

INFLUENCE DU METAMORPHISME ALPIN SUR LES AGES ISOTOPIQUES Rb/Sr ET K/Ar DES BIOTITES DES MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES (ALPES FRANCAISES)

par P. Demeulemeester*, M. Roques**, P. Giraud*, G. Vivier*, et M.G. Bonhomme*

RESUME. - Dans le cadre d'une étude radiochronologique générale dans les Alpes occidentales, une série d'analyses Rb/Sr et K/Ar de biotites a été effectuée sur les trois massifs cristallins externes : Pelvoux, Grandes-Rousses et Belledonne. Des cartes d'iso-valeurs des âges isotopiques et une carte des différences entre les deux méthodes Rb/Sr et K/Ar permettent de dégager les observations suivantes :

(1) La reprise du bâti hercynien pendant le cycle orogénique alpin s'est faite de façon très inégale et donne des âges "intermédiaires" entre 300 et 24 ma, les résultats K/Ar étant toujours plus jeunes que les âges Rb/Sr.

(2) Comme on s'y attendait, l'influence du métamorphisme alpin est maximale sur les bordures orientales des trois massifs. Les âges K/Ar minimaux mesurés sont de 83 Ma dans Belledonne et de 52 Ma dans le Pelvoux. Cette influence est la plus faible dans le Sud-Ouest du Pelvoux où les âges sont toujours voisins de 300 Ma.

Au contraire, il ne semble pas que la nature pétrographique des massifs étudiés ait quelque influence sur l'âge des biotites correspondantes.

(3) Deux accidents tectoniques majeurs induisent des variations sur des âges isotopiques :

- le chevauchement de la Meije-Olan, Pelvoux, est caractérisé par une chloritisation générale des biotites et il modifie seulement le système K/Ar jusqu'à une valeur minimale mesurée de 130 Ma.

- Dans Belledonne, l'accident médian induit des variations sur les âges des systèmes K/Ar et Rb/Sr, contraire au sens de croissance générale du métamorphisme alpin. Les valeurs minimales sont de 70 Ma et 24 Ma, pour les systèmes Rb/Sr et K/Ar, respectivement.

(4) Les âges très jeunes, 52 à 24 Ma, ne permettent pas d'affirmer que l'épisode éo-alpin ait eu une influence majeure malgré une certaine accumulation d'âges isotopiques entre 100 et 60 Ma. Au contraire, les données actuelles suggèrent plutôt que l'empreinte de la phase méso-alpine (environ 40 Ma) serait maximale dans les zones orientales du socle et à proximité des accidents majeurs de ce dernier.

ABSTRACT. - Within a general geochronological study of the Southern Alps, a series of Rb/Sr and K/Ar analyses of biotites has been performed in the three external crystalline massifs: Pelvoux, Grandes-Rousses and Belledonne. Maps of contours of the isotopic ages and of the discrepancy between the two types of data show that:

(1) The alteration of the Hercynian basement during the alpine orogeny is irregular and gives mixed ages ranging from 300 to 24 Ma, the K/Ar result being always younger than the Rb/Sr one.

(2) As expected, the influence of the alpine metamorphism is maximum on the eastern borders of the three massifs with K/Ar minimum ages of 83 Ma in Belledonne

* U.S.T.M. Grenoble, Unité associée au C.N.R.S. (U.A. n° 69) Géologie Alpine, Institut Dolomieu 15 Rue Maurice Gignoux, F 38031 Grenoble Cedex

** Université de Clermont-Ferrand II et U.A. 10. "Origine, évolution et dynamique des magmas", 5 Rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand Cedex.

and 52 Ma in Pelvoux. This influence is the weakest in the Southwest Pelvoux where ages still stay around 300 Ma. In contrast, the petrographic type of the rocks studied does not seem to influence the isotopic answer of the corresponding biotites.

(3) Two major tectonic features amplify the age variations;

- The Meije-Olan thrust fault, Pelvoux, is characterized by a general chloritization of the biotites which modifies only the K/Ar system up to a maximum value of 130 Ma.

- In Belledonne, the "accident median" induces age variations on both K/Ar and Rb/Sr systems, in the opposite way to the general increase of the alpine metamorphism. The minimum values are 70

Ma and 24 Ma, for the Rb/Sr and K/Ar systems, respectively.

(4) The very young ages, 52 to 24 Ma, does not allow to state whether the most influent episode is the oldest one or not, although many results range from 100 to 60 Ma. In contrast, the present data suggest that the imprint of the meso-alpine phase (about 40 Ma) might be the strongest mainly in the eastern parts. of the massifs and along the major tectonic fractures

I) INTRODUCTION

Une étude radiochronologique sur roches totales et sur minéraux (amphiboles, biotites et muscovites) a été effectuée dans les massifs cristallins externes de Belledonne, des Grandes-Rousses et du Pelvoux qui constituent le socle de la zone dauphinoise, (DEMEULEMEESTER, 1982). Dans cette note, seuls sont présentés et discutés les résultats obtenus sur les biotites par les méthodes couplées Rb/Sr et K/Ar.

La sensibilité de la biotite à tout évènement thermotectonique postérieur à sa cristallisation peut être utilisée comme un outil pour l'étude de cet évènement, en dressant des cartes de répartition des âges apparents (DALRYMPLE et LANPHERE, 1969)

Tout objet géologique soumis à une étude radiochronologique doit en principe, pour fournir un âge significatif, avoir fonctionné en système clos. Il doit n'avoir subi ni gain, ni perte d'un des isotopes mis en jeu par la méthode de datation isotopique utilisée, à savoir ici ^{87}Rb , ^{87}Sr , ^{86}Sr et ^{40}K , ^{40}Ar , ^{36}Ar . Dans le cas de la biotite, réputée être un minéral sensible à ce genre d'échanges, la perte des isotopes radiogéniques ^{87}Sr et ^{40}Ar peut commencer à des températures basses: 200 à 250°C (PURDY et JAGER, 1976; SATIR, 1979 pour l'exemple des Alpes).

La perte peut être soit totale, soit partielle.

1) Dans le cas de perte totale, l'âge isotopique mesuré correspond à l'instant où le minéral après avoir été chauffé une dernière fois et/ou avoir recristallisé à haute température, repasse le seuil de 200-250°C en dessous duquel l'accumulation est complète. Cet âge est donc celui du dernier refroidissement.

2) Dans le cas d'une perte partielle, la température atteinte, et/ou la recristallisation qui peuvent survenir, sont insuffisantes pour que les isotopes radiogéniques soient entièrement évacués. L'âge "apparent" alors mesuré, peut être considéré en première approximation comme fonction de l'intensité du (des) phénomène(s). L'âge mesuré sera d'autant plus proche de l'âge vrai du dernier évènement thermique, et par conséquent plus éloigné de l'âge de la première cristallisation, que l'intensité du phénomène sera élevée. Ces âges sont dits "intermédiaires".

Pour les Alpes externes, dont le socle est réputé hercynien, au moins pour ce qui concerne l'âge de la cristallisation des biotites, les données radiochronologiques devraient permettre de visualiser l'influence du métamorphisme alpin. Ce métamorphisme, d'intensité faible à très faible (faciès schistes verts, faciès zéolites) est en partie responsable de la rétro-morphose et de la déstabilisation de certains minéraux. En particulier, les biotites analysées sont rarement saines. Elles sont plus ou moins chloritisées et cette transformation n'est pas d'intensité uniforme, d'autant qu'elle peut se superposer à une chloritisation hercynienne également non uniforme et non contrôlable. Dans un tel contexte de métamorphisme faible, l'interprétation des résultats est encore compliquée par l'hétérogénéité et la nature même des différentes formations (ARNOLD et JAGER, 1966; PURDY et JAGER, 1976).

