

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE  
ET MEDICALE DE GRENOBLE

THESE DE DOCTORAT DE SPECIALITE

GÉOLOGIE APPLIQUÉE  
OPTION : PÉTROLOGIE - MÉTALLOGÉNIE

**CONTRIBUTION A L'ETUDE RADIOMETRIQUE  
A L'ARGON ET AU STRONTIUM  
DES MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES  
(Alpes Françaises)**

**distribution cartographique des âges sur  
biotites et amphiboles**

Pierre DEMEULEMEESTER

Thèse soutenue le 26 mars 1982 devant la commission d'examen

MM.	R. MICHEL	Professeur USMG Grenoble	Président
	P. GIRAUD	Professeur USMG Grenoble	Rapporteur
	M. ROQUES	Professeur Clermont-Ferrand	
	G. VIVIER	Ingénieur CNRS	Examineur
	J.C. BAUBRON	Ingénieur BRGM	

## RESUME

Ce travail comporte une étude radiométrique sur minéraux, principalement sur biotites (méthodes Rb/Sr et K/Ar) et amphiboles (méthode K/Ar), et l'étude de quelques granites par la méthode Rb-Sr.

La distribution cartographique des âges obtenus sur les formations cristallophylliennes et granitiques des massifs cristallins externes (Belledonne, Grandes Rousses et Pelvoux) de la zone delphino-helvétique (Alpes Françaises) permet de mettre en évidence :

- un comportement hétérogène des roches et des différents massifs cristallins vis-à-vis de l'orogénèse alpine ;
- une chloritisation de biotites qui est d'âge soit tardi-hercynien, soit crétacé supérieur. Les chlorites de néoformation sont différentes et certainement méso-alpines ;
- l'importance du rôle et de l'influence des accidents majeurs du socle. L'accident médian de Belledonne, ceux de la Meije et de la bordure orientale du Pelvoux ont une zone d'influence bien mise en évidence par les cartes de discordance entre les méthodes Rb/Sr et K/Ar sur biotites.

Une chronologie des événements hercyniens et alpins est aussi précisée :

- une granitisation ancienne probable : Saint-Colomban (à 500 Ma ?) ;
- un métamorphisme ancien, fini calédonien ou hercynien précoce à  $373 \pm 30$  Ma K/Ar sur les amphiboles des séries gneissiques des Grandes Rousses, mais il est peu marqué dans le massif de Belledonne ;
- un métamorphisme hercynien tardif à  $323 \pm 18$  Ma (K/Ar sur les amphiboles, avec des excès d'Ar<sub>40</sub> fréquents). Il est surtout bien marqué dans le massif de Belledonne ;
- une granitisation fini-hercynienne importante produisant le granite du Rochail (NW du Pelvoux) à  $331 \pm 31$  Ma, et celui des Sept-Laux (Belledonne) à  $322 \pm 43$  Ma. Le granite de la Lauzière est le plus tardif, mais il est vraisemblablement repris par des événements tardi-hercyniens à permien (254  $\pm$  17 Ma) ;
- ces derniers sont très importants dans l'ensemble des massifs cristallins :  $288 \pm 10$  Ma (K-Ar sur amphiboles du SE de Belledonne, Rb-Sr des biotites du SW des Grandes Rousses) ;
- une phase alpine précoce (126 à 81 Ma dans le massif de Belledonne 130 à 52 Ma dans celui du Pelvoux) soit éo-alpine (crétacé sup-paléocène). Elle est bien marquée, en particulier par le rejeu important des accidents majeurs du socle (« synclinal » médian, chevauchements de la Meije et de la bordure orientale du Pelvoux) ;
- une phase méso-alpine (Eocène-Oligocène)  $39 \pm 7$  Ma (Belledonne sud) fin à  $27 \pm 5$  Ma (Belledonne nord) ;
- une phase néo-alpine (Miocène moyen) à  $15,4 \pm 1,2$  Ma (phengite de fente alpine) correspond à la surrection du massif de Belledonne.

## MOTS-CLES

Datation K/Ar ; Datation Rb/Sr ; Distributions Géographiques Biotites ; Amphiboles ; Isochrones ; Granites ; Tectonique ; Massifs Cristallins Externes ; Alpes Occidentales Françaises.

PROFESSEURS DE 1ère CLASSE

Mlle AGNIUS DELORD Claudine  
ALARY Josette  
MM. AMBLARD Pierre  
AMBROISE THOMAS Pierre  
ARNAUD Paul  
ARVIEU Robert  
AUBERT Guy  
AYANT Yves  
Mme BAPPIER Marie Jeanne  
MM. BARBIER Jean Claude  
BARBIER Reynold  
BARJON Robert  
BARNOUD Fernand  
BARRA Jean René  
BARRIE Joseph  
BFAUDRING André  
BELORISKY Elie  
BENZAKEN Claude  
Mme DERIEL Hélène  
M. BERNARD Alain  
Mme BERTRANDIAS Francoise  
MM. BERTRANDIAS Jean Paul  
BEZES Henri  
BILLET Jean  
BONNET Jean Louis  
BONNET EYMARD Joseph  
Mme BONNIER Jane Marie  
MM. BOUCHERLE André  
BOUCHET Yves  
BOUCHEZ Robert  
BRAVARD Yves  
BUTEL Jean  
CABANEL Guy  
CARLIER Georges  
CAU Gabriel  
CAUQUIS Georges  
CHARACHON Robert

Biophysique  
Chimie analytique  
Clinique dermatologie  
Parasitologie  
Chimie  
Physique nucléaire  
Physique  
Physique approfondie  
Electrochimie  
Physique expérimentale  
Géologie  
Physique nucléaire  
Biosynthèse de la cellulose  
Statistiques  
Clinique chirurgicale A  
Clinique pédiatrie et puériculture  
Physique  
Mathématiques appliquées  
Pharmacodynamie  
Mathématiques pures  
Mathématiques pures  
Mathématiques pures  
Clinique chirurgicale & traumat.  
Géographie  
Clinique ophtalmologique  
Clinique Hépato-gastro-entéro.  
Chimie générale  
Chimie et toxicologie  
Anatomie  
Physique nucléaire  
Géographie  
Orthopédie  
Clinique rhumatologie et hydro.  
Biologie végétale  
Médecine légale et toxicologie  
Chimie organique  
Clinique O.R.L.

