffées ou de filons à épontes sécantes mais souvent sinueuses à l'intérieur des faciès sombres (e.g. Le Fort, 1973). Ce mode de gisement suggère une mise en place globalement synchrone des termes acides et basiques. De rares filons tardifs d'un faciès leucocrate à deux micas (granite s.s.) recoupent l'ensemble.

Dans les plutons du Péou, du Rochail et des Quatre-Tours, les termes clairs, très dominants ici, sont là encore constitués d'une adamellite, relativement homogène, le plus souvent à deux micas et généralement orientée. Le matériel basique y forme des essaims d'enclaves ou des masses isolées d'extension variable (déca- à hectométrique). Les bordures de ces dernières sont souvent dilacérées en enclaves effilochées (fractionnement mécanique, e.g. Boisset et al., 1984; Boisset, 1986) et sont localement recoupées par des filons sinueux issus de la matrice acide. Les enclaves des essaims, arrondies ou en fuseaux étirés dans le plan de fluidalité de leur matrice, indiquent que les deux matériaux ont coexisté à l'état magmatique et qu'ils se sont mis en place et ont cristallisé au moins partiellement de façon synchrone. Certaines d'entre elles (Péou) présentent des "nids" amphibolo-biotitiques dilacérés et envahis par une fraction quartzo-feldspathique pouvant provoquer une recristallisation de la biotite. Ces enclaves de composition particulière (notamment enrichie en silice) témoignent d'interactions prononcées entre enclave et matrice adamellitique autres que de simples mélanges mécaniques (e.g. Otto et Wimmenauer, 1973; Maury et al., 1978; Leterrier et Debon, 1978; El Mouraouah et al., 1987).

Les grandes masses basiques sont les termes les plus représentatifs du magmatisme vaugnéritique. Dans le cas du Péou, ce sont essentiellement des stavrites (vaugnérites holomélanocrates à caractère cumulatif au sens de Palm, 1954; Sabatier, 1980, 1984), constituées d'une trame d'amphibole (hornblende actinolitique-actinote) et de biotite phlogopitique cimentée par du plagioclase acide (andésine-oligoclase), parfois associé à un peu de feldspath potassique. Elles sont particulièrement riches en apatite. Des faciès identiques sont également présents dans Colle-Blanche. Leurs teneurs souvent très élevées en MgO, Cr et Ni (pouvant respectivement atteindre 21%, 2100 et 700 ppm) attestent en partie de leur caractère cumulatif (amphibole et biotite). Ni est aussi concentré dans les sulfures (pyrite et pyrrhotite), abondants dans ces roches comme dans l'ensemble des autres faciès acides et basiques.

Les enclaves du Rochail ("syénite du Lauvitel")

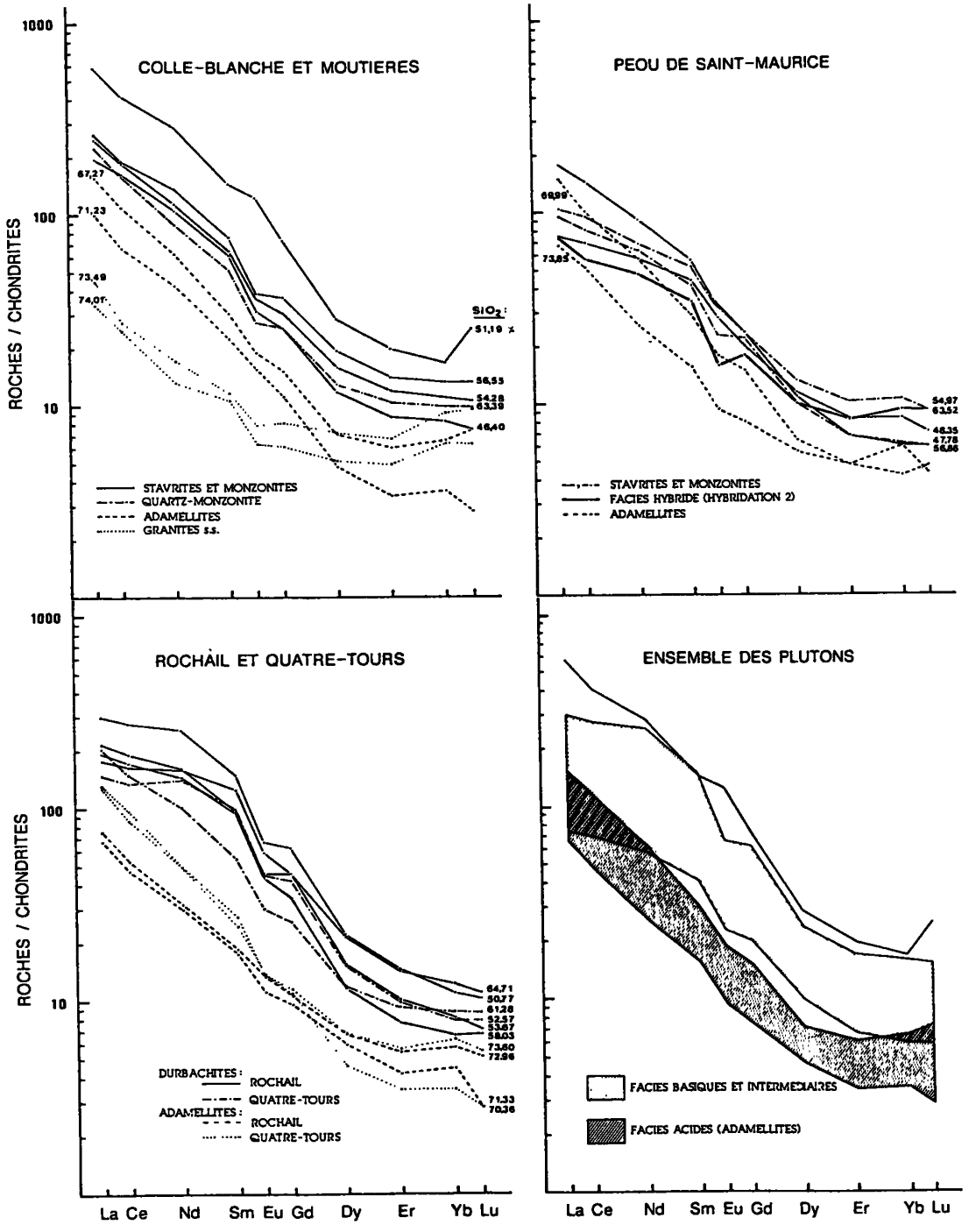

Fig. 1 : **Spectres de terres rares des principaux faciès de chaque pluton et domaines de variation pour l'ensemble des plutons.** Valeurs de normalisation aux chondrites de Evensen *et al.* (1978). Noter l'absence de corrélation entre les concentrations en terres rares et les teneurs en SiO_2 des termes basiques et intermédiaires.

Fig. 1 : **REE patterns of the main rock facies distinguished within the different plutons and comprehensive representation.** The data are normalized to chondrite values given by Evensen *et al.* (1978). Notice the lack of correlation between REE and SiO_2 contents for basic and intermediate rocks.

et des Quatre-Tours se rapprochent beaucoup plus des durbachites des Vosges et de Bohème (Hameurt, 1968; Holub, 1977; Gagny, 1978; Fluck, 1980; André, 1981, 1983) en raison de leur richesse en feldspath potassique développé en larges plages très poecilitiques (K2O atteint plus de 8%). Elles sont aussi très riches en sphène, alors que ce minéral est absent des stavrites des autres plutons, ce fait étant à mettre en rapport avec leurs teneurs en TiO2 plus élevées (1,4 à 2,5% dans les termes les plus sombres).

Dans l'ensemble des faciès basiques et intermédiaires étudiés, les symplectites quartz-amphibole résultant du remplacement d'un ancien pyroxène sont peu fréquentes. Il existe cependant (dans Colle-Blanche et Péou) de rares enclaves basiques de grande taille, à texture doléritique, constituées d'augite titanifère, d'ilménite abondante et de lattes de plagioclase calcique, le tout cimenté par de la biotite titanifère, mais la composition chimique particulière de ces enclaves gabbroïques (leur caractère ferrifère notamment) suggère qu'elles sont totalement étrangères au reste de l'association magnésio-potassique.

La bimodalité acide-basique est nette dans un certain nombre de représentations multicationiques (cf. Banzet, en préparation), en particulier le diagramme A-B (classification chimico-minéralogique de Debon et Le Fort, 1983) ou A (Al-K-Na-2Ca) est un index classique d'aluminosité et B (Fe+Mg+Ti) un paramètre proportionnel à la charge en minéraux colorés. Pour chaque pluton, adamellites et granites constituent en effet systématiquement une association peralumineuse indépendante des faciès basiques et intermédiaires (associations cafémiques à alumino-cafémiques). C'est un des arguments permettant de considérer qu'il y a bien bimagmatisme acide et basique et non série de différenciation unique par cristallisation fractionnée, et ce malgré une certaine consanguinité démontrée par nombre de particularités chimiques communes. En effet, outre leur caractère magnésien, les faciès acides et basiques ont des teneurs particulièrement élevées en Ba et Sr, des enrichissements forts en terres rares légères (fig.1), ainsi qu'un caractère uranifère et thorifère accentué, signature de leur affinité subalcaline potassique.

Cette affinité est renforcée au niveau des paragenèses accessoires. Les minéraux porteurs des terres rares, de l'uranium et du thorium présents dans la majorité des termes basiques et intermédiaires sont en effet typiquement l'association zircon + apatite + sphène + allanite + urano-thorite, caractéristique des complexes subalcalins (Pagel, 1981; Pagel 1982a et b; Cuney et Friedrich, 1987). Au sein des adamellites existent essentiellement deux types de paragenèses. La première à zircon, apatite, monazite, rutile, ± U-thorite (Péou, Rochail et Quatre-Tours notamment) suggère que sphène et allanite sont ici remplacés par le couple monazite - rutile en raison d'une activité plus faible du calcium (Cuney et Friedrich, 1987; Negga et Cuney, en préparation), CaO moyen variant de 0,87 à 0,30%. La seconde paragenèse que l'on rencontre dans les adamellites les plus sombres (à biotite seule; CaO moyen = 0,92%) de Colle-Blanche et Moutières, est à allanite tardive assez abondante et en conséquence à monazite rare ou absente. Le granite porphyroïde du Grun se singularise par une paragenèse à zircon, apatite, rutile, anatase, ± U-thorite, ± uraninite, monazite, tourmaline et parfois grenat, caractéristique des monzogranites intrusifs alumineux de type Margeride (e.g. Pupin et al., 1978).