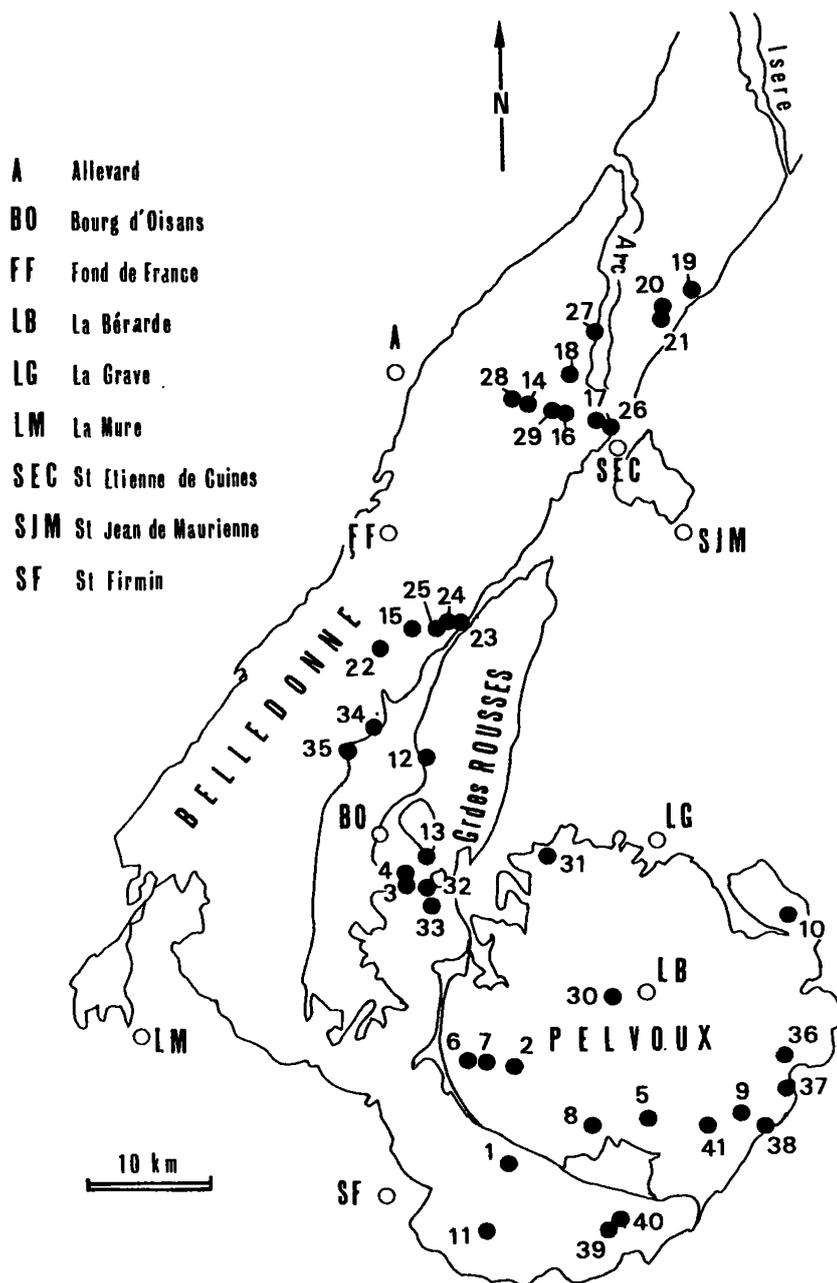


Figure n°1: Carte de localisation des biotites analysées.
Map of location of the analysed biotites.

Par l'étude de la distribution cartographique des âges obtenus sur les biotites nous avons cherché:

- a) à savoir si les âges apparents Rb/Sr et K/Ar des biotites se répartissent d'une façon ordonnée,
- b) à comparer les âges Rb/Sr et K/Ar obtenus sur les mêmes biotites et à expliquer leurs concordances ou discordances,
- c) à savoir si ces âges correspondent à un ou plusieurs évènements.

Pour cela, nous avons utilisé d'une part les cartes d'isovaleurs des âges Rb/Sr et K/Ar, et d'autre part la carte de différence des âges entre les méthodes couplées.

II) DONNEES GEOCHRONOLOGIQUES ANTERIEURES

Les données isotopiques sur minéraux dans les massifs cristallins externes des Alpes Occidentales sont peu nombreuses et très disparates.

Des résultats K/Ar et Rb/Sr sur micas et feldspaths ont été obtenus sur des roches du massif des Aiguilles-Rouges et du Mont Blanc (KRUMMENACHER et EVERNDEN, 1960; BAGGIO et al., 1967). Ils suffisent à démontrer que les granites hercyniens ont subi, de manière plus ou moins intense, les effets du métamorphisme alpin. Ainsi, un microcline a donné un âge K/Ar de 41 ± 1 Ma. Les âges sur biotites varient de façon très inégale selon les massifs: de 144 à 292 Ma par la méthode K/Ar sur les biotites des Aiguilles-Rouges et de 18 à 36 Ma par la méthode Rb/Sr sur les biotites du tunnel du Mont-Blanc.

Dans le massif du Pelvoux, des biotites du granite du Rochail et du Clapier, datées par BONHOMME et al. (1963) ont donné des âges Rb/Sr de 327 ± 16 Ma et de 319 ± 9 Ma. D'autre part, dans le massif de Belledonne, BONHOMME (1963, non publié) a obtenu des âges Rb/Sr de 265 et 278 ± 18 Ma sur les biotites des gneiss de Rochetaillée et d'Allemont, et de 256 ± 6 Ma sur celle du granite des Sept-Laux (Défilé de Maupas).

Les âges Rb/Sr et K/Ar de biotites et muscovites (obtenues par SONET, 1970 in LE FORT, 1973,) de la partie méridionale du massif du Pelvoux (Crupillouse, Champoléon) sont hercyniens. Ils varient de 292 à 325 Ma.

BARBIERI (1970) s'est plus spécialement intéressé aux biotites altérées (chlorites) de la partie orientale du Pelvoux. Les âges Rb/Sr s'échelonnent de 275 à 67 Ma, et l'auteur observe que les âges deviennent de plus en plus vieux lorsque l'on passe du granite de la Montagne des Bans par ceux du Pelvoux à ceux du Combeynot. La répartition des âges serait expliquée par l'intensité plus ou moins exprimée des phénomènes de transformation des micas.

Ce rapide historique montre non seulement les grandes variations des âges isotopiques au sein des massifs cristallins externes, mais aussi l'hétérogénéité de répartition de ces âges.

Un travail à caractère plus systématique s'imposait donc pour comprendre ces variations et avoir une idée du comportement général du chronomètre biotite dans les massifs cristallins externes des Alpes, sous l'influence du métamorphisme alpin.

III) DONNEES ET METHODES ANALYTIQUES

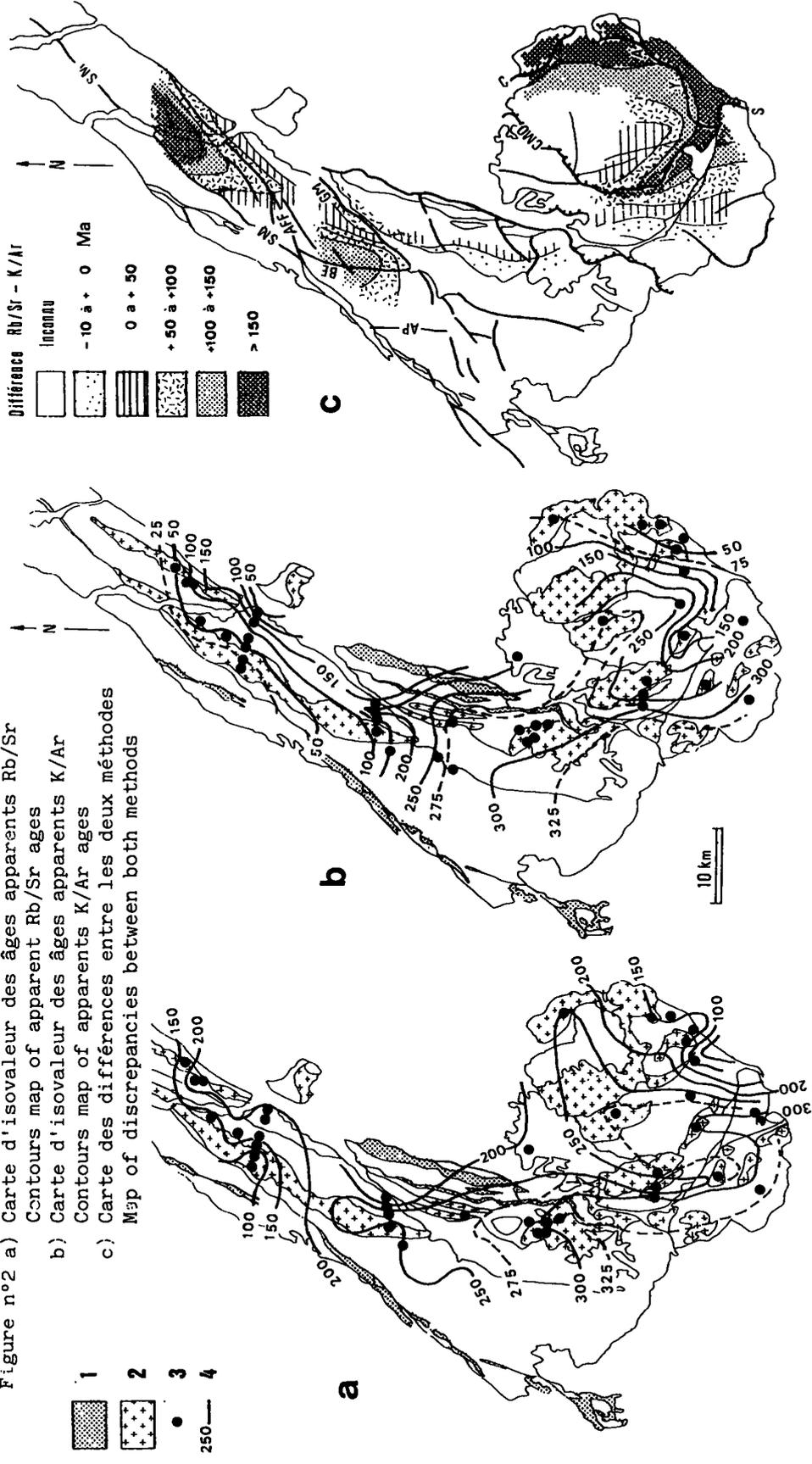
Les échantillons ont été collectés de façon à avoir une assez bonne représentation des granites et gneiss du socle (figure 1 et tableau 1). L'étude isotopique a porté sur 42 biotites sur lesquelles ont été effectuées 42 mesures Rb/Sr et 25 mesures K/Ar. Les quelques données tirées de la littérature ont aussi été utilisées pour ce travail.