CHATEAU Robert  
CHIBON Pierre  
COEUR André  
COUDERC Pierre  
CRABBE Pierre  
DAUMAS Max  
DEBELMAS Jacques  
DEGRANGE Charles  
DELOBEL Claude  
DELORMAS Pierre  
DENIS Bernard  
DEPORTES Charles  
DESRE Pierre  
DODU Jacques  
DOLIQUE Jean Michel  
DUCROS Pierre  
FONTAINE Jean Marc  
GAGNAIRE Didier  
GASTINEL Noël  
GAVEND Jean Michel  
GEINDRE Michel  
GERBER Robert  
GERMAIN Jean Pierre  
GIRAUD Pierre  
JANNIN Bernard  
JEANNIN Charles  
JOLY Jean René  
KAHANNE André  
KAHANNE Josetta  
KLEIN Joseph  
KOSZUL Jean Louis  
LACAZE Albert  
LACHARME Jean  
LAJZEROWICZ Joseph  
Mme LAJZEROWICZ Jeannine  
MM. LATREILLE René

Clinique neurologique  
Biologie animale  
Chimie analytique et bromoto  
Anatomie pathologique  
C.E.R.MO  
Géographie  
Géologie générale  
Zoologie  
M.I.A.G.  
Pneumo-physiologie  
Clinique cardiologique  
Chimie minérale  
Electrochimie  
Mécanique appliquée (UT I)  
Physique des plasmas  
Cristallographie  
Mathématiques pures  
Chimie physique  
Analyse numérique  
Pharmacologie  
Electro-radiologie  
Mathématiques pures  
Mécanique  
Géologie  
Géographie  
Pharmacie galénique  
Mathématiques pures  
Physique  
Physique  
Mathématiques pures  
Mathématiques pures  
hermodynamique  
Biologie cellulaire  
Physique  
Physique  
Chirurgie thoracique

MM. LATURAZE Jean  
LAURENT Pierre  
LE NOC Pierre  
LLIBOUTRY Louis  
LOISEAUX Jean Marie  
LOUP Jean  
LUU DUC Cuong  
MALINAS Yves  
Mlle MARIOTTE Anne Marie  
MM. MAYNARD Roger  
MAZARE Yves  
MICHEL Robert  
MICOUD Max  
MOURIQUAND Claude  
NEGRE Robert  
NOZIERES Philippe  
OMONT Alain  
OZENDA Paul  
PAYAN Jean Jacques  
PEBAY PEYROULA Jean Claude  
PERRET Jean  
PERRIER Guy  
PIERRARD Jean Marie  
RACHAIL Michel  
RASSAT André  
RENARD Michel  
Mme RENAUDET Jacqueline  
M. REVOL Michel  
Mme RINAUDO Marquerite  
MM. DE ROUGEMONT Jacques  
SARRAZIN Roger  
Mme SEIGLE MURANDI Francoise  
MM. SENDEL Philippe  
SIBILLE Robert  
SOUTIF Michel  
TANCHE Maurice  
VAILLANT Francois  
VALENTIN Jacques  
VAN CUTSEM Bernard  
VAUQUIS Bernard  
VERAIN Alice

Biochimie pharmaceutique  
Mathématiques appliquées  
Bactériologie virologie  
Géophysique  
Sciences nucléaires  
-Géographie  
Chimie générale et minérale  
Clinique obstétricale  
Pharmacognosie  
Physique du solide  
Clinique médicale A  
Minéralogie et pétrographie  
Clinique maladie infectieuses  
Histologie  
Mécanique I.U.T. I  
Spectrométrie physique  
Astrophysique  
Botanique  
Mathématiques pures  
Physique  
Sémiologie médicale (neurologie)  
Géophysique  
Mécanique  
Clinique médicale B  
Chimie systématique  
Thermodynamique  
Bactériologie  
Urologie  
Chimie CERMAY  
Neuro-Chirurgie  
Clinique chirurgicale B  
Botanique et cryogamie  
Biologie animale  
Construction mécanique IUT I  
Physique  
Physiologie  
Zoologie  
Physique nucléaire  
Mathématiques appliquées  
Mathématiques appliquées  
Pharmacie galénique

MM. VERRAIN André  
VIGNAIS Pierre

Biophysique  
Biochimie médicale

PROFESSEURS DE 2ème CLASSE

MM. ARMAND Yves  
AURIAULT Jean Louis  
BEGUIN Claude  
BOITET Christian  
BOUTHINON Michel  
BRUGEL Lucien  
BUISSON Roger  
CASTAING Bernard  
CHARDON Michel  
CHEMIKIAN Alain  
COHEN Henri  
COHENADDAD Jean Pierre  
COLIN DE VERDIERE Yves  
CONTE René  
CYROT Michel  
DEPASSEL Roger  
DOUCE Roland  
DUFRESNOY Alain  
GASPARD Francois  
GAUTRON René  
GIDON Maurice  
GIGNOUX Claude  
GLENAT René  
GOSSE Jean Pierre  
GROS Yves  
GUITTON Jacques  
HACQUES Gérard  
HERBIN Jacky  
HICTER Pierre  
IDELMAN Simon  
JOSELEAU Jean Paul  
JULLIEN Pierre  
KERKOVE Claude  
KRAKOWIACK Sacha  
KUMIN Gérard  
KUPKA Yvon