III - GEOCHIMIE DES TERRES RARES ET ORIGINE DES MAGMAS

Le dosage des terres rares a été réalisé sur un spectromètre d'émission équipé d'une source à plasma induit (ICP, Govindaraju et Mevelle, 1987). Les concentrations et les profils très typés des principaux faciès de chaque pluton (fig.1) sont là encore une étroite signature de leur affinité subalcaline potassique (e.g. Pagel, 1981), se traduisant par des enrichissements importants, voire considérables en terres rares légères (La atteint 600 fois les chondrites), des spectres assez régulièrement fractionnés (Cocherie, 1978; Fourcade, 1981) et des anomalies négatives en Eu restant faibles à modérées quel que soit le degré de différenciation. Bien que l'évolution des concentrations et des profils rappelle fortement celle décrite par Cocherie (1985) à propos de l'association magnésio-potassique très comparable de Corse occidentale, on ne peut envisager le cogénétisme de l'ensemble des faciès acides et basiques. En effet, les adamellites pouvant être plus enrichies que leurs enclaves vaugnéritiques en terres rares légères (Péou, fig.1; Rochail, données non reportées ici de P. Vittoz, thèse en cours), il y a manifestement ici impossibilité d'obtenir de tels profils enrichis par suite d'un simple processus de

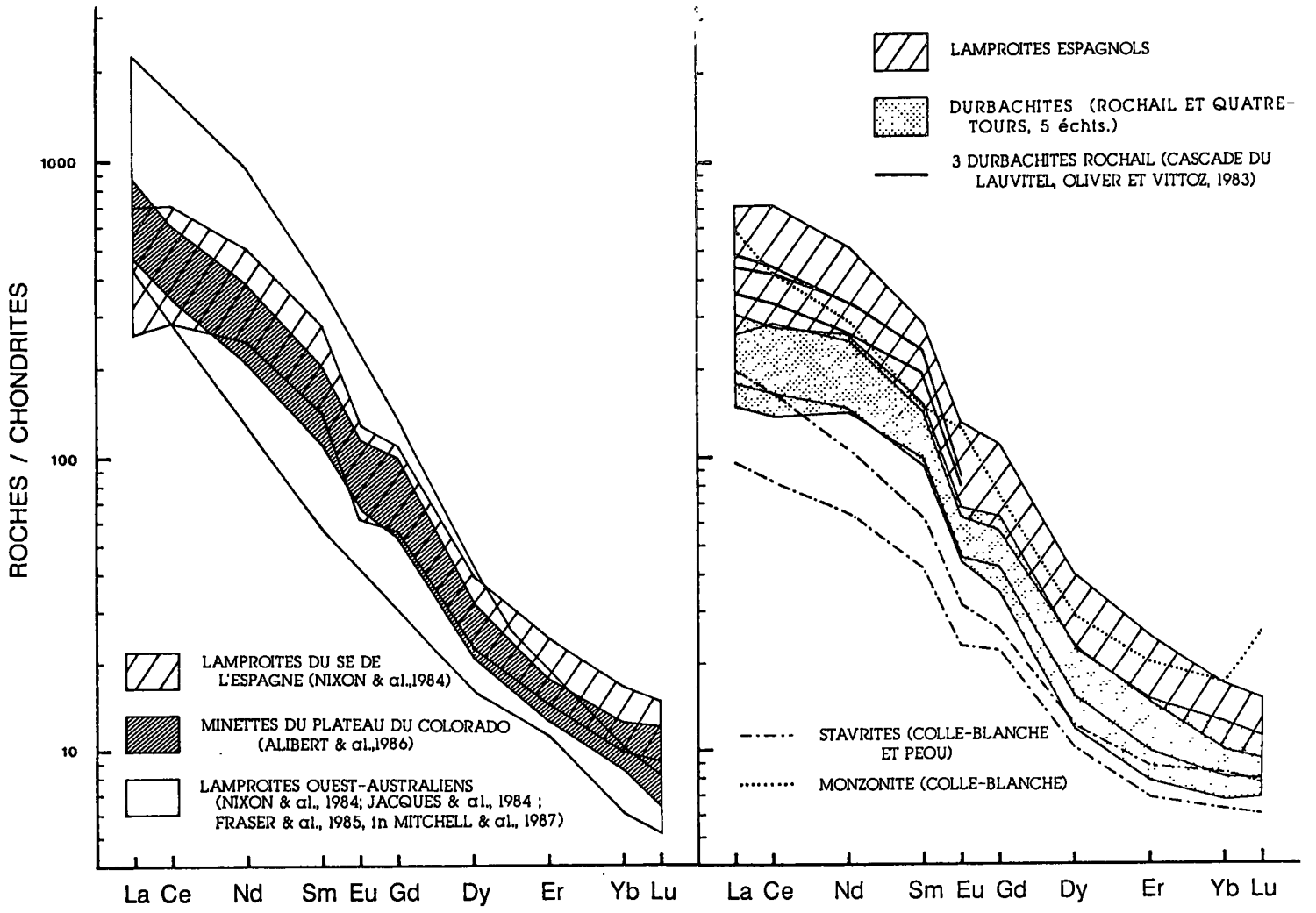

Fig. 2 : **Profils de terres rares normés aux chondrites de différents lamproïtes et des minettes du plateau du Colorado.** Comparaison avec les durbachites et les stavrites analysées.

Fig. 2 : **REE patterns of lamproites and minettes from the Colorado Plateau.** Comparaison with the analysed durbachites and stavrites.

différenciation magmatique si l'on tient compte des spectres obtenus sur minéraux accessoires séparés (cf. Banzet, en préparation).

Les plutonites les plus sombres (stavrites de Colle-Blanche et Péou) ont des affinités lamproïtiques, notamment des teneurs relativement basses en Al2O3, CaO et Na2O pouvant refléter une source mantellique initialement appauvrie et/ou une contribution importante du phlogopite au moment de leur genèse (e.g. Venturelli et al., 1984a et b; Foley et al., 1987; Mitchell et al., 1987). Bien que leurs concentrations très élevées en MgO, Cr et Ni soient couramment du même ordre que celles des lamproïtes à olivine (e.g. Jaques et al., 1984; Nixon et al., 1984), des différences majeures entre ces stavrites et les lamproïtes sont en général leurs teneurs nettement plus faibles en TiO2 (< 1%) et un enrichissement moindre en éléments lithophiles, spécialement Ba, Sr, Zr, Nb et terres rares légères (fig.2).

En raison de leurs concentrations plus fortes en SiO2, K2O, TiO2, Rb et terres rares légères, les durbachites (Rochail et Quatre-Tours) se rapprochent davantage des lamproïtes à leucite, en particulier de la région de Kimberley (e.g. Jaques et al., 1984), mais ces derniers sont cependant là encore souvent beaucoup plus enrichis en TiO2, Ba, Zr et Nb. Ces durbachites sont par contre très proches, tant du point de vue des éléments majeurs que de celui des éléments en traces, des lamproïtes miocènes du Sud-Est de l'Espagne (e.g. Venturelli et al., 1984a; Nixon et al., 1984) et des lamprophyres ultrapotassiques oligocènes des Alpes nord-occidentales (Dal-Piaz et al., 1979; Venturelli et al., 1984b), regroupés sous le nom de lamproïtes de type méditerranéen dans la classification de Foley et al. (1987). Une étroite similitude apparaît au niveau des profils de terres rares (fig.2) où à la fois les durbachites analysées et les lamproïtes espagnols (données de Nixon et al., 1984) ont des spectres incurvés, concaves vers le haut entre La et Sm. Les spectres de ces durbachites, de même que ceux de l'ensemble des termes basiques et intermédiaires des autres plutons (fig.1), montrent par ailleurs quasi-systématiquement une légère anomalie négative en Eu, indépendante des teneurs en MgO. Une telle anomalie, également présente dans les lamproïtes de type méditerranéen ainsi que dans un certain nombre d'autres roches ultrapotassiques (e.g. Hawkesworth et Vollmer, 1979; Peccerillo et al., 1984; Rogers et al., 1985; Alibert et al., 1986), semble ne pouvoir refléter qu'une caractéristique de la région source des magmas. Alibert et al. (1986) démontrent, sur la base d'arguments isotopiques, qu'elle traduit l'existence d'un composant crustal au niveau de la source mantellique des minettes du plateau du Colorado. Ces auteurs concluent au recyclage de sédiments terrigènes ou pélagiques subductés dont la fusion produit des liquides siliceux susceptibles d'induire des anomalies négatives en Eu étendues et durables au sein du manteau. Les profils de terres rares des durbachites de Tchécoslovaquie (Holub, 1977) peuvent également présenter une légère anomalie négative en Eu et montrent eux aussi une rupture de pente marquée à partir de Sm résultant d'un plus faible fractionnement des terres rares légères.

Un manteau (initialement appauvri ou non) préalablement (ré)-enrichi en éléments incompatibles est le matériau source des roches ultrapotassiques le plus couramment admis (e.g. Wendlandt et Eggler, 1980; Wendlandt, 1984; Schneider et Eggler, 1984; Peccerillo et al., 1984; Foley et al., 1986, 1987; Mitchell et al., 1987; Esperança et Holloway, 1987) ainsi que celui généralement préconisé dans les modèles de genèse des roches shoshonitiques (e.g. Dostal et al., 1977a et b; Dupuy et al., 1977; Thorpe et Francis, 1979; Thorpe et al., 1986; Thompson et Flower, 1986; Varekamp et al., 1986). C'est en particulier la source des lamproïtes de type méditerranéen (Venturelli et al., 1984a et b; Nixon et al., 1984; Foley et al., 1987). Dans le cas présent, les durbachites (comme l'ensemble des autres plutonites basiques analysées) ont des terres rares lourdes modérément fractionnées, comparées aux lamproïtes types notamment (e.g. ouest-australiens, fig.2), ce qui tend à exclure une source où le grenat est en quantité importante (e.g. Nixon et al., 1984). En conséquence, les magmas initiaux à l'origine de ces roches dérivent sans doute d'un manteau lherzolitique à spinelle, métasomatisé (i.e. à phlogopite). Il est très probable que le potassium et autres éléments incompatibles remobilisés soient largement issus de matériel crustal subducté (e.g. Venturelli et al., 1984b; Rock et al., 1986; Alibert et al., 1986), leurs anomalies systématiques en Eu étant une signature de la présence d'un tel composant. L'intervention d'une contamination crustale lors de l'ascension de ces magmas mantelliques ne peut cependant être totalement exclue (elle ne l'est pas non plus dans le cas des lamproïtes espagnols, (e.g. Larouzière et Bordet, 1983; Venturelli et al., 1984a; Larouzière, 1985; Bordet, 1985; Mitchell et al., 1987) si on prend en