Les données analytiques, les descriptions pétrographiques ainsi que le contexte géologique sont données par DEMEULEMEESTER (1982). Les techniques analytiques y sont aussi décrites, sachant qu'il n'y a pas de différence ni dans les procédures ni dans les précisions entre les données de la littérature et celles présentées ici.

Les tableaux 2 et 3 présentent l'ensemble des résultats analytiques Rb/Sr et K/Ar des biotites.

Les mesures Rb/Sr ont été réalisées par dilution isotopique, au laboratoire de géochronologie de Clermont-Ferrand, sur un spectromètre de masse C.S.F. type S.M. 400 S, qui donnait une valeur normalisée $87 \text{ Sr}/86 \text{ Sr} = 0.7105 \pm 0.0007$ (2σ) pour l'étalon NBS 987.

Figure n°2 a) Carte d'isovaleur des âges apparents Rb/Sr
 Contours map of apparent Rb/Sr ages
 b) Carte d'isovaleur des âges apparents K/Ar
 Contours map of apparent K/Ar ages
 c) Carte des différences entre les deux méthodes
 Map of discrepancies between both methods



Différence Rb/Sr - K/Ar

- Inconnu
- 10 à + 0 Ma
- 0 à + 50
- + 50 à +100
- +100 à +150
- > 150

- 1
- 2
- 3
- 4

Figure n°2 c

La différence entre les méthodes est exprimée en millions d'années.
 (The discrepancy between the two methods is given in million years = Ma)

- 1. Houiller (Carboniferous)
- 2. Granites hercyniens (Hercynian granites)
- 3. Echantillon (sample location)
- 4. Courbes d'isovaleur des âges apparents Rb/Sr ou K/Ar (contour lines of Rb/Sr or K/Ar apparent ages).

Accidents tectoniques majeurs (Major tectonic fractures) A, Ailefroide; AFF, Fond-de-France; AP, La-Pra; BE, Belle-Etoile; C, Combeynot; GM, Grand'Maison; S, Sirac; SM, accident médian; Y, Yret. Carte géologique du Haut Dauphiné avec les contours des différences d'âges apparents. Influence du chevauchement Meije-Olan (CMO).

Les mesures K/Ar ont été effectuées à l'Institut Dolomieu de Grenoble. L'argon a été déterminé par la méthode de dilution isotopique sur un spectromètre de masse type Micromass 600, en régime statique, en utilisant un volume étalon de 38 Ar, calibré avec des standards interlaboratoires.

Les constantes utilisées sont celles préconisées par le Congrès géologique international de Sydney (STEIGER et JAGER, 1977):

Méthode Rb/Sr: $(^{87}\text{Rb}) = 1.42 \times 10^{-11}/\text{an}$.

$^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb} = 2.59265$

$^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ initial = 0.712 (GAST, 1961) pour l'âge Rb/Sr conventionnel

Méthode K/Ar: $\lambda(^{40}\text{K}\beta) = 4.962 \times 10^{-11}/\text{an}$
 $\lambda(^{40}\text{K}\epsilon) + \lambda(^{40}\text{K}\epsilon) = 0.581 \times 10^{-10}/\text{an}$
 $^{40}\text{K} = 0.01167 \%$ (pourcentage atomique).

IV) LES FAITS: DISTRIBUTION CARTOGRAPHIQUE DES AGES ISOTOPIQUES

IV - 1. LES CARTES D'ISOVALEURS:

a) Principe:

Pour une meilleure utilisation des données isotopiques nous avons reporté les résultats sous forme de courbes d'isovaleurs sur la carte géologique schématique des massifs cristallins externes.

Compte tenu de l'âge apparent et de la localisation d'un échantillon par rapport à un autre, nous avons essayé de tracer les contours d'âges isotopiques K/Ar ou Rb/Sr égaux, suivant la méthode de triangulation entre les différents points. Les courbes obtenues représentent les isovaleurs des âges K/Ar ou Rb/Sr en millions d'années. Ces courbes sont parfois dénommées thermochrones ("chrontours") et matérialisent la forme des surfaces isothermes à la température considérée.

Des tentatives analogues ont déjà été faites. Parmi les exemples classiques citons KULP et ECKELMANN (1961) et ARMSTRONG (1966) pour les Appalaches, HARPER (1967), DEWEY et PANKHURST (1970) pour les Calédonides d'Ecosse et d'Irlande. Dans les Alpes, citons HUNZIKER (1974), PURDY et JAGER (1976), SATIR (1979) et MORAUF (1980).

L'utilisation de telles cartes est certes très pratique pour visualiser les données, mais elle peut aussi permettre de caractériser une phase de métamorphisme et d'en mesurer son ampleur (KULP et ECKELMANN, (1961). Plus récemment, BORRADAILE et HERMES (1980), en comparant les thermochrones et les isogrades de métamorphisme d'une partie des Alpes et des Calédonides montrent qu'elles sont un moyen d'étude des changements dans la distribution des températures crustales entre le maximum d'un métamorphisme et les derniers stades du refroidissement. L'exploitation des résultats isotopiques sous cette forme peut permettre une meilleure interprétation des données.

b) Observations générales. Description des variations

Au sein des massifs cristallins externes, les variations des âges apparents Rb/Sr et K/Ar des biotites sont matérialisées par les cartes d'isovaleurs des âges Rb/Sr (figure 2 a) et des âges K/Ar (figure 2b).

La carte des âges apparents Rb/Sr, montre que dans le massif du Pelvoux les âges sont plus jeunes vers le Sud-Est: 120 Ma près d'Ailefroide et 67 Ma dans le massif des Bans. Les âges de 300 à 320 Ma sont situés au Sud et à l'Ouest du massif du Pelvoux, (Crupillouse, Vieux-Chaillol, Valjouffrey, Valgaudemar). En direction du Nord, dans le massif de Belledonne jusqu'à Fond de France, il y a une diminution progressive des âges isotopiques de 325 à 225 Ma. Les âges de 225 Ma se situent dans la partie interne du massif. Dans la partie de Belledonne située au Nord de la ligne passant par Fond de France et Saint-Etienne de Cuines, les âges diminuent en direction du Nord-Ouest de 225 à 75 Ma.

La carte des âges K/Ar montre une allure générale des courbes différente de celle obtenue pour les âges Rb/Ar, et les variations d'âges sont plus importantes.

Les secteurs présentant des âges supérieurs à 225 Ma sont plus réduits: une faible partie centrale du Pelvoux (La Bérarde), mais aussi le Sud-Ouest et l'Ouest de ce massif (petit-Chaillol, Valjouffrey, Rochail) qui présentent des âges de 320 Ma. Depuis Valjouffrey jusqu'à Fond de France (Belledonne Nord) les âges diminuent progressivement jusqu'à 75 Ma, et de 300 à 150 Ma en direction du Nord-Est des Grandes-Rousses. Les âges K/Ar minimaux observés dans le massif du Pelvoux sont de 130 Ma près de la Chapelle-en-Valgaudemar (Granite du Bourg) et de 50 Ma pour les micas de la bordure orientale du massif (granite de Riou Blanc). Dans le massif de Belledonne il y a une double variation des âges isotopiques: de 150 à 25 Ma vers le Nord-Ouest et de 150 à 50 Ma vers le Sud-Est.

Contrairement à ce qui était attendu, la nature pétrographique de la roche contenant chaque biotite analysée semble n'avoir que peu d'influence sur la répartition des âges apparents Rb/Sr et K/Ar. La différence entre deux échantillons voisins de natures pétrographiques différentes est plus liée au caractère chloritisé ou pas de la biotite. Par exemple il n'y a pas de différence entre l'échantillon 25, gneiss du Rissiou, biotite saine: 264 Ma et l'échantillon 15, granite des Sept Laux biotite saine, 244 Ma. Au contraire, les échantillons 6 et 7, issus du gneiss de Valjouffrey et du granite d'Orgière, et dont les biotites sont saine d'une part, chloritisée d'autre part, montrent des âges apparents de 302 et 210 Ma, respectivement. Cette observation converge avec celle déjà mise en évidence par Hunziker (1974).

c) Récapitulation:

- Les âges extrêmes obtenus: environ 320 Ma d'une part, et 75 à 25 Ma d'autre part, sont typiquement hercyniens et alpins respectivement.