Chimie IUT I  
Mécanique IUT I  
Chimie organique  
Mathématiques appliquées  
E.E.A. IUT I  
Energetique IUT I  
Physique IUT I  
Physique  
Géographie  
CEA IUT I  
Mathématiques pures  
Physique  
Mathématiques pures  
Physique IUT I  
Physique du solide  
Mécanique des fluides  
Physiologie végétale  
Mathématiques pures  
Physique  
Chimie  
Géologie  
Sciences nucléaires  
Chimie organique  
EEA IUT I  
Physique IUT I  
Chimie  
Mathématiques appliquées  
Géographie  
Chimie  
Physiologie animale  
Biochimie  
Mathématiques appliquées  
Géologie  
Mathématiques appliquées  
Physique IUT I  
Mathématiques pures

MM. LUNA Domingo  
 MACHE Régis  
 MARECHAL Jean  
 MICHOUILLIER Jean  
 Mme MINIER Colette  
 MM. NEMOZ Alain  
 NOUGARET Marcel  
 OUDET Bruno  
 PEFFEN René  
 PELMONT Jean  
 PERRAUD Robert  
 PERRIAUX Jean Jacques  
 PERRIN Claude  
 PFISTER Jean Claude  
 PIERRE Jean Louis  
 Mlle PIERY Yvette  
 MM. RAYNAUD Hervé  
 RICHARD Lucien  
 ROBERT Gilles  
 ROBERT Jean Bernard  
 ROSSI André  
 SAKAROVITCH Michel  
 SARROT REYNAUD Jean  
 SAXOD Raymond  
 Mme SOUTIF Jeanne  
 MM. STUTZ Pierre  
 VIALON Pierre  
 VIDAL Michel  
 VIVIAN Robert

CHARGES D'ENSEIGNEMENT PHARMACIE

M. ROCHAS Jacques  
 M. DEMENGE Pierre

PROFESSEURS SANS CHAIRE (médecine)

MM. BARGE Michel  
 BOST Michel  
 BOUCHARLAT Jacques  
 CHAMBAZ Edmond  
 CHAMPETIER Jean  
 COLOMB Maurice  
 COULOMB Max  
 Mme ETERRADOSSI Jacqueline  
 MM. FAURE Jacques

Mathématiques pures  
 Physiologie végétale  
 Mécanique  
 Physique IUT 1  
 Physique IUT 1  
 Thermodynamique  
 Automatique IUT 1  
 Mathématiques appliquées  
 Métallurgie IUT 1  
 Biochimie  
 Chimie IUT 1  
 Géologie minéralogie  
 Sciences nucléaires  
 Physique du solide  
 Chimie organique  
 Physiologie animale  
 Mathématiques appliquées  
 Biologie végétale  
 Mathématiques pures  
 Chimie physique  
 Physiologie végétale  
 Mathématiques appliquées  
 Géologie  
 Biologie animale  
 Physique  
 Mécanique  
 Géologie  
 Chimie organique  
 Géographie

Hygiène et hydrologie  
 Pharmacodynamie

Neuro-chirurgie  
 Pédiatrie  
 Psychiatrie  
 Biochimie (hormonologie)  
 Anatomie  
 Biochimie  
 Radiologie  
 Physiologie  
 Médecine légale

MM. GROULADE Joseph  
 HOLLARD Daniel  
 HUGONOT Robert  
 JALBERT Pierre  
 MAGNIN Robert  
 PHELIP Xavier  
 REYMOND Jean Charles  
 STIEGLITZ Paul  
 VROUSOS Constantin

MAITRES DE CONFERENCES AGREGES (Médecine)

MM. BACHELOT Yvan  
 BENABID Alim Louis  
 BERNARD Pierre  
 CONTAMIN Charles  
 CORDONNIER Daniel  
 CROUZET Guy  
 DEBRU Jean Luc  
 DYON Jean François  
 FAURE Claude  
 FAURE Gilbert  
 FLOYRAC Roger  
 FOURNET Jacques  
 GAUTIER Robert  
 GIRARDET Pierre  
 GUIDICELLI Henri  
 GUIGNIER Michel  
 JUNIEN-LAVILLAURUY Claude  
 KOLODIE Lucien  
 MALLION Jean Michel  
 MASSOT Christian  
 MOUILLON Michel  
 PARAMELLE Bernard  
 RACINET Claude  
 RAMBAUD Pierre  
 RAPHAEL Bernard  
 SCHAERER René  
 SEIGNEURIN Jean Marie  
 SOTTO Jean Jacques  
 STOEUBNER Pierre

Biochimie (A)  
 Hématologie  
 Gérontologie  
 Histologie  
 Hygiène  
 Rhumatologie  
 Chirurgie générale  
 Anesthésiologie  
 Radiothérapie

Endocrinologie  
 Médecine et Chirurgie  
 Gynécologie obstétrique  
 Chirurgie thoracique  
 Néphrologie  
 Radiologie  
 Médecine interne  
 Chirurgie infantile  
 Anatomie et Organogénèse  
 Urologie  
 Biophysique  
 Hépatogastro-entérologie  
 Chirurgie générale  
 Anesthésiologie  
 Chirurgie générale  
 Thérapeutique (réanimation)  
 Clinique ORL  
 Hématologie biologique  
 Médecine du travail  
 Médecine interne  
 Ophtalmologie  
 Pneumologie  
 Gynécologie-Obstétrique  
 Pédiatrie  
 Stomatologie  
 Cancérologie  
 Bactériologie-virologie  
 Hématologie  
 Anatomie-Pathologique

RESUME

Ce travail comporte une étude radiométrique sur minéraux, principalement sur biotites (méthodes Rb/Sr et K/Ar) et amphiboles (méthode K/Ar), et l'étude de quelques granites par la méthode Rb-Sr.