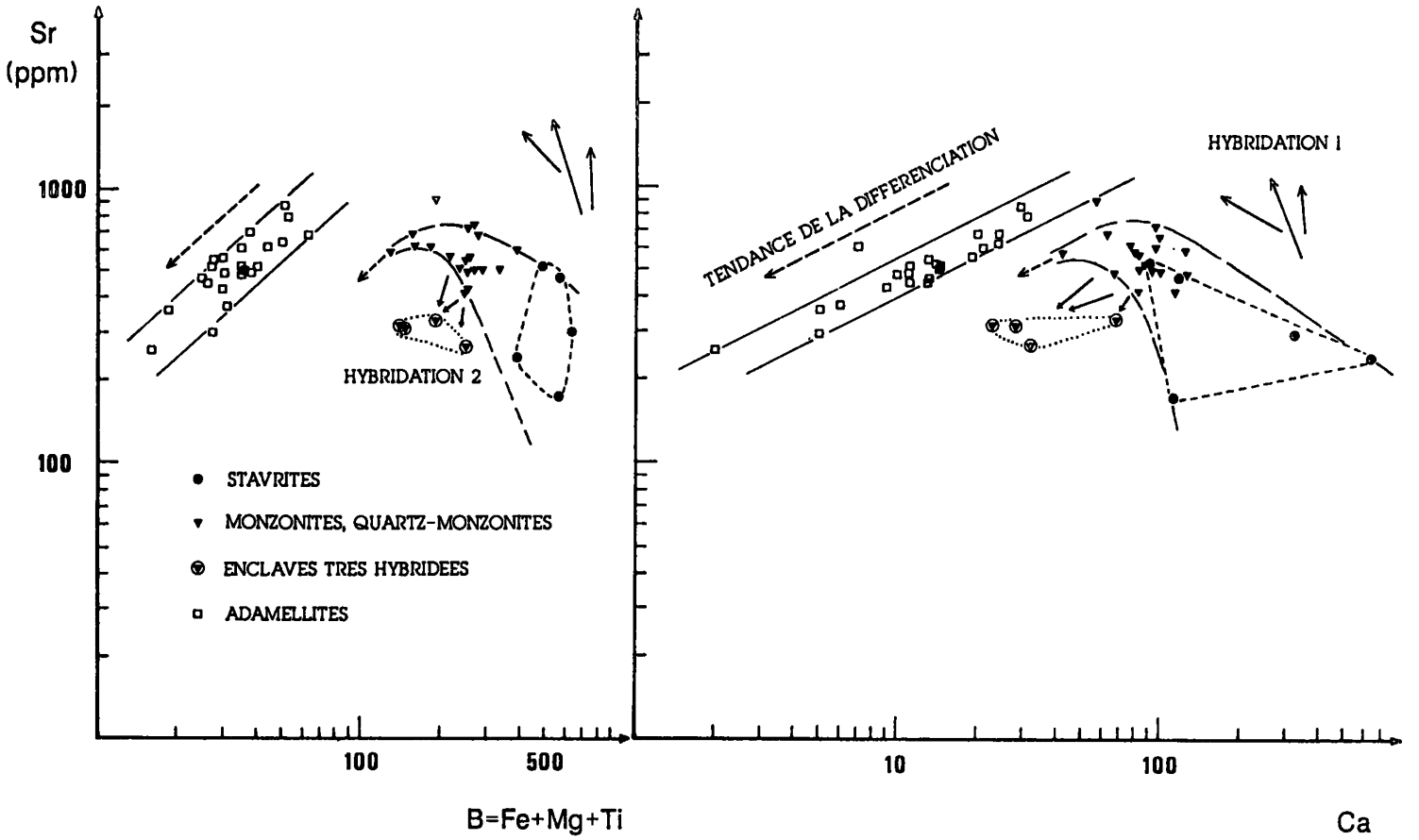

Fig. 3 : **Variation de Sr en fonction de Ca et du paramètre B=Fe+Mg+Ti sur l'exemple du pluton du Péou de Saint-Maurice.** Seuls les faciès intermédiaires les plus siliceux montrent une évolution comparable à celle des faciès acides (*i.e.* compatible avec un fractionnement du plagioclase). Dix analyses nous ont été communiquées par P. Vittoz (thèse en cours, Grenoble).

Fig. 3 : **Plots of the Péou de St. Maurice pluton in the Sr *vs.* B=Fe+Mg+Ti and Ca diagrams.** B (expressed in millications) is proportional to the dark minerals weight content in common granitic rocks (La Roche, 1964). Only the more siliceous intermediate facies display an evolution similar to that of acidic facies (*viz.* an evolution compatible with a plagioclase fractionation). Ten analyses has been provided by P. Vittoz (thesis in progress, Grenoble).

compte la forme incurvée de leurs spectres de terres rares légères. De tels spectres sont en effet appauvris en La et, de façon relative, enrichis en Ce et Nd comparés aux spectres des lamproïtes types (e.g. ouest-australiens) dont le fractionnement de l'ensemble des terres rares est beaucoup plus régulier. Il en découle de plus faibles rapports La/Yb qui traduisent soit un réel déficit en La de la région source de ces roches, soit une contamination par un matériel crustal relativement riche en terres rares lourdes et de concentration totale faible en terres rares (e.g. amphibolites). Ce dernier processus doit en effet entraîner un aplatissement des profils (e.g. Fresq et al., 1975; Cullers et al., 1982). Pour Mitchell et al. (1987), une telle contamination crustale est la cause la plus probable de ce type de distribution inhabituel des terres rares.

Les stavrites et vaugnérites des autres plutons (de teneurs en terres rares légères souvent plus faibles, fig.1 et 2) sont les témoins de magmas basiques initiaux plus pauvres en éléments incompatibles, sans pour autant que leur source diffère foncièrement de celle des durbachites précédentes (source hétérogène ou source identique ayant subi un taux de fusion plus élevé). C'est parmi ces roches qu'il existe les indices les plus nets d'une contamination crustale, en particulier si on se réfère aux faciès les plus enrichis en terres rares, qui tendent justement à posséder aussi les teneurs en Ba, Sr et Th les plus élevées. Ces roches (dans Colle-Blanche et Moutières notamment, fig.1) peuvent en outre être sensiblement plus pauvres en MgO (éventuellement CaO) et surtout en Cr et Ni que ne le sont, pour des teneurs équivalentes en SiO_2, les plutonites basiques moins enrichies en incompatibles qui les accompagnent. Ces particularités témoignent d'échanges dans les deux sens entre les magmas basaltiques initiaux et la croûte continentale (leurs modalités sont précisées au chapitre suivant).

Les profils des adamellites de l'ensemble des plutons, assez typés (fig.1), sont enrichis en terres rares légères, qui sont en général plus fractionnées que dans les termes basiques. La chute des concentrations de l'ensemble des terres rares parallèlement à l'augmentation des teneurs en SiO_2 (ou de la diminution du paramètre B=Fe+Mg+Ti) est à mettre en rapport avec un fractionnement des principaux minéraux accessoires présents dans ces roches (apatite, zircon, allanite et/ou monazite), alors qu'une telle évolution n'existe pas nécessairement au sein des termes basiques de chaque pluton, ce qui peut indiquer l'intervention de processus de contamination crustale en profondeur et éventuellement d'hybridations entre enclaves et matrice durant leur mise en place synchrone (cf. IV et V).

IV - DISTRIBUTION DES ELEMENTS LITHOPHILES ET CONTAMINATION CRUSTALE

Dans les diagrammes binaires opposant Sr à B=Fe+Mg+Ti (paramètre proportionnel à la charge en minéraux colorés) et à Ca (fig.3), l'évolution des termes acides de chaque pluton est compatible avec un processus de différenciation magmatique (corrélation positive reflétant en particulier un fractionnement du plagioclase allant de pair avec celui des ferromagnésiens). Par contre, les termes basiques et intermédiaires, qui occupent généralement un domaine bien individualisé, montrent une corrélation inverse, excepté au niveau des faciès les plus siliceux.

Le strontium décroît habituellement avec la différenciation (cet élément a classiquement un comportement analogue au calcium) aussi bien dans les séries plutoniques (e.g. Duthou, 1977; Demeulemester, 1982; Debon et Le Fort, 1983) que les séries volcaniques, y compris shoshonitiques (e.g. Dupuy et Lefèvre, 1974; Déruelle, 1982). Au sein des adamellites, la décroissance de Sr, Ba, Ce et Th lorsque le paramètre B diminue (fig.3 à 5) reflète essentiellement un fractionnement des feldspaths et des minéraux accessoires (allanite et/ou monazite, apatite, thorite). Une telle évolution est en particulier observée dans les monzogranites des Ballons et des Crêtes (e.g. Pagel et Leterrier, 1980; Pagel, 1981).

En ce qui concerne les termes basiques, le plagioclase présente fréquemment un caractère tardif dans les plutonites les plus sombres où il occupe une position intercumulus, ce qui indique qu'il n'a pu fractionner dans des proportions importantes au cours de leur évolution. Il est donc possible que le strontium ait acquis un comportement incompatible durant les premiers stades de la différenciation de ces faciès. Un tel comportement a été signalé lorsque justement le plagioclase n'intervient pas dans la cristallisation fractionnée (e.g. Allègre et al., 1977). Par ailleurs, les termes basiques les plus enrichis en Sr tendent à l'être également en Ba (fig.4), de sorte qu'on peut être tenté de relier

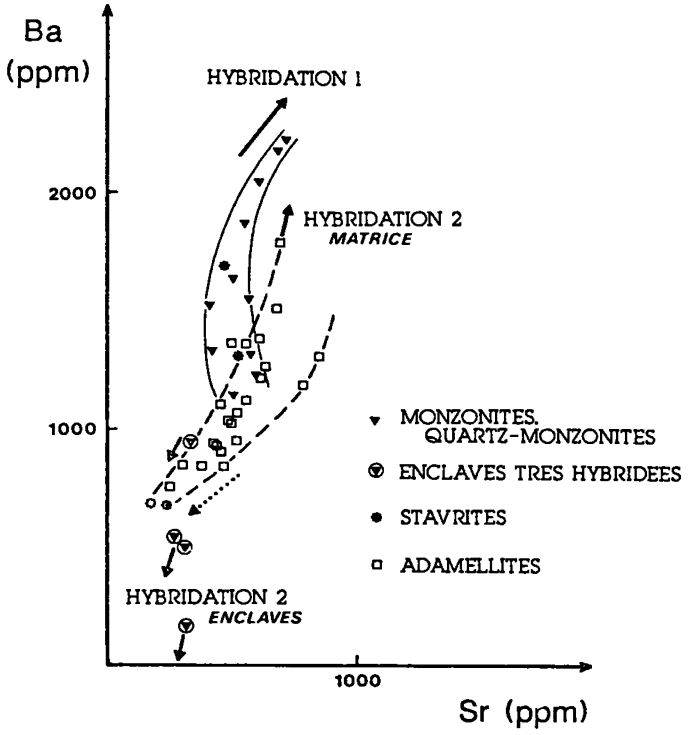

Fig. 4 : **Diagramme Ba *vs.* Sr pour les faciès du Péou de Saint-Maurice.** Il montre en particulier le déplacement des points représentatifs des enclaves les plus hybridées en direction des faibles valeurs de Ba et de Sr et le déplacement opposé de leur matrice (hybridation 2). La flèche en pointillé indique la tendance de différenciation des faciès acides.

Fig. 4 : **Plots of the Péou de St. Maurice facies in an Ba *vs.* Sr diagram.** Notice, in particular, the shift of the most hybridized enclaves towards the low Ba and Sr values and the opposite shift of their matrix (hybridization 2). The dotted arrow indicates the differentiation trend of the acidic facies.

l'abondance de ces deux éléments à la proportion de feldspath potassique présent dans la roche. Notons cependant que d'une part, des plutonites particulièrement enrichies en Ba et Sr ne montrent pas nécéssairement une telle corrélation (e.g. certaines granodiorites et tonalites d'Afghanistan, Debon et al., 1987) et que d'autre part, des minéraux tels que l'amphibole et l'apatite sont eux aussi susceptibles d'entraîner une chute des concentrations en Sr s'ils fractionnent lors de la différenciation des plutonites basiques étudiées. La distribution singulière du strontium au sein de ces faciès peut ainsi s'interprêter en considérant qu'une contamination crustale précoce (hybridation 1) des magmas basaltiques initiaux fut susceptible d'induire des enrichissements variables en Sr et éventuellement en d'autres éléments lithophiles (Ba, Th, U, terres rares légères).