- Les massifs cristallins externes étudiés, Pelvoux, Grandes-Rousses et Belledonne, montrent donc des zones soit exemptes de l'influence alpine, soit au contraire, si affectées par les événements alpins que toute trace isotopique de l'âge de cristallisation hercynien des biotites a été effacée.

- La répartition de ces hétérogénéités n'est pas quelconque. La zone sans influence alpine est restreinte au Sud-Ouest du Pelvoux. Les deux zones les plus affectées par l'Alpin sont le Sud-Est du Pelvoux, et de manière plus surprenante, le Nord-Ouest du massif de Belledonne.

- Entre les deux extrêmes, il y a toute une gradation de l'influence alpine des âges isotopiques qualifiés d'intermédiaires.

IV-2 LA CARTE DES DIFFERENCES ENTRE LES AGES Rb/Sr ET K/Ar

Les mêmes biotites ont souvent été utilisées pour établir les deux cartes précédentes. Aussi les variations régionales observées correspondent-elles, dans la plupart des cas, à une discordance ou à la concordance des âges Rb/Sr et K/Ar mesurés sur un même minéral. C'est pourquoi une carte de différence des âges apparents a été établie (figure 2 c).

Cette carte permet de mieux visualiser le rapport existant entre les deux chronomètres Rb/Sr et K/Ar dans certaines parties des massifs cristallins externes.

Les écarts maximaux se situent dans des secteurs géographiques particuliers, à savoir:

- dans le massif de Belledonne, la vallée de la Maurienne au Nord, et la vallée de l'Eau- d'Olle au Sud,

- dans la bordure orientale et le centre du massif du Pelvoux, La Chapelle-en-Valgaudemar.

D'autre part, les massifs cristallins sont loin d'être des bâtis monolithiques. Bien au contraire, ils sont découpés en une mosaïque de blocs par de nombreux accidents cassants ou ductiles, dont les plus importants sont des chevauchements (BORDET, 1961; CARME, 1970, 1971; LE FORT et PECHER, 1971; BARTOLI et al., 1974; MENARD, 1979). On constate que les secteurs où les différences d'âges apparents sont maximales sont proches des accidents majeurs:

- l'accident médian de Belledonne (vallée de la Maurienne),
- l'accident de Belle-Etoile (basse vallée de l'Eau d'Olle),

- les chevauchements de la bordure orientale du Pelvoux (Combeynot, Ailefroide, Yret, Sirac),
- le chevauchement de la Meije-Olan qui dans sa partie sud rejoint celui du Sirac.

Au contraire, les écarts constatés sont indépendants de la nature pétrographique des massifs étudiés.

V - INTERPRETATION DES RESULTATS - DISCUSSION

Les sensibilités des chronomètres Rb/Sr et K/Ar ne sont pas les mêmes lorsque survient un évènement métamorphique et/ou tectonique postérieur à la cristallisation. Le système K/Ar est en effet plus sensible à une augmentation de la température (HART, 1964). Trois paramètres sont susceptibles de provoquer l'ouverture du minéral biotite pour le 87 Sr ou le 40 Ar: la température (métamorphisme régional), la déformation (cataclase, mylonitisation) et les phases fluides (mobiles ou inertes, hydrothermales). L'action de l'un de ces facteurs ou la combinaison de plusieurs d'entre eux permettent d'expliquer la variation des âges apparents Rb/Sr et K/Ar des biotites. Plusieurs cas de figures sont envisagés (DEMEULEMEESTER, 1982) pour mieux comprendre l'influence du cycle alpin dans le socle "hercynien" de la zone dauphinoise.

V-1 L'INFLUENCE DU METAMORPHISME ALPIN

Compte tenu de l'histoire géologique des Alpes et des types de comportement des systèmes isotopiques Rb/Sr et K/Ar dans le minéral biotite, les résultats confirment l'influence du métamorphisme d'âge alpin. Cependant la répartition des âges apparents et des différences entre les âges Rb/Sr et K/Ar présente un certain nombre d'anomalies.

a) Rappels:

Dans les Alpes occidentales trois épisodes majeurs du cycle orogénique alpin sont reconnus et parfois datés (DAL PIAZ et al., 1972; HUNZIKER, 1974; BOCQUET et al., 1974; TRUMPY et NIGGLI, 1980). Le premier est d'âge crétacé supérieur à post-paléocène (phase éo-alpine), le second est éocène (phase méso-alpine) et le troisième est post-oligocène. Les âges isotopiques pour ces trois phases sont estimés respectivement à 100-60 Ma, 40-35 Ma.

La première phase définie dans cette partie des Alpes occidentales n'affecte que les unités les plus internes du bâti alpin (CARON, 1977). En effet, TRICART (1980) a montré que les unités briançonnaises et ultradauphinoises ne subissent qu'un seul épisode métamorphique avec foliation isoclinale dans la région de Guillestre. Cet épisode est attribué à l'Eocène moyen à supérieur. Enfin, c'est dans la même région que la formation des grès du Champsaur, d'âge oligocène, subit l'ultime phase de recristallisation d'âge miocène. En fait, la distinction dans le temps de ces épisodes n'est pas très bien définie. Les cristallisations et recristallisations apparaissent comme un phénomène continu marqué par des pulsations (CARON, 1977).

b) La relation entre l'âge apparent et l'intensité du métamorphisme

Dans un modèle simple, la logique voudrait que l'âge décroisse régulièrement d'Ouest en Est en fonction de l'intensité croissante du métamorphisme alpin (BOCQUET et al., 1974). Ceci se vérifie pour les résultats K/Ar de la bordure Est des massifs de Belledonne, Grandes-Rousses et Pelvoux, et pour les âges Rb/Sr de l'Est des deux derniers massifs. Cependant, ce schéma est contredit dans deux zones au moins: la proximité de l'accident médian de Belledonne et la partie Sud du chevauchement de la Meije-Olan, dans la région où il se raccorde au coin du Sirac.

Les bordures orientales des trois massifs sont les zones du domaine étudié où le métamorphisme alpin est le plus intense (LE FORT, 1971; BOCQUET et al., 1974; CARON, 1977; SALIOT, 1978; TRICART, 1980). Les âges K/Ar minimaux observés sont de 83 Ma à l'Est de Belledonne (éch. n°26) et de 52 Ma à l'Est du Pelvoux (éch. n°9). Ce dernier résultat est très comparable à ceux obtenus par BONHOMME et al. (1980) sur des fractions fines de l'Oxfordien du Col de Granon (zone briançonnaise), soit

de 58 à 63 Ma par la même méthode. Cet auteur considère ces âges comme étant des âges de recristallisation incomplète de petits micas détritiques de ces deux bordures orientales, il y a une grande différence entre les systèmes Rb/Sr et K/Ar, l'âge K/Ar étant toujours le plus jeune.

A l'opposé, les bordures sud-ouest et sud du Pelvoux (Crupillouse, Vieux-Chaillois, Valjouffrey) ont conservé l'empreinte du métamorphisme hercynien: les âges Rb/Sr des biotites et de manière plus réduite les âges K/Ar sont voisins ou supérieurs à 300 Ma. Or, APRAHAMIAN (1974) a montré que la seule zone bordière des massifs cristallins externes dont la couverture ne soit pas atteinte par l'anchimétamorphisme est le Sud-Ouest du massif du Pelvoux.

Entre ces deux extrêmes, il y a une décroissance plus ou moins régulière des âges apparents, en gros le long d'un profil Sud-Ouest/Nord-Est, par exemple du granite du Rochail à l'Est des Grandes-Rousses.

V-2 L'INFLUENCE DES ACCIDENTS TECTONIQUES MAJEURS

a) Les faits:

D'après la carte de la figure 2 c, il apparaît un lien étroit entre la tectonique et la différence entre les âges Rb/Sr et K/Ar: l'écart est d'autant plus fort que l'on se rapproche d'un accident majeur. Un tel schéma s'applique, au chevauchement Meije-Olan et à l'accident médian de Belledonne.

1) Dans le massif du Pelvoux, l'influence du chevauchement Meije-Olan (et plus particulièrement la partie sud de celui-ci, compte tenu de l'échantillonnage effectué) se fait sentir par la seule diminution des âges apparents K/Ar des phyllites. De plus, la chloritisation des biotites paraît entrer en jeu. En effet, la chloritisation, pratiquement nulle à environ 6,5 km de l'accident, s'accroît progressivement à mesure que l'on s'en approche. La limite externe de la chloritisation correspond bien à celle de l'apparition de différences sensibles entre les chronomètres Rb/Sr et K/Ar (Fig. 3).