La distribution cartographique des âges obtenus sur les formations cristallophylliennes et granitiques des massifs cristallins externes (Belledonne, Grandes Rousses et Pelvoux) de la zone delphino-helvétique (Alpes Françaises) permet de mettre en évidence:

- un comportement hétérogène des roches et des différents massifs cristallins vis à vis de l'orogénèse alpine;
- une chloritisation de biotites qui est d'âge soit tardi-hercynien, soit crétacé supérieur. Les chlorites de néoformation sont différentes et certainement méso-alpines;
- l'importance du rôle et de l'influence des accidents majeurs du socle. L'accident médian de Belledonne, ceux de la Meije et de la bordure orientale du Pelvoux ont une zone d'influence bien mise en évidence par les cartes de discordance entre les méthodes Rb/Sr et K/Ar sur biotites.

Une chronologie des événements hercyniens et alpins est aussi précisée:

- une granitisation ancienne probable: Saint Colomban (à 500 Ma ?);
- un métamorphisme ancien, fini calédonien ou hercynien précoce à  $373 \pm 30$  Ma K/Ar sur les amphiboles des séries gneissiques des Grandes Rousses, mais il est peu marqué dans le massif de Belledonne;
- un métamorphisme hercynien tardif à  $323 \pm 18$  Ma (K-Ar sur les amphiboles, avec des excès d'Ar40 fréquents). Il est surtout bien marqué dans le massif de Belledonne;
- une granitisation fini-hercynienne importante produisant le granite du Rochail (NW du Pelvoux) à  $331 \pm 31$  Ma, et celui des Sept-Laux (Belledonne) à  $322 \pm 43$  Ma. Le granite de la Lauzière est le plus tardif, mais il est vraisemblablement repris par des événements tardi-hercyniens à permien (254  $\pm$  17 Ma);
- ces derniers sont très importants dans l'ensemble des massifs cristallins: 288  $\pm$  10 Ma (K-Ar sur amphiboles du SE de Belledonne, Rb-Sr des biotites du SW des Grandes Rousses);

- une phase alpine précoce (126 à 81 Ma dans le massif de Belledonne 130 à 52 Ma dans celui du Pelvoux) soit éo-alpine (crétacé sup-paléocène). Elle est bien marquée, en particulier par le rejeu important des accidents majeurs du socle ("synclinal" médian, chevauchements de la Meije et de la bordure orientale du Pelvoux);

- une phase méso-alpine (Eocène-Oligocène)  $39 \pm 7$  Ma (Belledonne sud) fin à  $27 \pm 5$  Ma (Belledonne nord);

- une phase néo-alpine (Miocène moyen) à  $15,4 \pm 1,2$  Ma (phengite de fente alpine) correspond à la surrection du massif de Belledonne.

====

#### AVANT PROPOS

*Au moment de conclure ce travail, il m'est agréable de remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.*

*Mes remerciements respectueux vont à Monsieur le Professeur R. MICHEL qui a bien voulu me faire l'honneur de présider le Jury.*

*Je voudrais exprimer toute ma gratitude à Monsieur le Professeur P. GIRAUD pour la confiance qu'il m'a sans cesse témoignée.*

*Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur M. ROQUES qui m'a orienté vers ce sujet d'étude, et pour son accueil chaleureux dans son laboratoire.*

*Mes sincères remerciements vont:*

*à Monsieur G. VIVIER qui m'a initié à la géochronologie et à ses techniques. Ses critiques judicieuses ont grandement orienté mes recherches.*

*à Monsieur J.C. BAUBRON qui a accepté de juger ce mémoire et m'a fait profiter d'une partie de ses connaissances.*

*Enfin, merci également à tout le personnel scientifique et technique de l'Institut Dolomieu et de Clermont-Ferrand. Je ne cite pas de noms, de crainte d'en omettre, mais qu'ils sachent que je ne les oublie pas.*

-----

Avec mon meilleur souvenir

O. Drouot

## INTRODUCTION

Les méthodes radiométriques constituent un excellent moyen de connaissance chronologique des événements ayant affecté certaines formations géologiques azoïques.

Les méthodes au strontium et à l'argon sont actuellement parmi les plus employées. Dans la partie externe des Alpes occidentales françaises (zone delphino-helvétique) nous ne possédions jusqu'à présent que peu de données. Il importait donc de disposer d'un plus grand nombre possible de mesures radiométriques. C'est dans les massifs cristallins externes de Belledonne, des Grandes Rousses et du Pelvoux, qui constituent le socle de la zone dauphinoise, que nous avons effectué les études radiométriques.

Les terrains granitiques constituant une grande partie des massifs cristallins, nous leur avons appliqué la méthode Rb-Sr sur échantillons de roches totales.