Les interactions entre enclaves de petite taille et matrice adamellitique (hybridation 2; i.e. lors de leur mise en place synchrone, cf. chapitre II) entraînent surtout un appauvrissement significatif des enclaves les plus hybridées en CaO et éléments de transition, mais aussi en Ba, Sr, Th, terres rares légères et éventuellement K2O, au profit de leur matrice. Ce processus est en particulier très apparent pour Ba et Sr (fig.4) au niveau des enclaves les plus hybridées du Péou (un des plutons où le bimagmatisme est très tranché), enclaves qui sont en contrepartie enrichies en silice. Ces hybridations se traduisent ainsi par un déplacement opposé des points représentatifs des enclaves hybrides et de leur matrice lorsque celle-ci est échantillonnée à proximité immédiate (fig.4). Une évolution comparable a été décrite dans des associations plutoniques calcoalcalines (e.g. Debon, 1975; Leterrier et Debon, 1978). La nature de ces échanges tardifs s'oppose à celle des interactions envisagées plus haut, de sorte que l'on doit faire appel à au moins deux processus indépendants de contamination des magmas à l'origine des termes basiques. En outre, les adamellites ne peuvent directement dériver des liquides quartzo-feldspathiques responsables de l'enrichissement précoce éventuel (hybridation 1) de ces magmas basiques en éléments lithophiles.

Une étude typologique des populations de zircons (Banzet, en préparation) a permis la mise en évidence de rares zircons hérités ovoïdes, caractéristiques des granulites, dans un certain nombre d'échantillons basiques et intermédiaires, y compris une enclave durbachitique du Rochail. En conséquence, les magmas basaltiques initiaux, d'affinité lamproïtique, ont pu interagir avec une croûte granulitique antérieurement à leur incorporation aux magmas acides associés (dans lesquels les xénocristaux de zircon granulitique sont d'ailleurs exceptionnels: un cristal unique a été reconnu dans un échantillon granitique s.s. de Moutières). Lors de ces interactions précoces, on ne peut envisager des mélanges de grande ampleur de deux fractions acide et basique (hypothèse retenue à propos de la genèse de certaines laves shoshonitiques, e.g. Kontak al., 1986) étant donné qu'elles n'entraînent pas d'enrichissements notables des enclaves en silice et qu'en définitive les teneurs en SiO2 des termes basiques paraissant les plus contaminés, à l'issue de cette première hybridation, sont identiques ou même inférieures à celles d'échantillons beaucoup moins enrichis en incompatibles. Il semble donc que l'on soit en présence d'interactions complexes, principalement de type échanges sélectifs. De la même manière, les interactions ultérieures entre enclaves et matrice (hybridation 2) sont sans doute elles aussi liées à l'intervention d'une phase fluide étant donné que les unités basiques étaient déjà en partie consolidées au moment de leur incorporation aux magmas adamellitiques, comme en témoignent les fréquentes figures de fractionnement mécanique et les éventuelles figures de recristallisation dans les enclaves des essaims (cf. II).

Le caractère magnésien quasi-systématique des adamellites (Mg/Mg+Fe moyen = 0,46 à 0,54 selon les plutons) pourrait résider dans l'anatexie d'un niveau particulier de la croûte continentale, enrichi en magnésium (e.g. amphibolites). C'est notamment l'hypothèse retenue par Pagel (1981) pour le monzogranite des Ballons. Cependant, la richesse de ces adamellites en alcalins et en éléments en traces incompatibles s'oppose aux taux de fusion élevés nécessaires à l'obtention d'un tel caractère magnésien, inhabituel pour des compositions granitiques (Mg/Mg+Fe moyen = 0,34 pour les adamellites types référencées dans Debon et Le Fort, 1983), ainsi qu'à la distribution de leurs terres rares, une fusion partielle d'amphibolites banales ne pouvant classiquement conduire à des liquides dont les profils sont fortement fractionnés (e.g. Dostal et al., 1977b; Hanson, 1978, 1980; Graviou, 1984). Si une fusion faible à modérée de croûte profonde amphibolitique à grenat peut effectivement produire des magmas enrichis en terres rares légères (e.g. Martin, 1981; Graviou, 1984), cette fusion doit être relativement poussée

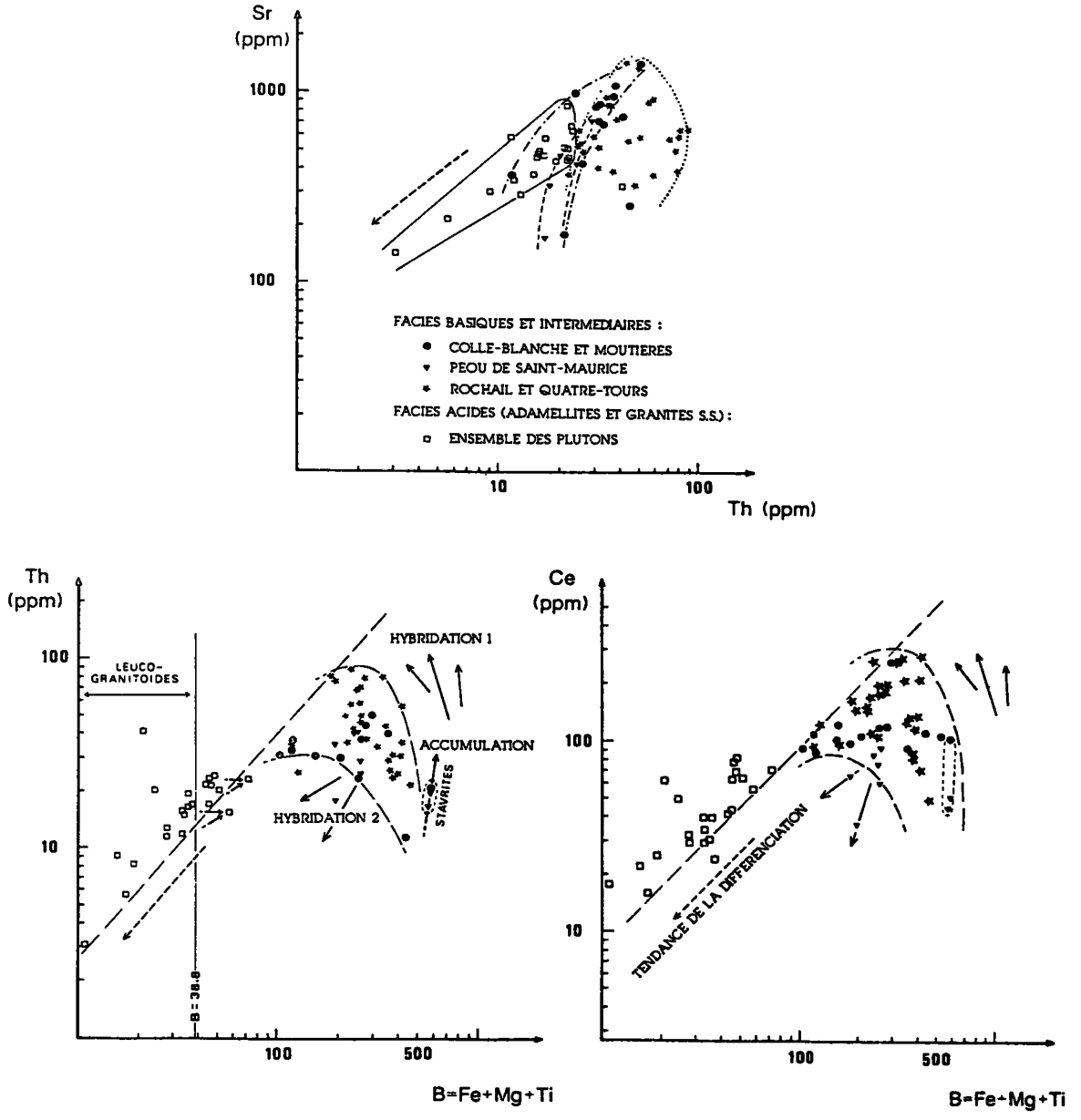

Fig. 5 : **Variation de Sr en fonction de Th et de Ce, Th en fonction du paramètre B=Fe+Mg+Ti pour l'ensemble des plutons.** Les évolutions très comparables de Th et de Ce *vs.* B indiquent que ces deux éléments sont étroitement contrôlés par les mêmes minéraux. Trente-quatre analyses correspondant à des échantillons du Rochail et du Péou de Saint-Maurice proviennent de P. Vittoz (thèse en cours, Grenoble).

Fig. 5 : **Plots of the different plutons in the three diagrams : Sr *vs.* Th, Th *vs.* B=Fe+Mg+Ti, and Ce *vs.* B=Fe+Mg+Ti.** The similarity of the Th and Ce behaviours shows that both elements are closely controlled by the same accessories. Thirty-four analyses of Rochail and Péou de St. Maurice plutons have been kindly provided by P. Vittoz (thesis in progress).

pour que de tels liquides acquièrent un caractère fortement magnésien (ce qui s'oppose là encore à leur enrichissement en incompatibles et au fractionnement de leurs terres rares), comme l'indique par exemple la distribution du fer et du magnésium entre restites et leucosomes des migmatites de la Dalle du Tibet (en particulier si on se réfère à la composition de leurs biotites, e.g. France-Lanord, 1987, Brouand, communication personnelle). On peut ainsi envisager l'intervention d'autres interactions prononcées entre magmas magnésio-potassiques et magmas quartzo-feldspathiques crustaux à l'origine des adamellites pour rendre compte du caractère magnésien de ces dernières. Cette hybridation majeure surviendrait à des niveaux profonds (probablement les régions sources des magmas alumineux), alors que les interactions tardives, ultimes hybridations plus superficielles, seraient contemporaines du démantèlement d'unités basiques durant l'ascension et la mise en place des corps plutoniques.

En résumé, vaugnérites et durbachites sont les témoins plus ou moins modifiés de magmas basaltiques vraisemblablement issus d'une fusion partielle de régions mantelliques métasomatisées et ont pu subir des interactions successives à des niveaux structuraux variés au cours de leur évolution dans la croûte, hypothèse en bon accord avec les conclusions d'autres auteurs (e.g. Holub, 1977; Sabatier, 1984). Pour Weisbrod et al. (1980), Albarède et Weisbrod (1982), les lamprophyres et les vaugnérites du SE du Massif central dérivent de magmas basiques d'origine mantellique probable mais non prouvée et sont le siège d'une contamination crustale à tous les stades de leur évolution, dont des rééquilibrations métasomatiques subsolidus. Dans le cas présent, une première contamination peut intervenir en base de croûte (zircons granulitiques), conduisant à un enrichissement éventuel en Sr, Ba, Th, U et terres rares des magmas basiques lamprophyriques, sans aucun doute déjà très enrichis en potassium et autres éléments lithophiles au départ (i.e. lors de leur individualisation au sein du manteau). Il intervient ensuite des interactions complexes (plus proches de véritables mélanges ?) entre ces magmas basiques et les magmas alumineux d'origine crustale conduisant aux adamellites. Ces dernières acquièrent de ce fait des affinités vaugnéritiques, notamment leur richesse en magnésium, ainsi que la relation fondamentale MgO > CaO caractéristique des roches lamprophyriques (e.g. Sabatier, 1980, 1984). En outre, il est plausible que leurs teneurs particulièrement élevées en K2O, Ba et Sr puissent en partie provenir de telles interactions (hypothèse également avancée par Sabatier, 1984, pour les granitoïdes intermédiaires et acides des associations durbachitiques notamment). En conséquence, les faciès de composition intermédiaire, très développés dans Colle-Blanche et Moutières (les adamellites y étant en contrepartie beaucoup plus subordonnées), pourrait résulter d'une hybridation prononcée entre magmas basiques magnésio-potassiques et magmas acides adamellitiques et non principalement d'une différenciation, qui semble n'apparaître clairement qu'au niveau des faciès intermédiaires les plus siliceux. Enfin, des hybridations tardives, seules manifestations interactives directement décelables, conduisent à des échanges identiques aux précédents dont on suppose qu'ils se sont largement déroulés en profondeur (au niveau des régions sources des magmas alumineux) et sont susceptibles de s'être localement intensifiées à un stade plus superficiel de mise en place des plutons, par l'intermédiaire d'une phase fluide.