2) Dans le massif de Belledonne, la partie située près de l'accident médian est marquée par un rajeunissement général et graduel des âges Rb/Sr et K/Ar des minéraux: soit de 160 à 70 Ma (méthode Rb/Sr) et de 150 à 25 Ma (méthode K/Ar) du Sud-Est vers le Nord-Ouest (Fig. 4). La valeur minimale observée est de 24 Ma par la méthode K/Ar pour la biotite du granite des Sept-Laux, dans la galerie Arc-Isère (éch. n°14). Dans cette région il y a aussi une très forte différence entre Rb/Sr et K/Ar, l'âge K/Ar étant le plus souvent plus jeune que l'âge Rb/Sr de 50 Ma.

b) Interprétation

1) Pour le chevauchement Meije-Olan, marqué le long de tout son parcours par la chloritisation des biotites, la température et les fluides métamorphiques entraînent une destabilisation des biotites hercyniennes dans les conditions du métamorphisme alpin (faciès schistes-verts). Dans ces conditions, il y a un écart significatif entre les deux chronomètres K/Ar et Rb/Sr. Le K/Ar plus sensible traduit cet événement, alors que le chronomètre Rb/Sr reste inchangé. Une explication peut être donnée par analogie avec les phyllites sédimentaires, où CLAUER (1981) et BONHOMME (1982) remarquent le même comportement des systèmes Rb/Sr et K/Ar. Aussi, comme le suggère BONHOMME (1982), l'argon, sans réactivité chimique, est simplement entraîné par le fluide métamorphique, alors que le strontium radiogénique, est retenu par la chlorite, jouant le rôle d'accepteur.

2) Il est possible d'attribuer à un mécanisme voisin les différences d'âges observées près du synclinal médian dans le rameau interne de Belledonne. Cependant, dans cet exemple, la chloritisation des biotites n'est pas significative alors que la déformation, et plus particulièrement la mylonitisation, est prépondérante. En effet, il y a une augmentation des taux de déformation et de recristallisation du Sud-Est vers le Nord-Ouest. La mylonitisation affecte des masses de plus en plus importantes du socle, des gneiss de Saint-Rémy les plus orientaux en direction du granite des Sept-Laux près de l'accident médian (GASQUET, 1979; PONCERRY, 1981).

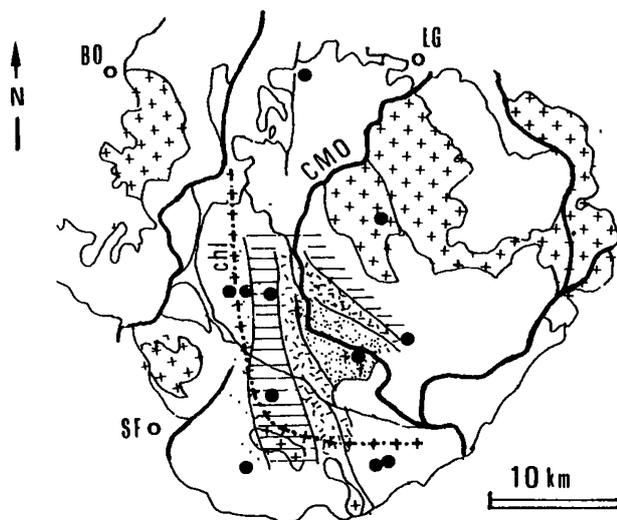


Figure n°3: Carte géologique du Haut Dauphiné avec les contours des âges apparents.
Influence du chevauchement Meije-Olan (CMO)
Geological map of Haut Dauphiné with contour lines of the apparent ages.
Influence of the Meije-Olan thrust fault (CMO)

CMO = Accident de la Meije-Olan

chl = limite externe ou front de chloritisation des biotites
(external limit of chloritization of the biotites)

Différence entre les âges = même légende que pour la figure n°2c.
(For the discrepancy between the ages, see the figure 2 c).

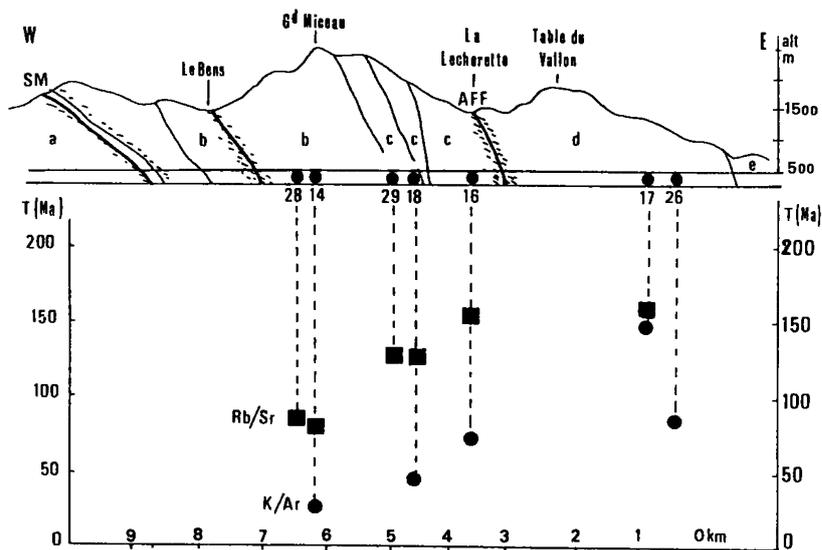


Figure n°4: Distribution des âges apparents Rb/Sr et K/Ar des biotites prélevées dans la galerie Arc-Isère.
Distribution of the Rb/Sr and K/Ar ages of the biotites collected in the Arc-Isère.

Il est aussi possible d'expliquer la perte d'isotopes radiogéniques au Nord-Ouest du Massif de Belledonne, et plus spécialement l'argon radiogénique, par un échauffement local. Une anomalie importante du coefficient de réflectance de la vitrinite a en effet été constatée dans la couverture du Lias-Dogger dans cette région (BARFETY et al., 1985).

En résumé, la mylonitisation, le long de ces accidents majeurs, en fracturant la roche et en diminuant la taille des grains, a pour effets de :

1. augmenter le coefficient de diffusion des isotopes radiogéniques ;
2. favoriser la circulation des fluides ;
3. faciliter les phénomènes de dissolution-recristallisation.

Les âges isotopiques sont les plus affectés par le(s) métamorphisme(s) alpin(s) dans les zones où la conjonction de ces conditions est la plus importante.

V-3 RELATIONS ENTRE LES AGES ISOTOPIQUES ET LES EVENEMENTS ALPINS

a) L'âge du métamorphisme alpin:

Le mécanisme d'ouverture nulle, partielle ou totale évoqué dans l'introduction s'applique tout à fait dans le cas étudié. En conséquence et compte tenu du polyphasage du métamorphisme alpin, il est très aventureux d'attribuer à l'une ou l'autre des phases, la perte d'isotopes radiogéniques mise en évidence dans les biotites, chaque phase pouvant entraîner pour son propre compte une perte plus ou moins complète de l'un ou de l'autre des isotopes radiogéniques.

- Dans l'étude faite par DEMEULEMEESTER (1982) un échantillon du granite des Sept-Laux (Sud du massif de Belledonne) a fourni une isochrone interne potassium-argon (Pl, Rt, Fk et B) avec un âge de 39 ± 7 (2 σ) Ma et un fort excès d'argon 40 (21×10^{-6} cc/g). Or cet âge est précisément celui de l'épisode marqué par l'élévation majeure de la température dans les Alpes ou "phase Lépontine" datée 36 ± 2 Ma par la méthode Rb/Sr dans les Alpes Centrales (HUNZIKER, 1970; JAGER, 1970).

- Dans le Sud-Est du Pelvoux, pour les âges K/Ar les plus jeunes, de 75 à 52 Ma (éch. n°10 et 9), il est exclu que l'épisode éo-alpin, daté entre 100 et 60 Ma environ, soit le seul responsable de ces ouvertures isotopiques, sinon les âges obtenus seraient au moins égaux à 60 Ma.

- Dans le massif du Mont-Blanc, les parties du socle les plus proches du front pennique sont affectées par une schistosité (schistosité S2, VIALON, 1974) et accompagnées de recristallisation: les minéraux sont datés de 40 Ma (LEUTWEIN et al., 1970).

- Cet âge de 40 Ma a également été déterminé par LIEWIG (1981), CABY et BONHOMME (1982) dans la zone des schistes lustrés. Dans ce dernier cas, comme pour le granite des Sept-Laux, dans le Sud de Belledonne, un fort excès d'argon radiogénique a été observé.

Dans ces conditions, les conséquences du métamorphisme sur l'âge apparent des biotites des massifs hercyniens du socle semblent bien avoir été maximales pendant la phase méso-alpine. Plus précisément, l'empreinte de cette dernière est primordiale dans les zones du socle proches des unités internes.

b) Les accidents tectoniques:

Pour le chevauchement Meije-Olan, l'âge K/Ar minimum observé est de 13 ± 8 Ma (éch. n°8), alors que l'âge apparent Rb/Sr du même échantillon reste hercynien (297 Ma). Comme un seul des deux systèmes isotopiques a réagi, il s'agit bien d'un âge "intermédiaire" et il est impossible de savoir quel est l'épisode alpin responsable de l'ouverture isotopique principale. Selon GIDON (1979), l'accident de la Meije a joué essentiellement lors d'une phase tectonique anté-nummulitique. Il a également joué lors des épisodes tectoniques post-nummulitiques, mais ces rejeux tardifs sont de moindre importance et les effets sont plus localisés. L'âge minimal observé

pourrait conforter cette hypothèse. Cependant, bien que les résultats ne soient pas en contradiction avec les arguments de terrain, ils ne suffisent pas à affirmer que la phase éo-alpine soit la principale.