La sensibilité relative des différents minéraux à un événement (réchauffement) post-formation est l'information la plus précieuse que l'on puisse obtenir d'après l'étude de la distribution des âges apparents qu'ils présentent. L'utilisation des méthodes Rb-Sr et K-Ar couplées est appliquée à l'étude des biotites qui intéressent les massifs de Belledonne, des Grandes Rousses et du Pelvoux. L'étude K-Ar des amphiboles est moins étendue, et concerne essentiellement le rameau interne du massif de Belledonne (bordure orientale du granite des Sept-Laux) et le massif des Grandes Rousses.

### PLAN DE L'ÉTUDE

Les principales subdivisions de ce travail seront les suivantes:

- Une première partie conduit à la présentation géologique des massifs cristallins externes, ce qui permet, d'une part de préciser les connaissances acquises et leurs limites, d'autre part de définir les différentes unités pétrographiques à partir desquelles l'étude géochronologique a été entreprise.

- La deuxième partie expose les moyens que nous nous sommes donnés, c'est-à-dire les méthodes K-Ar et Rb-Sr. Il s'agit principalement de rappels, mais cela nous conduit en définitive à présenter dans la troisième partie les éléments d'interprétation des âges conventionnels et des âges obtenus par isochrone pour les roches plutoniques. Pour éclairer et faciliter la signification des mesures obtenues, des schémas synthétiques d'interprétations sont proposés.

L'exposé des résultats des mesures radiométriques sur minéraux isolés (biotites, muscovites, amphiboles) constitue la quatrième partie. Pour la discussion de leur signification, ces résultats sont regroupés et concernent des ensembles géologiques définis correspondant aux différents massifs cristallins.

L'étude radiométrique Rb-Sr (méthode des isochrones) des granites est présentée dans la cinquième partie. Elle concerne les granites du massif de Belledonne (Saint Colomban, Sept-Laux, Lauzière) et des Grandes Rousses (Rochail, Roche Noire et La Fare). Pour chacun de ces granites nous présentons le contexte géologique sommaire et les résultats de l'étude. Les discussions et interprétations des données sont regroupées dans un même chapitre. Un bref exposé concerne la géochimie des granitoïdes.

On trouvera en Annexe: les techniques de mesures utilisées (Annexes I et II), les caractéristiques précises des prélèvements avec leur localisation et la description pétrographique sommaire des échantillons, les analyses chimiques et les tables de résultats analytiques pour les biotites (Annexe III), muscovites (Annexe IV), amphiboles (Annexe V) et les granites (Annexes VI à X).

====

## THE GEOLOGICAL TIME SCALE FOR THE PHANEROZOIC

ERA	PERIOD	EPOCH	AGE (EUROPE)	AGES IN MILLIONS OF YEARS					
				1	2	3	4	5	
Cenozoic	Quaternary	Holocene	not listed						
		Pleistocene		1	1	1.5-2			
	Neogene	Pliocene Miocene	not listed	11	13	7			
Cenozoic	Paleogene	Oligocene	not listed	25	25	26			
		Eocene Paleocene		40	36	37-38			
				60	58	53-54			
Mesozoic	Cretaceous	Late	Mastrichtian	70 ± 2	63	65	64	64-65	
			Campanian			70		70-71	
			Santonian			76		82	
		Early	Coniacian			82		86	
			Turonian			88		87	
			Cenomanian			94		89-90	
	Jurassic	Malm (Late)	Portlandian			100	102	94	
			Kimmeridgian			106			
			Oxfordian			112			
		Dogger (Middle)	Callovian	135 ± 5	135	136	140		
			Bathonian			146			
			Bajocian Aalenian			151			
Lias (Early)	Toarcian			157					
	Pliensbachian			162					
	Sinemurian Hettangian			167					
Triassic	Late	Rhaetian			172				
		Norian			178				
		Carnian			183				
	Middle	Ladinian	180 ± 5	181	190-195	208			
		Anisian			205?				
		Scythian			215?				
Paleozoic	Permian	Tatarian	225 ± 5	230	225	> 242			
		Kazanian			230				
		Kungurian Sakmarian			240				
	Carboniferous (Pennsylvanian) (Mississippian)	Late	Stephanian			255	258		
			Westphalian Namurian			270 ± 5	280	280	284
		Early	Visean Tournaisian			310	325	335	
Devonian					335	340			
					350 ± 5	345	345	360	

Paleozoic	Permian	Late	Tatarian Kazanian	225 ± 5	230	225	> 242	
		Early	Kungurian Sakmarian	.....	.....	230 240 255-258		
	Carboniferous (Pennsylvanian) (Mississippian)	Late	Stephanian Westphalian Namurian	270 ± 5	280	280	284	
		Early	Visean Tournaisian	.....	310	290-295 310-315 325	335	
	Devonian	Late	Famennian Frasnian	350 ± 5	345	345	360	
		Middle	Givetian Couvinian	.....	.....	353 359		
		Early	Emsian Siegenian Gedinnian	.....	.....	370 374 390		
	Silurian	Late	Ludlovian Wenlockian	400 ± 10	405	395	409	
		Early	Llandoveryan Valentian	.....	.....	..... 430-440		
	Ordovician	Late	Ashgillian Caradocian	440 ± 10	425?	.....	> 436	
		Early	Llandeilian Llanvirnian Arenigian Skiddavian Tremadocian	.....	.....	445 ..... ..... ..... ~500		
			Cambrian	Late	Shidertinian Tuorian	500 ± 15	500	.....
	Middle			Mayan Angan Lenan	.....	.....	515	
	Early	Aldanian		.....	.....	540		
				600 ± 20	600?	570	~564	