V - APPORTS DE LA GEOCHIMIE ISOTOPIQUE RUBIDIUM-STRONTIUM

Une étude isotopique Rb-Sr a été réalisée au C.R.P.G. sur une quinzaine d'échantillons appartenant à deux des plutons, l'un (Colle-Blanche) présentant une forte proportion de faciès intermédiaires et beaucoup moins de termes acides, l'autre (Péou) étant à l'inverse essentiellement constitué de masses vaugnéritiques isolées au sein d'un large volume d'adamellites (cf. II).

Dans un diagramme 87Rb/86Sr vs. 87Rb/86Sr (fig.6), on constate en premier lieu une dispersion des points traduisant l'absence d'homogénéisation isotopique initiale à la fois au sein des termes basiques-intermédiaires et entre termes basiques et acides d'un même pluton. Les points représentatifs des adamellites des deux plutons sont néanmoins assez bien regroupés tout en étant trop dispersés pour constituer une isochrone à eux seuls. Ils ont été utilisés malgré tout dans le but d'obtenir une estimation du rapport isotopique initial de ces plutonites. Les calculs, effectués avec une erreur de 2% sur 87Rb/86Sr et une erreur considérée comme constante de 0,01% sur 87Sr/86Sr, conduisent à un rapport (87Sr/86Sr)i intermédiaire de 0,70763 ± 0,00006 pour un âge apparent de 201 ± 21 MA (2s). Bien que

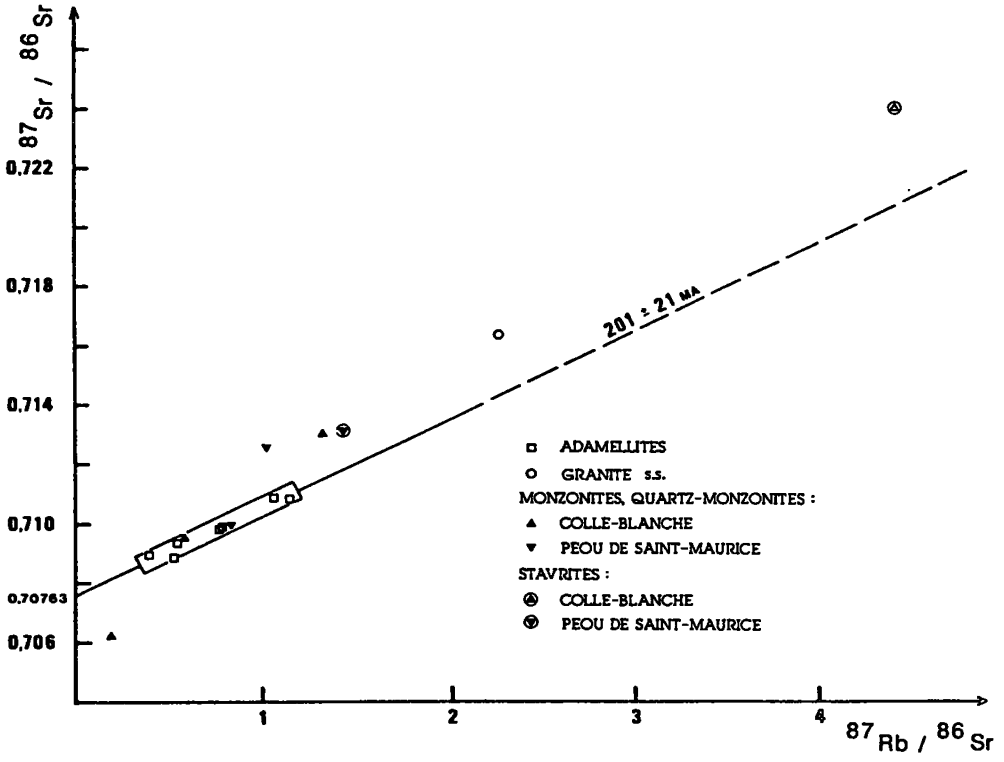

Fig. 6 : **Diagramme isochrone $^{87}Sr/^{86}Sr = f(^{87}Rb/^{86}Sr)$ des plutonites de Colle-Blanche et du Péou de Saint-Maurice.**

Fig. 6 : **$^{87}Sr/^{86}Sr$ *vs.* $^{87}Rb/^{86}Sr$ diagram for the Colle-Blanche and Péou de St. Maurice plutons.**

l'alignement obtenu semble au premier abord ne pas avoir de réelle signification, il faut remarquer que ces échantillons ont tous des rapports 87Rb/86Sr très faibles (comme la quasi-totalité des faciès basiques, intermédiaires et acides des plutons étudiés). Il en découle que des circulations de fluides, deutériques ou liés à un métamorphisme (alpin par exemple), ou tout autre processus susceptible d'entraîner une modification ultérieure des concentrations en Rb et/ou Sr (cf. revue dans Demeulemeester, 1982), en l'occurrence un rajeunissement, n'auront pratiquement pas d'influence sur la valeur de ce rapport isotopique initial. La même remarque peut s'appliquer aux termes basiques.

Par ailleurs, les plutonites les plus sombres (stavrites), que l'on peut a priori considérer comme étant les échantillons les moins hybridés, sont avec d'autres faciès basiques, ainsi qu'un granite s.s., situés au-dessus de l'erreurchrone des adamellites. Le seul faciès de composition intermédiaire analysé (quartz-monzonite: SiO2 = 63,39%) est pratiquement sur cette erreurchrone. Le point situé au-dessous correspond à une monzonite de Colle-Blanche dont on envisage qu'elle a pu subir des interactions précoces (échanges sélectifs) antérieures à son incorporation aux magmas alumineux. Cet échantillon est en particulier appauvri en Rb, Cr et Ni et fortement enrichi en terres rares, Th, Ba et Sr comparé aux plutonites basiques de même teneur en SiO2 qui lui sont associées.

L'hétérogénéité isotopique des faciès peut entre autre résulter d'un comportement différentiel de Rb et de Sr au cours d'un processus de mélange, de même qu'un alignement dans un diagramme isochrone peut traduire un tel mélange entre deux constituants de rapports isotopiques différents, les points devant alors s'aligner dans un diagramme (87Sr/86Sr)i vs. 1/Sr (e.g. discussion dans Duthou, 1977; Pagel, 1981; Vidal, 1981; Brandebourger, 1984). Une hétérogénéité isotopique initiale en réponse à un processus de mélange semble probable dans le cas présent (cf. IV). Pour tenter de le tester, le rapport isotopique initial de chaque échantillon a été calculé pour un âge fixé à 328 MA (âge K/Ar sur muscovite d'une pegmatite de Colle-Blanche, Sonet, 1964; in Le Fort, 1973; Demeulemeester, 1982, signale un âge Rb-Sr très voisin de 331 ± 31 MA pour l'adamellite du Rochail). Dans un diagramme (87Sr/86Sr)i vs. 1000/Sr (fig.7), on note de nouveau un alignement des adamellites, compatible avec l'hypothèse d'un mélange, alors que les termes basiques sont là encore passablement dispersés. Cet alignement ne peut cependant correspondre à un modèle classique où intervient un mélange entre un magma typiquement crustal à rapport 87Sr/86Sr initial élevé et un magma basique dont le rapport initial est plus faible, étant donné que SiO2 croît (et que B=Fe+Mg+Ti et Sr diminuent) lorsque (87Sr/86Sr)i diminue. Par contre, une telle évolution est tout à fait en faveur d'un mélange entre un pôle basique à rapport isotopique initial et concentration en Sr élevés (en l'occurrence un magma lamproïtique) et un pôle crustal à rapport initial intermédiaire et concentration plus faible en Sr. Pour Colle-Blanche, le report des concentrations totales dans un diagramme Rb/Sr vs. Sr (fig.8) confirme les hypothèses antérieures (i.e. intervention d'hybridations prononcées entre magma basique et magma alumineux à l'origine des adamellites), les deux alignements obtenus (faciès acides et faciès basiques-intermédiaires) étant des courbes et non une droite unique à laquelle aurait conduit une évolution par simple différenciation magmatique (e.g. Poncerry, 1981; Demeulemeester, 1982). Ainsi, l'erreurchrone des adamellites pourrait refléter leur hétérogénéité isotopique initiale à l'issue de ce mélange, étant donné que la conservation d'un alignement nécessite une réhomogénéisation parfaite des roches totales, très difficile à atteindre dans le cas d'un métamorphisme, excepté de très haut degré ou accompagné d'une intense mylonitisation (e.g. Jäger, 1965; Demeulemeester, 1982).

Pour t fixé à 328 MA, les faciès les plus sombres ont des rapports 87Sr/86Sr initiaux de type mantellique (0,7038 pour une stavrite de Colle-Blanche) ou généralement beaucoup plus élevés, voisins ou même supérieurs à ceux des adamellites. En conséquence, il est exclu que cette hétérogénéité isotopique puisse être le seul reflet de l'hybridation majeure entre magmas basaltiques Mg-K et magmas alumineux adamellitiques. Si on ne peut écarter l'hypothèse de rééquilibrations complexes de type échanges sélectifs conduisant entre autre à des enrichissements en strontium radiogénique crustal (au niveau de la croûte inférieure notamment, cf. IV), il est probable qu'elle résulte en partie d'une hétérogénéité de la région mantellique source des magmas basaltiques initiaux. En effet, il est souvent supposé que les rapports isotopiques initiaux, généralement élevés (voire très élevés) et souvent variables des lamproïtes et des minettes reflètent une telle hétérogénéité à la source, conséquence des processus de métasomatisme et notam-

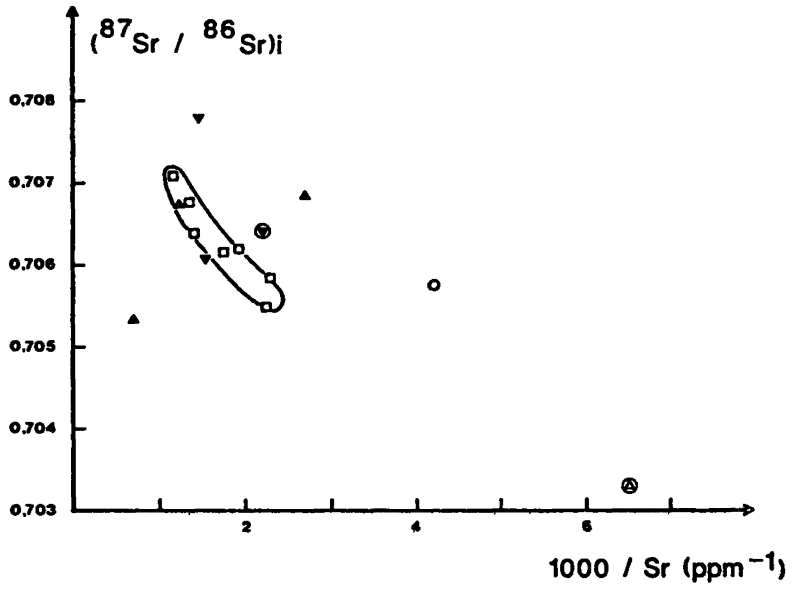

Fig. 7 : Variation des rapports isotopiques initiaux calculés pour un âge fixé à 328 MA en fonction de 1000/Sr. L'alignement des adamellites est compatible avec un processus de mélange (mêmes symboles qu'à la figure 6).