Par contre dans le massif de Belledonne les deux systèmes radiochronologiques sont affectés et les âges minimums Rb/Sr (86 et 72 Ma pour les éch. n°28 et 14) sont à peu près du même ordre de grandeur que l'évènement éo-alpin, alors que l'âge minimum K/Ar de 24 Ma (éch. n°14) pourrait être attribué à la phase tardi-alpine. L'accident médian qui est responsable de la variation des âges apparents, a rejoué à diverses reprises et selon des intensités variables lors des divers épisodes tectoniques alpins. Aussi, comme en témoigne un grand nombre de valeurs isotopiques, nous serions tentés de dire que l'intensité du rejeu de cet accident (et d'autres tels que ceux de Fond de France, Belle-Etoile) a été maximale pendant la phase alpine précoce, et moindre pour la plupart des accidents lors des phases plus récentes. Les chronomètres Rb/Sr plus "résistants" pourraient s'être fermés à la phase éo-alpine, les systèmes K/Ar compris entre 40 et 24 Ma correspondraient à une phase plus tardive, méso-alpine, et les âges les plus jeunes seraient à considérer comme des âges de refroidissement. Cette contradiction apparente entre les deux systèmes peut être résolue en considérant que le système Rb/Sr fournit encore un âge intermédiaire. Au contraire, le système K/Ar totalement ouvert pendant l'épisode métamorphique majeur, n'aurait repassé la limite d'accumulation du produit radiogénique que pendant la phase de refroidissement, lors de la surrection des massifs cristallins. Dans ces conditions, l'épisode de 40 Ma est le seul qui puisse satisfaire l'ensemble de ces observations.

VI) CONCLUSIONS

Les analyses isotopiques Rb/Sr et K/Ar effectuées sur les biotites des massifs cristallins externes des Alpes françaises, ont permis de dresser les cartes d'iso-valeurs et une carte de différences entre les deux méthodes. L'examen des résultats et des cartes permet de dégager les informations suivantes:

(1) La grande majorité des âges isotopiques obtenus sont des âges dits intermédiaires, entre l'âge de la cristallisation hercynienne finale située vers 300 Ma et l'ensemble des divers épisodes du métamorphisme alpin.

(2) La reprise du bâti hercynien pendant le cycle orogénique alpin, s'est faite de façon très inégale selon la position de chaque massif dans la chaîne alpine, et les diverses parties d'un même massif n'ont pas réagi de façon semblable.

(3) Le métamorphisme alpin croît d'Ouest en Est. La reprise isotopique des biotites par ce métamorphisme respecte cette règle en première approximation. L'influence alpine est nulle ou faible dans le Sud-Ouest du Pelvoux. Il ne semble pas que la nature pétrographique de la roche ait quelque influence sur la réponse isotopique de la biotite qu'elle contient.

(4) Mais cette règle souffre deux exceptions notables: l'accident médian de Belledonne et le chevauchement Meije-Olan. Ces deux accidents tectoniques induisent des variations sur les âges, en favorisant surtout l'ouverture isotopique des biotites à l'égard du système K/Ar, avec ou sans recristallisation (chloritisation).

(5) L'accumulation d'âges isotopiques entre 100 et 60 Ma pourrait indiquer que l'épisode éo-alpin ait eu une influence majeure. Cependant, l'existence d'âges très jeunes (52 à 24 Ma) et un cas de réhomogénéisation isotopique locale à 39 Ma (granite des Sept-Laux, sud de Belledonne) suggèrent plutôt que l'ouverture isotopique des biotites a été essentiellement influencée par les épisodes tardifs. Parmi ceux-ci, l'empreinte de la phase méso-alpine serait maximale dans les zones orientales du socle et à proximité des accidents majeurs.

BIBLIOGRAPHIE (BIBLIOGRAPHY)

- APRAHAMIAN J. (1974): La cristallinité de l'illite et les minéraux argileux en bordure des massifs cristallins externes de Belledonne et du Pelvoux (variations et relations possibles avec des événements tectonique et métamorphique alpins). Géologie alpine, 50, p.5-15.
- ARMSTRONG R.L. (1966): K-Ar dating of plutonic and volcanic rocks in orogenic belts. In: Potassium-Argon dating. Schaeffer O.A. et Zähringer J., Eds, Heidelberg, New-York, Springer Verlag, p. 117-133
- ARNOLD A. et JAGER E. (1965): Rb-Sr Altersbestimmungen an Glimmern in Grenzbereich zwischen voralpinen Alterswerten und alpiner Verjüngung der Biotite. Eclogae Geol. Helv., 58, 1 p. 369-390
- BAGGIO P., FERRARA G. et MALADORA R. (1967): Results of some Rb-Sr age determination of the rocks of the Mont-Blanc tunnel. Bull. Soc. Geol. Ital., 86, p. 193-212.
- BARBIERI A. (1970): Etude pétrographique de la partie orientale du massif des Ecrins-Pelvoux. Les granites. Aperçu sur la géochronométrie du massif. Thèse doct. spéc. Géol. app., Univ.Sci. Méd. Grenoble, 117 p., (inédit).
- BARFETY J.C., GIOT D., GONZALEZ G., (1985): - Les paleo-anomalies thermiques liées à la structure alpine - Relation entre le Massif Cristallin de Belledonne et la couverture sédimentaire. Doc. Bur. Rech. Géol. Min., 95,5, p.7-21.
- BARTOLI F., PECHER A. et VIALON P. (1974): Le chevauchement Meije-Muzelle et la répartition des domaines structuraux alpins du massif de l'Oisans (partie nord du Haut-Dauphiné cristallin). Géologie Alpine, 55, p. 17-26.
- BOCQUET J., DELALOYE M., HUNZIKER J.C. et KRUMMENACHER D. (1974): K-Ar and Rb-Sr dating of blue amphiboles, micas and associated minerals from the Western Alps. Contrib. Mineral. Petrol., 47, p. 7-26.
- BONHOMME M.G., (1982): The use of Rb-Sr and K-Ar dating methods as a stratigraphic tool applied to sedimentary rocks and minerals. Precambrian Research, 18, 1-2, p. 5-26.
- BONHOMME M.G., BUFFIERE J.M., MICHEL R., PHILIBERT J., ROQUES M. et VIALETTE Y. (1963): Age absolu du granite du massif du Rochail (secteur du Pelvoux, Isère). C.R. Acad. Sci., Paris, 256, p. 2649-2651.
- BONHOMME M.G., SALIOT P. et PINAULT Y (1980): Interpretation of potassium-argon isotopic data related to metamorphic events in South-Western Alps. Schweiz. mineral. petrog. Mitt., 60, p. 81-98.
- BORDET C. (1961): Recherche géologique sur la partie septentrionale du massif de Belledonne (Alpes Françaises). Mem. hors-série, Carte Géol. France, 218 p.
- BORRADAILLE G.J. et HERMES J.J. (1980): Temporal changes in heat-flow distribution associated with metamorphism in the SW Scottish Highlands and the Lepontine Alps. J. Geol., 88, p. 87-95.
- CABY R. et BONHOMME M.G. (1982): Whole-rock and fine fraction K-Ar isotopic study of radiolarites affected by the alpine metamorphisme: evidence and consequence of excess argon 40. 5th. Internat. Conf. Geochronol. Cosmochronol. Isot. Geol., Nikko, Japan, June 27-July 2, abstract.
- CARME F. (1970): Caractères fondamentaux de l'architecture d'ensemble des chaînes de Belledonne et des Aiguilles-Rouges. Rôle des décrochements. C.R. Acad. Sci., Paris, 273, p.2232-2235.
- CARME F. (1971): Les phases successives de déformation contenues dans l'ensemble Belledonne-Aiguilles Rouges. Rôle des décrochements. C.R. Acad. Sci., Paris, 273, p. 2232-2235.
- CARON J.M. (1977): Lithostratigraphie et tectonique des schistes lustrés dans les Alpes cottiennes septentrionales et en Corse orientale. Sci. Géol., Mém., 48, 326 p.
- CLAUER N. (1981): Rb-Sr and K-Ar dating of Precambrian clays and glauconies. Precambrian Research, 15, p. 331-352.
- DAL PIAZ G.W., HUNZIKER J.C. et MARTINOTTI G. (1972): la zona Sesia-Lanzo e l'evoluzione tettonica-metamorfica delle Alpi nordoccidentali interni. Mem. Soc. Geol. Ital., 11, p. 433-460.
- DALRYMPLE G.B. et LANPHERE A. (1969): Potassium-Argon dating. Principles, techniques and applications to geochronology. W.H. Freeman and Co, San Francisco, 258 p.
- DEMEULEMEESTER P. (1982): Contribution à l'étude radiométrique à l'argon et au