1. Holmes (1959)
2. Kulp (1961)
3. Harland et al. (1964)
4. Armstrong and McDowell (1974)
5. Obradovich and Cobban (1975)

in FAURE G. (1977)

## 1 - INTRODUCTION GEOLOGIQUE - PRESENTATION DES MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES

### 1.1. SITUATION DES MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES DANS LES ALPES OCCIDENTALES

### 1.2. ESQUISSE GÉOLOGIQUE DES MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES

#### 1.2.1. GENERALITES

#### 1.2.2. LES MASSIFS DU MONT-BLANC ET DES AIGUILLES-ROUGES

#### 1.2.3. LE MASSIF DE BELLEDONNE

#### 1.2.4. LE MASSIF DES GRANDES-ROUSSES

#### 1.2.5. LE MASSIF DU HAUT DAUPHINE (PELVOUX)

## I.1. SITUATION DES MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES (M.C.E.) DANS LES ALPES OCCIDENTALES

L'arc des Alpes Occidentales est subdivisé en un certain nombre de "zones" (unités structurales majeures). Dans la zone externe ou dauphinoise qui, en Suisse devient la zone helvétique, on distingue un socle anté-triasique et une "couverture mésozoïque et tertiaire". Le socle ancien y apparaît dans les "massifs cristallins externes". La couverture sédimentaire se développe surtout sur le versant ouest, où elle forme les chaînes subalpines, tandis qu'à l'Est elle ne forme plus qu'un étroit liseré (fig.1), (DEBELMAS, 1974, 1980).

Les massifs cristallins externes sont du Nord au Sud, les massifs du Mont-Blanc (MB) et des Aiguilles-Rouges (AR), de Belledonne (B) et des Grandes-Rousses (GR), du Haut-Dauphiné ou Pelvoux (HD) et de l'Argentera-Mercantour (A).

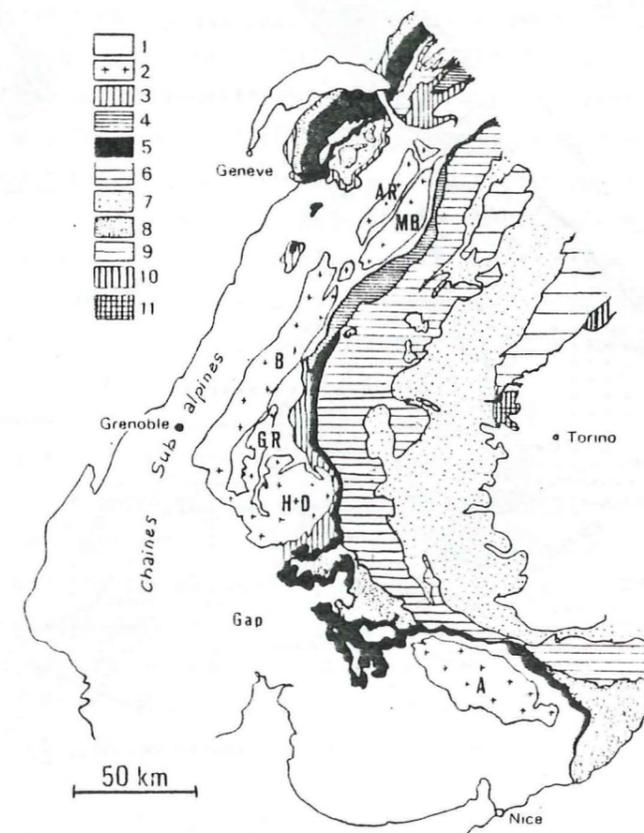


Fig. 1 - Schema structural des Alpes franco-italiennes

- 1 Zone dauphinoise; 2 Massifs cristallins externes; 3 Zone ultradauphinoise; 4 Zone valaisane; 5 Zone subbriançonnaise; 6 Zone briançonnaise; 7 Zone des schistes lustrés; 8 Flyschs neocretacés; 9 Zone Sesia; 10 Zone d'Ivree; 11 Massif de Lanzo.