Fig. 7 : Initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratio *vs.* 1000/Sr diagram. $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ calculated for an age of 328 m.y. The adamellites (open squares) display a rather linear trend, compatible with a mixing process. Same symbols as in figure 6.

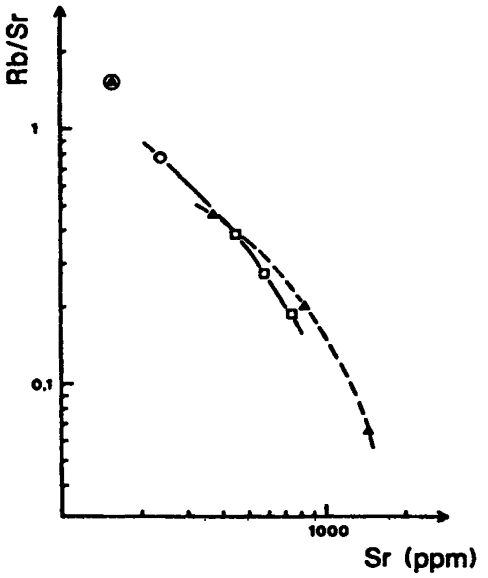

Fig. 8 : Diagramme Rb/Sr *vs.* Sr établi à partir des concentrations totales issues de l'analyse isotopique. Exemple du pluton de Colle-Blanche (mêmes symboles qu'à la figure 6).

Fig. 8 : Rb/Sr *vs.* Sr diagram for the Colle-Blanche pluton. Rb and Sr abundances determined by isotopic dilution. Same symbols as in figure 6.

ment de l'incorporation de strontium radiogénique en réponse à une subduction de matériaux crustaux (e.g. Venturelli et al., 1984b; Fraser et al., 1985; Alibert et al., 1986; Nelson et al., 1986; Foley et al., 1987; Mitchell et al., 1987), des indices de l'existence d'un tel composant étant justement présents ici (cf. III). Un autre argument (e.g. Venturelli et al., 1984b) permettant de réfuter la thèse d'une participation essentielle des rééquilibrations crustales dans la création de l'hétérogénéité isotopique initiale des termes les plus sombres est qu'une telle contamination expliquerait difficilement les forts rapports K2O/Na2O et les faibles teneurs en Na2O caractéristiques de ces faciès.

VI - CONCLUSION

Bien que des vaugnérites soient parfois intrusives au travers de formations métamorphiques plus ou moins migmatitiques (e.g. Palm, 1957; Weisbrod, 1970), on rencontre le plus souvent ces roches en contexte granitique, étroitement associées à des granitoïdes magnésio-potassiques (cf. références au chapitre I), plus rarement à des granites anatectiques subautochtones (Velay, e.g. Weisbrod, 1970; Cap Finisterre, Espagne, e.g. Gil Ibarguchi, 1981; Gil Ibarguchi et al., 1984). Ces associations acides-basiques posent ainsi clairement le problème du rôle des magmas basiques dans les processus de granitisation, conduisant à la notion classique de magma mantellique précurseur lié à une anomalie thermique suffisante pour déclencher une anatexie crustale. Des travaux expérimentaux (Montel et Weisbrod, 1986) ont montré que les magmas vaugnéritiques se mettent en place à des températures très élevées (de l'ordre de 1000°C) et que le taux de fusion de l'environnement peut croître de façon significative à l'approche des masses vaugnéritiques importantes (Montel, 1982). Dans le cas des Cévennes médianes, ce magmatisme basique est lié à un évènement tectonométamorphique tardihercynien, caractérisé par une anomalie thermique localisée au droit du dôme migmatitique du Velay, entraînant une anatexie généralisée en son centre (e.g. Marignac et al., 1980; Weisbrod et al., 1980).

Dans le cas présent, l'association systématique des vaugnérites et des durbachites à des granitoïdes acides traduit vraisemblablement un rôle essentiel de l'intumescence thermique accompagnant l'intrusion des magmas basaltiques dans l'initiation de l'anatexie crustale dont les produits (adamellites et granites s.s.) ont acquis des caractères vaugnéritiques en réponse à des interactions prononcées, complexes et sans doute prolongées, antérieures à la mise en place des plutons.

Comparées aux lamproïtes types, qui caractérisent classiquement des aires continentales stables, les vaugnérites et les durbachites du Haut-Dauphiné, de même que les lamproïtes de type méditerranéen et qu'un certain nombre d'autres roches ultrapotassiques (e.g. volcanites d'Italie centrale, Peccerillo et al., 1984; Rogers et al., 1985; Nelson et al., 1986; Foley et al., 1987), ont des anomalies négatives en Ti et Nb, assez spécifiques des magmas dont la genèse est liée à un processus de subduction (e.g. Gill, 1981; Pearce, 1982; Harris et al., 1986; Varekamp et al., 1986). En outre, leurs rapports P2O5/TiO2 élevés (i.e. > 0,3; voisins de ou supérieurs à 0,5 pour les durbachites du Rochail et des Quatre-Tours, couramment supérieurs ou voisins de 1 pour les vaugnérites des autres plutons) sont une caractéristique des roches ultrapotassiques des zones orogéniques (e.g. Foley et al., 1987). Les lamproïtes de type méditerranéen seraient cependant de bons indicateurs d'un environnement post-tectonique et se mettraient en place après la cessation des subductions et des collisions continentales (e.g. Venturelli et al., 1984a et b; Foley et al., 1987) et non directement en réponse à un processus de subduction active. L'enfouissement de croûte océanique et de sédiments à l'intérieur de la lithosphère sous-continentale lors des subductions et des collisions étant susceptible de créer des hétérogénéités à long terme dans le manteau supérieur (e.g. Alibert et al., 1986, Nelson et al., 1986), les plutonites étudiées pourraient correspondre à un magmatisme tardiorogénique indirectement lié aux évènements de subduction-collision de l'orogenèse varisque (e.g. Autran, 1980; Bodinier et al., 1986; Matte, 1986). Ces évènements ont cependant pu intervenir en tant que processus initiateurs des phénomènes de métasomatisme ayant préludé à la genèse des termes basiques de ces associations au sein du manteau.

En définitive, les différences majeures entre les deux grands types d'associations acides-basiques orogéniques les plus fréquentes de la chaîne hercynienne (subalcalines potassiques et calcoalcalines, e.g. Stussi et La Roche, 1980) ne résident-elles pas dans la nature des magmas basaltiques entrant en interaction avec les magmas granitiques crustaux (sans doute voisins au

départ) et donc principalement dans la nature de leurs régions sources elles-mêmes (manteau métasomatisé ou non) ?

Remerciements : Ce travail doit beaucoup à la qualité des analyses spectrochimiques effectuées au CRPG (K. Govindaraju) et au support logistique du CREGU. Il a bénéficié des critiques constructives de B. Bonin, M. Cuney, F. Debon, P. Le Fort et d'un lecteur anonyme, ainsi que de fructueuses discussions avec A. Michard et C. Alibert. Une dactylographie très soignée du manuscrit a été réalisée par J. Gerbaut.

* Contribution C.R.P.G. n°744.

Bibliographie

Albarède F., Dupuis C. & Taylor Jr H.P. (1980) - $^{18}O/^{16}O$ evidence for non-cogenetic magmas associated in a 300 Ma old concentric pluton at Ploumanac'h (Brittany, France). J. geol. Soc. London, 137, 641-647.

Albarède F. & Weisbrod A. (1982) - REE and Sr-Nd isotopic evidence for equilibration of Hercynian lamprophyres in an anatectic environment. Col. Inter. C.N.R.S., Clermont-Fd, Géoch. et Pétrol. des Granitoïdes, abstract, p.2.

Alibert C., Michard A. & Albarède F. (1986) - Isotope and trace element geochemistry of Colorado Plateau volcanics. Geoch. Cosmoch. Acta, 50, 2735-2750.

Allègre C.J., Treuil M., Minster J.F., Minster B. & Albarède F. (1977) - Systematic use of trace element in igneous process. Part I: fractional crystallization processes in volcanic suites. Contrib. Mineral. Petrol., 60, 57-75.

André F. (1981) - Un exemple de vaugnérite, cumulat d'une association gabbro-dioritique dans le massif des Ballons (Vosges méridionales). C. R. Acad. Sci. Paris, II, 293, 445-448.

André F. (1983) - Pétrologie structurale et pétrogenèse des formations plutoniques septentrionales du massif des Ballons (Vosges, France). Thèse 3è cycle, Nancy I, 247 p.

Aumaître R., Giraud P., Poncerry E. & Vivier G. (1985) - Les granitoïdes subalcalins potassiques de la Lauzière - Massif cristallin externe de Belledonne (Alpes françaises). Géol. Alpine, 61, 17-32.

Autran A. (1980) - L'évolution structurale de la France du Protérozoïque aux distensions post-hercyniennes. 26è C.G.I., Col. C7, Géol. de la France, mém. B.R.G.M. n°107, 7-23.

Banzet G. - Thèse 3è cycle, I.N.P.L., Nancy, en préparation.

Banzet G., Lapierre H., Le Fort P. & Pêcher A. (1985) - Le volcanisme carbonifère supérieur du massif des Grandes Rousses (zone dauphinoise, Alpes externes françaises): un magmatisme à affinités shoshonitiques lié à la fracturation crustale tardi-varisque. Géol. Alpine, 61, 33-60.

Barrière M. (1977) - Le complexe de Ploumanac'h (Massif armoricain). Essai sur la mise en place et l'évolution pétrologique d'une association plutonique subalcaline tardiorogénique. Thèse, Brest, 291 p.

Bellanger D. (1980) - Vaugnérites et roches associées des Cévennes médianes: quelques aspects pétrologiques et géochimiques. Thèse 3è cycle, Lyon I, 180 p.

Bodinier J.L., Giraud A., Dupuy C., Leyreloup A. & Dostal J. (1986) - Caractérisation géochimique des métabasites associées à la suture méridionale hercynienne: Massif central français et Chamrousse (Alpes). Bull. Soc. géol. Fr., 8, II, 115-123.

Boisset T. de (1986) - Les enclaves basiques du granite du Rochail (Syénite du Lauvitel), Haut-Dauphiné, Alpes françaises. Etude pétrographique et minéralogique. Thèse 3è cycle, Grenoble, 166 p.

Boisset T. de, Vittoz P., Vivier G. & Oliver R. (1984) - Association acide-basique dans le massif du Rochail; Nord-Ouest Pelvoux, Massifs cristallins externes; relations structurales. 10è Réun. Ann. Sci. Terre, Bordeaux, résumé, p.10.