- strontium des massifs cristallins externes (Alpes françaises): distribution cartographique des âges sur biotites et amphiboles. Thèse doct. spéc. Pétrol., Univ. Sci. Méd. Grenoble, 227 p. (inédit).
- DEWEY J.F et PANKHURST R.J.(1970): The evolution of the Scottish Caledonides in relation to their isotopic age pattern. Roy. Soc. Edinburg Trans., 68, 11, p. 361-369.
- GASQUET D. (1979): Etude pétrographique, géochimique et structurale des terrains cristallins de Belledonne et du Grand-Chatenlard traversés par les galeries E.D.F. Arc-Isère (Alpes françaises). Thèse doct. spéc. Pétrol., Univ. Sci. Méd. Grenoble, 230 p. (inédit).
- GAST P.W. (1961): The rubidium-strontium method. Ann. N. Acad. Sci., 91, p. 181-184.
- GIDON M. (1979): Le rôle des étapes successives de déformation dans la tectonique alpine du massif du Pelvoux. C.R. Acad. Sci., Paris, 2288, p. 803-806.
- HARPER C.T. (1967): The geological interpretation of potassium-argon ages of metamorphic rocks from the Scottish Caledonides. Scott. J. Geol., 3, p. 46-66.
- HART S.R.(1964): The petrology and isotopic mineral age relations of a contact zone in the Front Range, Colorado. J. Geol., 72, p. 493-525.
- HUNZIKER J.C.(1970): Polymetamorphism in the Monte-Rosa, Western Alps. Eclogae Geol. Helv., 63, 1, p. 151-161.
- HUNZIKER J.C. (1974): Rb:Sr and K-Ar age determination and the alpine tectonic history of the Western Alps. Mem Inst. Geol. Mineral. Univ. Padova, 31, 54 p.
- JAGER E. (1970): Rb-Sr system in different degrees of metamorphism. Eclogae Geol. Helv., 63, 1, p. 163-172.
- KRUMMENACHER D. et EVERNDEN J.F. (1960): Détermination d'âges isotopiques faites sur quelques roches dans les Alpes par la méthode potassium-argon. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 40, p. 267-277.
- KULP J.L. et ECKELMANN F.D. (1961): Potassium-argon isotopic ages on micas from the Southern Appalachians. Ann. N.Y. Acad. Sci., 91, p. 408-419.
- LE FORT P et PECHER A. (1971): Présentation d'un schéma structural du Haut-Dauphiné cristallin. C.R. Acad. Sci., Paris, 273, p. 3-5.
- LE FORT P. (1973): Géologie du Haut Dauphiné cristallin (Alpes françaises). Etude pétrologique et structurale de la partie occidentale. Mem. Sci. Terre, Nancy, 25, 373 p.
- LEUTWEIN F., POTY B., SONET J. et ZIMMERMANN J.L. (1970): Age des cavités à cristaux du granite du Mont-Blanc. C.R. Acad. Sci., Paris, 271, p. 156-158.
- LIEWIG N. (1981): Les phengites: marqueurs géométriques, chimiques et isotopiques de l'histoire des roches métamorphiques. Application aux Schistes Lustrés des Alpes cottiennes. Thèse doct. Spéc. Géol. Univ. L. Pasteur, Strasbourg, 99 p. (inédit).
- MENARD G. (1979): Relations entre structures profondes et structures superficielles dans le Sud-Est de la France. Essai d'utilisation de données géophysiques. Thèse doct. spéc. Géol. app., I.R.I.G.M., Univ. Sci. Méd. Grenoble, 230 p.,(inédit).
- MORAUW W. (1980): Die permische Differenziation und die alpidische Metamorphose des Granitgneisses von Wolfsberg, Koralpe, S.E. Ostalpen, mit Rb-Sr und K-Ar Isotopenbestimmungen. Tscherm. mineral. petrogr. Mitt., 27, p. 169-185.
- PONCERRY E. (1961): Contribution à l'étude géologique des granitoïdes de Vallorcine, Beaufort, Lauzière, de leur encaissant et des minéralisations uranifères associées. Thèse doct. spéc. Géol. app., Univ. Sci. Méd. Grenoble, 316 p. (inédit).
- PURDY J.W. et JAGER E. (1976): K-Ar ages on rock-forming minerals from the Central Alps. Mem. Inst. Geol. Mineral. Univ. Padova, 30, 31 p.
- SALIOT P. (1978): Le métamorphisme dans les Alpes françaises. Thèse doct. Sci., Univ. Paris XI, Orsay, 183 p. (inédit).
- SATIR M. (1979): Die Entwicklungsgeschichte der westlichen Hohen Tauern und der südlichen Oetztalmasse auf Grund radiometrischer Altersbestimmungen. Mem. Inst. Geol. Mineral. Univ. Padova, 30, 45 p.
- STEIGER R.H. and JAGER E. (1977): Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo - and cosmochronology. Earth Plan. Sci. Letters, 36, p. 359-362.

- TRICART P. (1978): Tectoniques superposées dans les Alpes occidentales, au Sud du Pelvoux. Evolution structurale d'une chaîne de collision. Thèse doct. Sci. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 407 p. (inédit).
- TRUMPY R. et NIGGLI E. (1980): Central Alps. "Geologie des chaînes alpines issues de la Thétys", 26e Cong. Géol. Internat., Coll. C5, p.295-296.
- VIALON P. (1974): Les déformations synschisteuses superposées en Dauphiné. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 54, p. 663-690.

TABLEAU 1. Résultats analytiques Rb/Sr des biotites

| N° Ech. | Minéral | Lithologie, localité | Rb ppm | Sr ppm | $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ +/- 2 % | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ +/- 0.2% | Age convent. T(Ma) +/- 2 σ (*) | Age couple en Ma RT-Min | Ref. Note |
|---------|---------|--|--------|--------|--|---|---|-------------------------------|--------------|
| 1 | BC | Granite de Pétaarel | 884 | 13.8 | 199 | 1.491 | 274 +/--8 | | |
| 2 | BC | Granite de Turbat | 1045 | 37.5 | 83 | 1.037 | 274 +/--8 | | |
| 3 | BC | Granite du Rochail | 625 | 97.4 | 18.7 | 0.788 | 286 +/--8 | 313 +/--9 | |
| 4 | BC | " | 951 | 43.3 | 65 | 0.975 | 283 +/--8 | 290 +/--8 | |
| 5 | B | Gneiss du Pigeonnier | 489.5 | 12.5 | 118 | 1.194 | 286 +/--8 | | |
| 6 | B | Gneiss du Valjouffrey | 466 | 6 | 252 | 1.795 | 302 +/--9 | | |
| 7 | BC | Granite d'Orgières | 598 | 24 | 74 | 0.933 | 210 +/--6 | | |
| 8 | C | Granite du Bourg | 24.5 | 98 | 0.72 | 0.715 | 297 +/--9 | | |
| 9 | BC | Granite du Riou-Blanc | 39 | 64.8 | 1.74 | 0.717 | 194 +/--6 | | |
| 10 | BC | Granite du Tabuc | 39.1 | 18 | 6.28 | 0.735 | 252 +/--6 | | |
| 11 | B | Minette du Petit Chaillo | 860 | 26.7 | 97.5 | 1.156 | 320 +/--9 | | |
| 12 | B | Syénite de Roche Noire | 846 | 21.3 | 120 | 1.165 | 265 +/--8 | | |
| 13 | BC | Gneiss de Bourg d'Oisans | 279 | 23 | 35.7 | 0.861 | 294 +/--9 | | |
| 14 | B | Granite des Sept-Laux (A 6200) | 1004 | 43 | 68 | 0.781 | 72 +/--2 | | |
| 15 | B | Granite des Sept-Laux (Maupas, Eau d'Oille) | 1070 | 50 | 63.3 | 0.931 | 244 +/--7 | | |
| 16 | B | Gneiss de St Rémy | 246 | 38.7 | 18.5 | 0.753 | 155 +/--5 | | |
| 17 | B | Gneiss de Saint- Colomban | 659 | 6.8 | 298 | 1.385 | 159 +/--5 | | |
| 18 | B | Gneiss de St Rémy | 729 | 10.5 | 211.5 | 1.238 | 175 +/--5 | | |
| 19 | BC | Granite de la Lau- zière | 2260 | 51 | 132 | 1.017 | 162 +/--5 | | |
| 20 | B | Gneiss du Col de Montjoie | 512 | 13.2 | 117 | 1.095 | 231 +/--7 | | |
| 21 | B | " | 472 | 12.1 | 117 | 1.098 | 232 +/--7 | | |
| 22 | B | Micaschistes du Rivier | 455.7 | 13.1 | 105 | 1.089 | 253 +/--7 | | |
| 23 | B | Gneiss de Grand - Maison | 210 | 19.3 | 32 | 0.809 | 216 +/--4 | | |
| 24 | B | Amphibolite du Gros Treu | 204 | 33.7 | 18 | 0.762 | 200 +/--4 | | |
| 25 | B | Gneiss du Rissiou- Rocher-Blanc | 445 | 14.1 | 94.5 | 1.066 | 264 +/--8 | | |