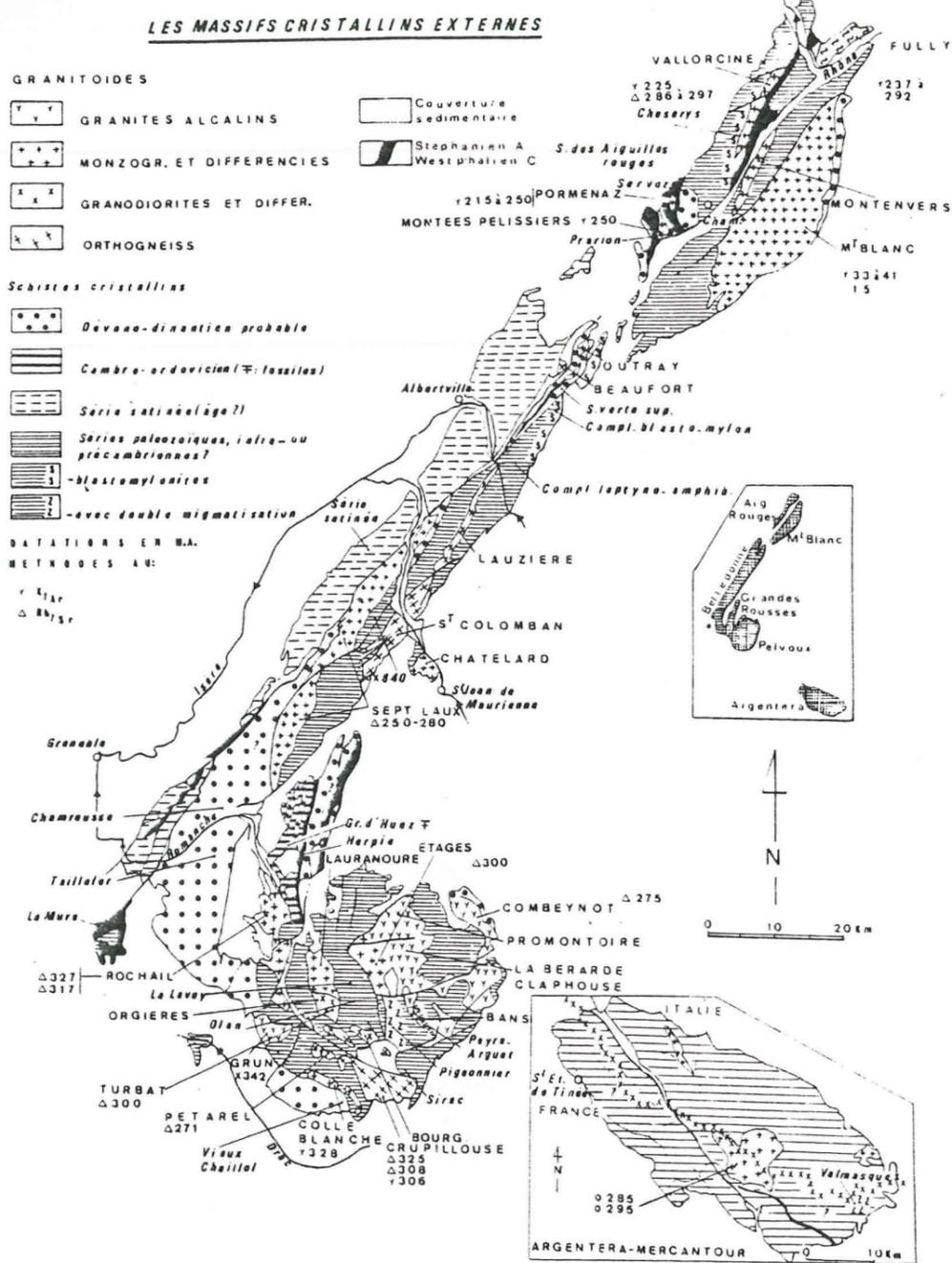


Figure n°. 2 . Les massifs cristallins externes (d'après P. GIRAUD, 1979 in Géologie Alpine, T. 56, 1980)

I.2. ESQUISSE GÉOLOGIQUE DES MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES

1.2.1. GENERALITES (figure 2)

Ils sont constitués de schistes cristallins et de granites très variés au sein desquels les repères chronologiques sont particulièrement rares. En fait les massifs cristallins externes comportent un socle anté-westphalien C - stéphanien A, et des placages et des "synclinaux houillers". C'est pour cela que les M.C.E. sont considérés comme un socle anté-carbonifère ou hercynien. Les plus importants de ces "synclinaux houillers" sont ceux de Servoz (Aiguilles Rouges), de l'Herpie (Grandes-Rousses), de la Mure (Belledonne sud) et du sud de l'Argentera.

L'étude de ce socle est rendue difficile par son morcellement en différents massifs eux-mêmes découpés en une mosaïque de blocs par de nombreux accidents, dont certains coulissants, ont juxtaposé des ensembles d'évolution tectonométamorphique différente (BORDET, 1961 ; CARME, 1971 ; GROS, 1973). De la sorte, à côté de nombreuses études locales qui ont permis de clarifier certains problèmes, les travaux à caractère synthétique sont relativement peu nombreux et surtout contradictoires entre eux. Il s'agit des travaux de C. BORDET (1961) , P. et C. BORDET (1960-1963), KRUMMENACHER et al. (1965), CARME (1971), VON RAUMER (1976). Les divergences portent principalement sur la signification des diverses séries, en particulier sur le type et l'âge des dépôts ainsi que sur la chronologie des événements tectoniques, métamorphiques et magmatiques.

Malgré ces difficultés, nous allons tenter, à l'aide de ces divers travaux, de résumer l'histoire géologique de certains de ces massifs cristallins externes. Parmi ces derniers, les massifs des Aiguilles-Rouges et du Mont-Blanc ne seront décrits que pour référence. Quant au massif de l'Argentera-Mercantour, il ne sera pas évoqué ici. Par contre la présentation des massifs de Belledonne et des Grandes-Rousses, objet de l'étude principale, sera plus particulièrement détaillée. Pour le Haut-Dauphiné, nous nous sommes inspiré des données synthétiques de P. LE FORT et A. PECHER (1971), (1981).

1.2.2. LES MASSIFS DU MONT-BLANC ET DES AIGUILLES ROUGES

Ces deux massifs, séparés par une bande étroite de terrains sédimentaires mésozoïques ("synclinal" ou "zone" de Chamonix, orienté Nord 45°), ont été

rapprochés par un accident alpin à rejeu horizontal important. Le soulèvement différentiel a été modéré pour les Aiguilles-Rouges et beaucoup plus fort pour le Mont-Blanc. Les relations avec le massif de Belledonne sont masquées par les nappes de charriage alpines.