Bordet P. (1985) - Le volcanisme miocène des Sierras de Gata et de Carboneras (Espagne du Sud-Est). Doc. et Trav. I.G.A.L., Paris, 8, 70 p.

Brandebourger E. (1984) - Les granitoïdes hercyniens tardifs de la Sierra de Guadarrama (système central, Espagne). Pétrographie et géochimie. Thèse 3è cycle I.N.P.L., Nancy, 209 p.

Cocherie A. (1978) - Géochimie des terres rares dans les granitoïdes. Thèse 3è cycle, Rennes, 207 p.

Cocherie A. (1985) - Interaction manteau-croûte: son rôle dans la genèse d'associations plutoniques calcoalcalines; contraintes géochimiques (éléments en traces et isotopes du strontium et de l'oxygène). Thèse, Rennes, Doc. B.R.G.M., n°90; 246 p.

Cocherie A., Rossi Ph. & Le Bel L. (1984) - The Variscan calc-alkalic plutonism of Western Corsica: mineralogy and major and trace element geochemistry. Phys. of the Earth and Planet. Int., 35, 145-178.

Couturié J.P. (1977) - Le massif granitique de la Margeride (Massif central français). Thèse, Ann. Sci. Univ. Clermont, n°62, 319 p.

Cullers M., Mullenax J., Dimarco M.J. & Nordeng S. (1982) - The trace element content and petrogenesis of kimberlites in Riley County, Kansas, USA. Am. Miner., 67, 223-233.

Cuney M. & Friedrich M. (1987) - Physicochemical and crystal-chemical controls on accessory mineral paragenesis in granitoids: implications for uranium metallogenesis. Bull. Mineral., 110, 235-247.

Dal Piaz G.V., Venturelli G. & Scolari A. (1979) - Calc-alkaline to ultrapotassic postcollisional volcanic activity in the internal Northwestern Alps. Mem. Sci. Geol., 32, 1-16.

Debon F. (1975) - Les massifs granitoïdes à structure concentrique de Cauterets-Panticosa (Pyrénées occidentales) et leurs enclaves. Thèse, Nancy, Sci. Terre, mém. n°33, 420 p.

Debon F. (1980) - Genesis of the three concentrically-zoned granitoid plutons of Cauterets-Panticosa (French and Spanish Western Pyrenees). Geol. Rundsch., 69, 107-130.

Debon F. & Le Fort P. (1983) - A chemical mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. Trans. Royal Soc. Edinb., Earth Sci., 73, 135-149.

Debon F., Afzali H., Le Fort P., Sonet J. & Zimmermann J.L. (1987) - Plutonic rocks and associations in Afghanistan: typology, age and geodynamic setting. Sci. Terre, mém. n°49, 132 p.

Demeulemeester P. (1982) - Contribution à l'étude radiométrique à l'argon et au strontium des Massifs cristallins externes. Thèse 3è cycle, Grenoble, 227 p.

Déruelle B. (1982) - Petrology of the Plio-Quaternary volcanism of the South-Central and Meridional Andes. J. of Volc. and Geoth. Res., 14, 77-124.

Dostal J., Zentilli M., Caelles J.C. & Clark A.H. (1977a) - Geochemistry and origin of volcanic rocks of the Andes (26°-28°5). Contrib. Mineral. Petrol., 63, 113-128.

Dostal J., Dupuy C. et Lefèvre C. (1977b) - Rare earth element distribution in Plio-Quaternary volcanic rocks from Southern Peru. Lithos, 10, 173-183.

Dupuy C. & Lefèvre C. (1974) - Fractionnement des éléments traces Li, Rb, Ba, Sr dans les séries andésitiques et shoshonitiques du Pérou, comparaison avec d'autres zones orogéniques. Contrib. Mineral. Petrol., 46, 147-157.

Dupuy J., Dostal J. & Vernières J. (1977) - Genesis of volcanic rocks related to subduction zones, geochemical point de view. Bull. Soc. géol. Fr., 6, XIX, 1233-1243.

Duthou J.L. (1977) - Chronologie Rb-Sr et géochimie des granitoïdes d'un segment de la chaîne varisque, relation avec le métamorphisme: le Nord-Limousin - Massif central français. Thèse 3è cycle, Clermont-Ferrand, 294 p.

El Mouraouah A., Didier J. & Fernandez A. (1987) - Interactions entre un magma dioritique et un magma granitique palingénétique au Peyron, près de Burzet (Ardèche, Massif central français). C. R. Acad. Sci. Paris, II, 305, 193-198.

Esperança S. & Holloway J.R. (1987) - On the origin of some mica-lamprophyres: experimental evidence from a mafic minette. Contrib. Mineral. Petrol., 95, 207-216.

Evenson N., Carter S. & O'Nions R. (1978) - Rare earth abundances in chondritic meteorites. Geoch. Cosmoch. Acta, 42, 1199-1212.

Fluck P. (1980) - Metamorphisme et magmatisme dans les Vosges moyennes d'Alsace. Contribution à l'histoire de la chaîne varisque. Thèse, Strasbourg, 248 p.

Foley S.F., Taylor R.W. & Green D.H. (1986) - The role of fluorine and oxygen fugacity in the genesis of the ultrapotassic rocks. Contrib. Mineral. Petrol. 94, 183-192.

Foley S.F., Venturelli G., Green D.H. & Toscani L. (1987) - The ultrapotassic rocks: characteristics, classification and constraints for petrogenetic

models. Earth Sci. Rew., 24, 81-134.

Fourcade S. (1981) - Géochimie des granitoïdes. Thèse, Paris VII, 189 p.

Fourcade S. & Allègre C.J. (1981) - Trace elements behaviour in granites genesis: a case study the calc-alkaline plutonic association from the Querigut complex (Pyrénées, France). Contrib. Mineral. Petrol., 76, 177-195.

France-Lanord C. (1987) - Chevauchement, métamorphisme et magmatisme en Himalaya du Népal central. Etude isotopique H, C, O. Thèse 3è cycle, I.N.P.L., Nancy, 246 p.

Fraser K.J., Hawkesworth C.J., Erlank A.J., Mitchell R.H. & Scott Smith B.H. (1985) - Sr-Nd- and Pb-isotope and minor element geochemistry of lamproites and kimberlites. Earth Planet. Sci. Lett., 76, 57-70.

Fresq H.W., Kable E.J.D. & Grurney J.J. (1975) - Aspects of the geochemistry of kimberlites from the Premier Mine and other selected South Africa occurrences with particular reference to the rare earth elements. Phys. Chem. Earth, 9, 687-707.

Gagny C. (1968) - Petrogenèse du granite des Crêtes. Thèse, Nantes, 546 p.

Gagny C. (1978) - Vaugnérites et durbachites sont des cumulats de magmas granitiques (l'exemple du magma des Crêtes, Vosges). C. R. Acad. Sci. Paris, 287, 1361-1364.

Gasquet D. (1979) - Etude pétrologique, géochimique et structurale des terrains cristallins de Belledonne et du Grand Châtelard traversés par les galeries E.D.F. Arc-Isère, Alpes françaises. Thèse 3è cycle, Grenoble.

Gidon M., Buffet G., Bonhomme J.L., Fourneaux J.C. & Monjuvert G. (1980) - Notice de la feuille Saint-Bonnet à 1/50,000è, B.R.G.M., Carte Géologique de la France, XXXIII-37, 43 p.

Gil Ibarguchi J.I. (1981) - A comparative study of vaugnerites and metabasites rocks from the Finisterre region (NW Spain). Neues Jahrb. Mineral. Abh., 143, 91-101.

Gil Ibarguchi J.I., Bowden P. & Withley J.E. (1984) - Rare earth element distribution in some Hercynian granitoids from the Finisterre region (NW Spain). J. of Geology, 92, 397-416.

Gill J.B. (1981) - Orogenic andesites and plate tectonics. Minerals and rocks. Springer Verlag, Berlin, Heildelberg, New-York, 390 p.

Giorgi L. (1979) - Contribution à l'étude géologique des terrains cristallins du massif des Grandes Rousses, Isère, France. Thèse 3è cycle, Grenoble.

Govindaraju K. & Mevelle G. (1987) - Fully automated dissolution and separation methods for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry rock analysis. Application to the determination of rare earth elements. J. of Analy. Atom. Spectro., 2, 615-621.

Graviou P. (1984) - Petrogenèse des magmas calcoalcalins: exemple des granitoïdes cadomiens de la région trégorroise (Massif armoricain). Thèse 3è cycle, Rennes, 216 p.

Hawkesworth C.J. & Vollmer R. (1979) - Crustal contamination versus enriched mantle: $^{143}Nd/^{144}Nd$ and $^{87}Sr/^{86}Sr$ evidence from Italian volcanics. Contrib. Mineral. Petrol., 69, 151-165.

Hameurt J. (1968) - Les terrains cristallins et cristallophylliens du versant occidental des Vosges moyennes. Thèse, Nancy, Arch. Origin. Centre Document. C.N.R.S., n°2629, 578 p.

Hanson G. (1978) - The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. Earth Planet. Sci. Lett., 38, 26-43.

Hanson G. (1980) - Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 8, 371-406.

Harris N.B.W., Pearce J.A. & Tindle A.G. (1986) - Geochemical characteristics of collision zone magmatism. Geol. Soc., Sp. Publ., 19, 67-81.

Holub F.V. (1977) - Petrology of inclusions as a key to petrogenesis of the durbachitic rocks from Czechoslovakia. Tschermacks Min. Petr. Mitt., 24, 133-150.

Jaques A.L., Lewis J.D., Smith C.B., Gregory G.P., Ferguson J., Chapell B.W. & McCulloch M.T. (1984) - The diamond-bearing ultrapotassic (lamproitic) rocks of the West Kimberley region, Western Australia. In Kimberlites, 3 rd Inter. Kimber. Conf., vol.1, Kimberlites and Related Rocks (J. Kornprobst ed.), 223-254.

Jäger E. (1965) - Rb-Sr age determinations on minerals and rocks from the Alps. Sci. Terre, 10, 395-406.

Kontak D.J., Clark A.H., Farrar E. & Pearce T.H. (1986) - Petrogenesis of a Neogene shoshonite suite, Cerro-Moromoroni, Puno, Southeastern Peru. Can. Mineral., 24, 117-135.

La Roche H. de (1964) - Sur l'expression graphique des relations entre la composition chimique et la composition minéralogique quantitative des roches cristallines. Présentation d'un diagramme destiné à l'étude chimico-minéralogique des massifs granitiques ou granodioritiques. Application aux Vosges cristallines. Sci. Terre, 9, 293-337.

Larouzière F.D. de (1985) - Etude tectono-sédimentaire et magmatique des bassins néogènes d'Hinojar et de Mazarron (cordillères bétiques internes, Espagne). Thèse, Paris VI,; Sci. Terre, mém. n°47, 316 p.

Larouzière F.D. de & Bordet P. (1983) - Sur la genèse de certains types de lamproïtes du bassin de Mazarron (Espagne). C. R. Acad. Sci. Paris, D, 296, 1071-1076.

Le Fort P. (1970) - A propos de la découverte d'un massif de granite au Bourg-en-Valgaudemar. Remarques sur trois expressions du granite du Pelvoux (Alpes françaises). Géol. Alpine, 46, 117-125.

Le Fort P. (1973) - Géologie du Haut-Dauphiné cristallin (Alpes françaises). Etude pétrologique et structurale de la partie occidentale. Thèse, Nancy, Sci. Terre, mém. n°25, 395 p.