TABLEAU 1, suite

| | | | | | | | | | |
|----|----|---------------------------------------|-------|------|------|-------|-----------|----------|---|
| 27 | B | Micaschistes de Saint-Léger | 536 | 13.5 | 118 | 0.928 | 129 +/-4 | | |
| 28 | B | Enclave dans le granite des Sept-Laux | 1107 | 22.7 | 144 | 0.889 | 86 +/-3 | 87 +/-3 | |
| 29 | B | Gneiss de St Rémy | 682 | 19.5 | 103 | 0.896 | 125 +/-4 | | |
| 30 | BC | Granite des Etages | 837.5 | 22.6 | 112 | 1.158 | 280 +/-8 | | |
| 31 | BC | Gneiss de La Lavey | 391.3 | 20.7 | 56 | 0.888 | 222 +/-6 | | |
| 32 | BC | Granite du Clapier | - | - | - | - | 330 +/-9 | | 2 |
| 33 | B | Granite du Rochail | - | - | - | - | 338 +/-16 | | 2 |
| 34 | B | Gneiss d'Allemond | - | - | - | - | 258 +/-18 | | 3 |
| 35 | B | Gneiss de Rochetail-Lée | - | - | - | - | 274 +/-19 | | 3 |
| 36 | C | Enclave dans le GRANITE d'Ailefroide | 106.7 | 65.7 | 4.7 | 0.732 | 294 +/-8 | 155 +/-4 | 1 |
| 37 | C | Granite de Claphouse | 38.4 | 26.9 | 4.13 | 0.722 | 170 +/-4 | 120 +/-3 | 1 |
| 38 | C | Migmatite de Béassac | 36.4 | 20.4 | 5.16 | 0.720 | 106 +/-3 | 190 +/-5 | 1 |
| 39 | B | Micaschiste du Champoléon | - | - | - | - | 302 | | 4 |
| 40 | B | Gneiss de Croupillose | - | - | - | - | 336 | | 4 |
| 41 | C | Granite de la Montagne des Bans | 68.9 | 84.9 | 2.34 | 0.713 | 40 +/-1 | 67 +/-2 | 1 |
| 42 | B | Granite des Sept-Laux | - | - | - | - | 265 +/-6 | | 3 |

Abréviations : B, biotite saine; BC, biotite plus ou moins chloritisée; C, chlorite.
 Références : 1, BARBIERI (1970); 2, BONHOMME (1963); 3, BONHOMME (1963, com. écrit.); 4, SONET (1963).

(*): $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ initial = 0.712

TABLEAU 2. Résultats analytiques K/Ar des biotites.

| N° Ech. | Minéral | Lithologie, localité | % K | 40Ar rad... 10-6cc/g STP | % rad. (*) | Age convent. T(Ma) +/- 2σ | différence (Ma) entre âges Rb/Sr et K/Ar |
|---------|---------|---|------|--------------------------------|---------------|------------------------------|--|
| 1 | BC | Granite de Pétarel | 7.28 | 67.88 | 89.65 | 230 +/-10 | + 44 |
| 2 | BC | Granite de Turbat | 6.93 | 65.35 | 98.55 | 232 +/-10 | + 42 |
| 3 | BC | Granite du Rochail | 4.08 | - | - | - | - |
| 4 | BC | Granite du Rochail | 5.65 | 68.47 | 90.87 | 293 +/-13 | - 10 |
| 5 | B | Gneiss du Pigeonnier | 7.05 | 76.08 | 65.42 | 264 +/-16 | + 22 |
| 6 | B | Gneiss du Valjouffrey | 7.08 | 89.18 | 91.13 | 304 +/-12 | + 12 |
| 7 | BC | Granite d'Orgières | 4.95 | 45.19 | 48.70 | 226 +/-18 | - 16 |
| 8 | C | Granite du Bourg | 0.32 | 1.63 | 62.97 | 130 +/-8 | + 167 |
| 9 | BC | Granite du Riou-Blanc | 0.56 | 1.12 | 38.82 | 52 +/-5 | + 142 |
| 10 | C | Granite du Tabuc | 0.72 | 2.07 | 43.74 | 75 +/-7 | + 176 |
| 11 | B | Minette du Pt-Chaillol | 7.40 | 98.00 | 95.90 | 323 +/-10 | - 3 |
| 12 | B | Syénite de Roche-Noire | 7.17 | 83.86 | 97.89 | 284 +/-12 | - 19 |
| 13 | BC | Gneiss de Bourg d'Oisans | 7.15 | 82.67 | 97.50 | 281 +/-11 | + 13 |
| 14 | B | Granite des Sept-Laux | 7.39 | 6.85 | 87.15 | 24 +/-1 | + 53 |
| 15 | B | Granite des Sept-Laux (Défilé de Maupas) | 7.39 | 32.76 | 96.16 | 113 +/-5 | + 131 |
| 16 | B | Gneiss de Saint-Rémy | 7.46 | 20.70 | 91.25 | 72 +/-3 | + 83 |
| 17 | B | Gneiss de St-Colomban | 7.52 | 44.70 | 71.02 | 149 +/-6 | + 10 |
| 18 | B | Gneiss de Saint-Rémy | 7.50 | 12.07 | 81.39 | 42 +/-2 | + 133 |
| 20 | B | Gneiss du Col de Montjoie | 7.07 | 23.80 | 94.22 | 87 +/-3 | + 144 |
| 21 | B | " | 7.29 | 36.82 | 93.52 | 128 +/-5 | + 104 |
| 22 | B | Micaschistes du Rivier | 6.93 | 40.67 | 95.14 | 148 +/-6 | + 105 |
| 23 | B | Gneiss de Grand'Maison | 6.22 | 37.94 | 97.23 | 154 +/-6 | + 62 |
| 24 | B | Amphibolite Gros Treu | 8.59 | 56.20 | 79.67 | 197 +/-10 | + 3 |
| 25 | B | Gneiss du Rissiou-Rocher Blanc | 7.76 | 45.68 | 88.76 | 149 +/-7 | + 115 |
| 26 | B | Gneiss de Saint-Rémy | 7.54 | 24.22 | 93.95 | 83 +/-3 | |

(*) 40Ar radiogénique/40Ar total en %

| N° Ech. | Localisation | | |
|---------|--------------|-------------|----------|
| | longitude | Latitude | Altitude |
| 1 | E 6°09'43" | N 44°49'25" | 1039m |
| 2 | 6°09'49" | 44°52'21" | 1850m |
| 3 | 6°02'27" | 45°01'30" | 1240m |
| 4 | 6°02'57" | 45°01'28" | 1250m |
| 5 | 6°17'37" | 44°51'09" | 1900m |
| 6 | 6°06'05" | 44°52'34" | 1350m |
| 7 | 6°07'24" | 44°52'57" | 1400m |
| 8 | 6°14'45" | 44°49'32" | 1380m |
| 9 | 6°06'30" | 44°50'08" | |
| 10 | 6°27'00" | 44°59'32" | |
| 11 | 6°07'11" | 44°45'24" | |
| 12 | 6°04'46" | 45°07'17" | 2035m |
| 13 | 6°04'30" | 45°01'53" | 740m |
| 14 | 6°12'23" | 45°22'19" | 500m |
| 15 | 6°03'58" | 45°12'41" | 1280m |
| 16 | 6°14'11" | 45°21'50" | 475m |
| 17 | 6°16'05" | 45°21'17" | 475m |
| 18 | 6°14'15" | 45°23'58" | 1230m |
| 19 | 6°21'09" | 45°26'34" | 2340m |
| 20 | 6°20'08" | 45°26'09" | 2250m |
| 21 | 6°20'08" | 45°26'04" | 2250m |
| 22 | 6°02'26" | 45°10'13" | 930m |
| 23 | 6°07'18" | 45°12'35" | 1730m |
| 24 | 6°06'15" | 45°12'22" | 1550m |
| 25 | 6°05'18" | 45°12'14" | 1460m |
| 26 | 6°16'28" | 45°21'11" | 500m |
| 27 | 6°16'39" | 45°26'06" | 500m |
| 28 | 6°12'04" | 45°22'25" | 500m |
| 29 | 6°13'27" | 45°22'02" | 500m |
| 30 | 6°14'45" | 44°56'29" | 1670m |
| 31 | 6°15'00" | 45°02'23" | 1275m |
| 32 | 6°03'26" | 45°01'13" | 750m |
| 33 | 6°04'05" | 44°49'44" | 970m |
| 34 | 6°01'06" | 45°07'24" | 750m |
| 35 | 6°00'19" | 45°06'55" | 730m |
| 36 | 6°26'24" | 44°53'23" | |
| 37 | 6°25'44" | 44°51'29" | |
| 38 | 6°25'03" | 44°50'00" | |
| 39 | 6°15'44" | 44°45'28" | |
| 40 | 6°16'42" | 44°45'45" | |
| 41 | 6°21'33" | 44°50'20" | |
| 42 | 6°03'54" | 45°12'42" | 1300m |