Le Fort P. & Pêcher A. (1971) - Présentation d'un schéma structural du Haut-Dauphiné cristallin. C. R. Acad. Sci. Paris, D, 273, 3-5.

Leterrier J. (1972) - Etude pétrographique et géochimique du massif granitique de Quérigut (Ariège). Thèse, Nancy, Sci. Terre, mém. n°23, 292 p.

Leterrier J. & Debon F. (1978) - Caractères chimiques comparés des roches granitoïdes et de leurs enclaves microgrenues. Implications génétiques. Bull. Soc. géol. Fr., 7, XX, 3-10.

Marignac C., Leroy J., Macaudière J., Pichavant M. & Weisbrod A. (1980) - Evolution tectonométamorphique d'un segment de l'orogenèse hercynien. Les Cévennes médianes, Massif central français. C. R. Acad. Sci. Paris, D, 291, 605-608.

Martin H. (1981) - Calcul de taux de fusion/cristallisation: tests d'origine supposée à l'aide des terres rares, in Méthodes Géochimiques d'Etude des Socles, I géochimie des éléments, Univ. Rennes ed., VIII, 1-10.

Matte P. (1986) - La chaîne varisque parmi les chaînes paléozoïques périatlantiques, modèle d'évolution et position des grands blocs continentaux au Permo-Carbonifère. Bull. Soc. géol. Fr., 8, II, 9-24.

Maury R.C., Didier J. & Lameyre J. (1978) - Comparative magma/xenolith relationships in some volcanic and plutonic rocks from the French Massif Central. Contrib. Mineral. Petrol., 66, 401-408.

Michel R. & Buffière J.M. (1963a) - Sur la nature et l'origine de la syénite du Lauvitel (massif du Rochail, secteur nord-ouest du Pelvoux, Isère). C. R. Acad. Sci. Paris, Groupe 9, 256, 225-227.

Michel R. & Buffière J.M. (1963b) - Caractères pétrographiques et pétrochimiques du granite du Rochail (secteur nord-ouest du Pelvoux, Isère). C. R. Acad. Sci. Paris, Groupe 9, 256, 1812-1814.

Michon G. (1979) - Typologie des vaugnérites des Monts du Lyonnais et du Vivarais, Massif central français. Conditions de gisement et caractères pétrographiques. Thèse 3è cycle, Lyon I.

Mitchell R.H., Platt R.G. & Downey M. (1987) - Petrology of lamproites from Smoky Butte, Montana, J. of Petrol., 28, 645-677.

Montel J.M. (1982) - Différenciation et conditions de cristallisation des vaugnérites ardèchoises. Approche expérimentale. D.E.A., I.N.P.L., Nancy, 32 p.

Montel J.M. & Weisbrod A. (1986) - Characteristics and evolution of "vaugneritic magmas": an analytical and experimental approach, on the example of the Cévennes Médianes (French Massif Central). Bull. Minéral., 109, 575-587.

Negga H.S. (1984) - Comportement de l'uranium lors des métamorphismes tardi-hercynien et alpin dans les massifs des Aiguilles Rouges et de Belledonne (Vallorcine, Lauzière), Alpes occidentales. Thèse 3è cycle, Nancy I, 418 p.

Negga H.S. & Cuney M. - Control of calcium activity on the stability of monazite and implications for uranium mineralization. (en préparation)

Nelson D.R., McCulloch M.T. & Sun S.S. (1986) - The origins of ultrapotassic rocks as inferred from Sr, Nd and Pb isotopes. Geoch. Cosmoch. Acta, 50, 231-245..

Nixon P.H., Thirlwall M.F., Buckley F. & Davies C.J. (1984) - Spanish and W-Australian lamproites: aspects of whole rock geochemistry. In Kimberlites, 3 rd Inter. Kimber. Conf., vol. 1, Kimberlites and Related Rocks, (J. Kornprobst ed.), 285-296.

Ohnenstetter M. & Rossi Ph. (1987) - Signification des complexes basiques-ultrabasiques associés aux granitoïdes dans l'évolution de la chaîne varisque du Sud de l'Europe. Bull. Soc. géol. Fr., 8, III, 801-810.

Oliver R.A. & Vittoz P. (1983) - Instrumental neutron activation analysis of French Alpine granites. ILL Annual Report, Exp. n°03-13-64, p.27.

Orsini J.B. (1980) - Le batholite corso-sarde: un exemple de batholite hercynien (structure, composition, organisation d'ensemble). Sa place dans la chaîne varisque de l'Europe moyenne. Thèse, Aix-Marseille III, 543 p.

Otto J. & Wimmenauer W. (1973) - Les enclaves dans les granites de la Forêt Noire. Bull. Soc. géol. Fr., XV, 199-208.

Pagel M. (1981) - Facteurs de distribution et de concentration de l'uranium et du thorium dans quelques granites de la chaîne hercynienne d'Europe. Thèse I.N.P.L., Nancy, 566 p.

Pagel M. (1982a) - The mineralogy and geochemistry of uranium, thorium and rare earth elements in two radioactive granites of the Vosges, France. Mineral. Mag., 46, 149-161.

Pagel M. (1982b) - Successions paragénétiques et teneurs en uranium des minéraux accessoires dans les roches granitiques: guide pour la recherche de granites favorables à la présence de gisements d'uranium. C. R. Symp. Méthodes de prospection de l'uranium, Paris, O.C.D.E. ed., 445-456.

Pagel M. & Leterrier J. (1980) - The subalkaline potassic magmatism of the Ballon massif (Southern Vosges, France): shoshonitic affinity. Lithos, 13, 1-10.

Palm Q.A.. (1954) - Vaugnérites et amphibolites. Bull. Soc. géol. Fr., 6, 4, 627-641.

Palm Q.A. (1957) - Les roches cristallophylliennes des Cévennes médianes à hauteur de Largentière (Ardèche, France). Thèse, Ultrecht, 121 p.

Pearce J.A. (1982) - Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In Orogenic Andesites and Related Rocks (Andesites, Thorpes R.S. ed.), 525-548.

Peccerillo A., Poli G.. & Tolomeo L. (1984) - Genesis, evolution and tectonic significance of K-rich volcanics from the Alban Hills (Roman comagmatic region) as inferred from trace element geochemistry. Contrib. Mineral. Petrol., 86, 230-240.

Pêcher A. (1970) - Etude pétrographique de la partie orientale du massif des Ecrins-Pelvoux: le socle ancien. Thèse 3è cycle, Grenoble, 122 p.

Poncerry E. (1981) - Contribution à l'étude géologique des granitoïdes de Vallorcine, Beaufort et Lauzière, de leur encaissant et des minéralisations uranifères associées (Alpes françaises). Thèse 3è cycle, Grenoble, 316 p.

Pupin J.P., Bonin B., Tessier M. & Turco G. (1978) - Rôle de l'eau sur les caractères morphologiques et la cristallisation du zircon dans les granitoïdes. Bull. Soc. géol. Fr., XX, 5, 721-725.

Rock N.M.S., Gaskarth J.W. & Rundle C.C. (1986) - Late Caledonian dyke-swarms in Southern Scotland: a regional zone of primitive K-rich lamprophyres and associated vents. J. of Geology, 94, 505-522.

Rogers N.W., Hawkesworth C.J., Parker R.J. & Marsh J.S. (1985) - The geochemistry of potassic lavas from Vulsini, central Italy and implications for mantle enrichment processes beneath the Roman region. Contrib. Mineral. Petrol., 90, 375-380.

Rossi Ph. (1986) - Organisation et genèse d'un grand batholite orogénique, le batholite calco-alcalin de la Corse. Thèse, Toulouse, Doc. B.R.G.M., n°107, 292 p.

Sabatier H. (1980) - Vaugnérites et granites, une association particulière de roches acides et basiques. Bull. Minéral., 103, 507-522.

Sabatier H. (1984) - Vaugnérites et granites magnésiens dans le Massif central français: une association particulière de roches grenues acides et basiques. Etude pétrographique. Thèse, Paris VI, Sci. Terre, mém. n°56, 559 p.

Schneider M.E. & Eggler D.H. (1984) - Composition of fluids in equilibrium with peridotite: implications for alkaline magmatism metasomatism. In Kimberlites, 3 rd Inter. Kimber. Conf., vol.1, Kimberlites and Related Rocks (J. Kornprobst ed.), 383-394.

Stussi J.M. & La Roche H. de (1980) - Le magmatisme orogénique granitique de la chaîne varisque française. Typologie chimique et répartition spatiale. C. R. Acad. Sci. Paris, II, 298, 43-48.

Thompson R.N. & Flower M.B. (1986) - Subduction-related shoshonitic and ultrapotassic magmatism: a study of Siluro-Ordovician syenites from the

Scottish Caledonides. Contrib. Mineral. Petrol., 94, 507-522.

Thorpe R.S. & Francis P.W. (1979) - Variations in andean andesite compositions and their petrogenetic significance. Tectonophysics, 57, 53-70.

Thorpe R.S., Cosgrove M.E. & Van Calsteren P.W.C. (1986) - Rare earth element, Sr- and Nd-isotope evidence for petrogenesis of Permian basaltic and K-rich volcanic rocks from South-West England. Mineral. Mag., 50, 481-490.

Varekamp J.C., Van Bergen M.J., Poorter R.P.E., Vroon P., Wirakusumah A.D., Erfan R., Sriwana T. & Suharyono K. (1986) - Subduction-related potassic volcanism. G.S.A., abstract, p.778.

Venturelli G., Capedri S., Di Battistini G., Crawford A., Kogarko L.N. & Celestini S. (1984a) - The ultrapotassic rocks from Southeastern Spain. Lithos, 17, 37-54.

Venturelli G., Thorpe R.S., Dal Piaz G.V., Del Moro A. & Potts P.J. (1984b) - Petrogenesis of calc-alkaline, shoshonitic and associated ultrapotassic Oligocene volcanic rocks from the Northwestern Alps, Italy. Contrib. Mineral. Petrol., 86, 209-220.

Vidal Ph. (1981) - La méthode rubidium-strontium, in Méthodes Géochimiques d'Etude des Socles, II géochmie des isotopes, Univ. de Rennes ed., II, 1-17.

Wendlandt R.F. (1984) - An experimental and theoretical analysis of partial melting in the system $KAlSiO_4$-CaO-MgO-SiO_2-CO_2 and applications to the genesis of potassic magmas, carbonatites and kimberlites. In Kimberlites, 3 rd Inter. Kimber. Conf., vol.1, Kimberlites and Related Rocks (J. Kornprobst ed.), 359-369.

Wendlandt R.F. & Eggler D.H. (1980) - The origins of potassic magmas; 1. Melting relations in the systems $KAlSiO_4$-Mg_2SiO_4-SiO_2 and $KAlSiO_4$-MgO-SiO_2-CO_2 to 30 kilobars. Am. J. of Sci., 280, 385-420.

Weisbrod A. (1970) - Pétrologie du socle cristallin des Cévennes médianes. Thèse, Nancy, 530 p.

Weisbrod A., Pichavant M., Marignac C., Macaudière J. & Leroy J. (1980) - Relations structurales et chronologie entre le magmatisme basique et l'évolution tectonométamorphique tardihercynienne dans les Cévennes médianes, Massif central français. C. R. Acad. Sci. Paris, 291, D, 665-668.