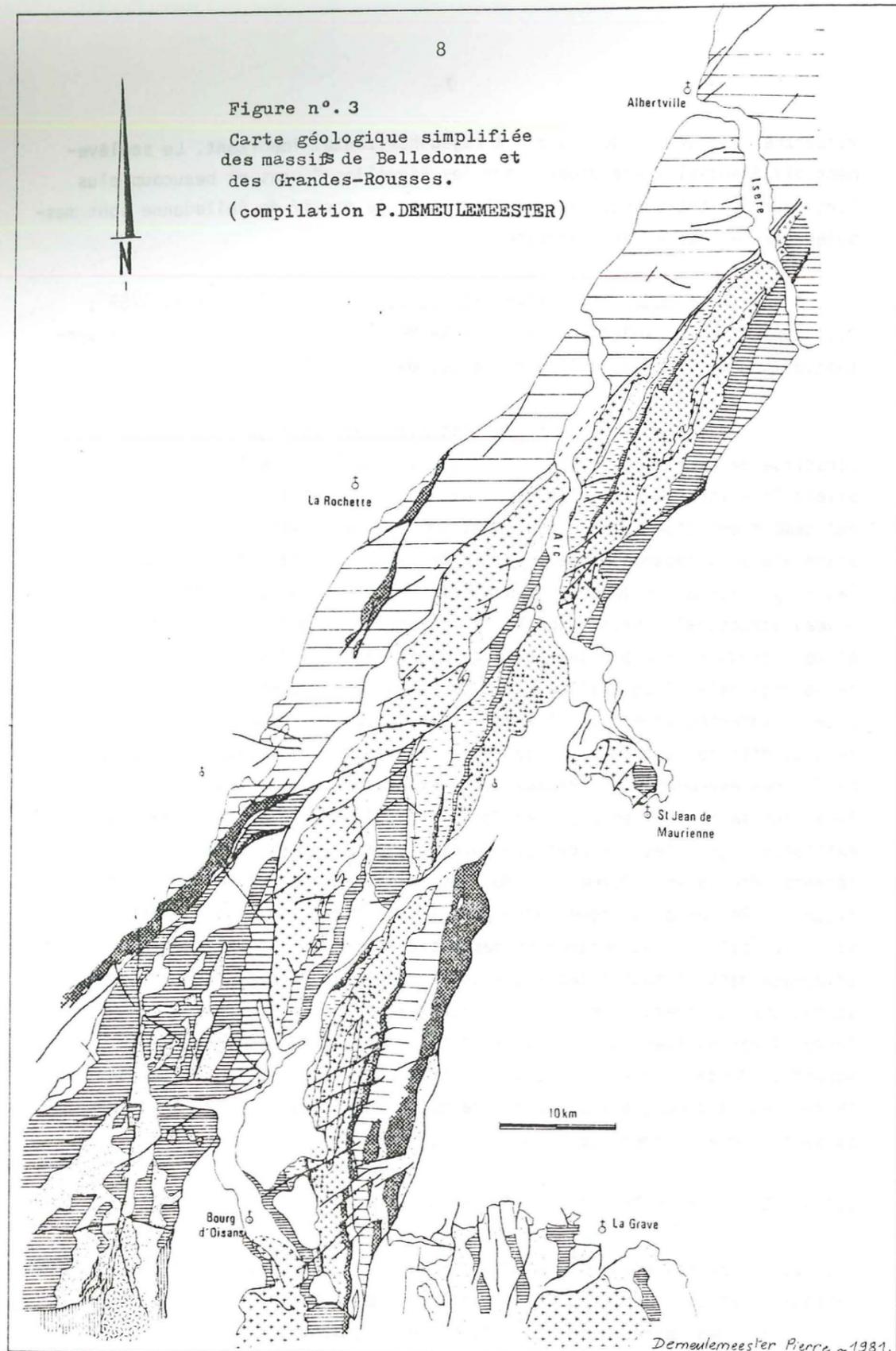
A partir d'études régionales (BELLIERE, 1958 ; KRUMMENACHER, 1959 ; OULIANOFF, 1965 ; LAURENT, 1968). VON RAUMER, 1976 a dégagé un schéma synthétique qu'il a étendu à l'ensemble des massifs cristallins externes.

Le socle des massifs du Mont-Blanc et des Aiguilles Rouges est constitué de schistes cristallins d'âge vraisemblablement précambrien ou paléozoïque inférieur (série des Aiguilles Rouges et schistes du Mont-Blanc) qui témoignent d'un épisode tectonométamorphique ancien (anatexie régionale I - stade élevé du métamorphisme). En fin de cycle à la faveur de mouvements NE-SW, il y a formation de blastomylonites, selon des zones étroites dans niveau structural profond (gneiss de Chéserys). La mise en place de granite et de granodiorite à pinite (série de Fully) est la conséquence d'une anatexie régionale II dont l'âge n'est pas fixé (post-calédonien, hercynien précoce ou intermédiaire ?). A l'échelle des M.C.E., cet événement (métamorphisme à cordiérite) est à relier au rejeu de grands linéaments prévarisques Nord 45. La fin des événements principaux est l'intrusion de granites (d'âge carbonifère) qui se mettent en place en fonction de la mosaïque structurale déjà existante : granites précoces (Vallorcine et Montenvers) puis granites plus récents (Mont-Blanc, Pormenaz - Montées Pélissier). Le dépôt des séries détritiques du Permo-Carbonifère correspond à la destruction et à l'érosion du vieux socle cristallin. Les métamorphismes postérieurs (post-permien et alpins) sont épizonaux dans le massif des Aiguilles-Rouges. Ils donnent une rétomorphose sporadique et irrégulière. Ils sont accompagnés ou suivis de failles d'importances diverses avec ou non des mylonites. Pendant la tectogenèse alpine, le massif du Mont-Blanc est lui aussi découpé par une série de failles (N45) redressées, accompagnées de bandes de mylonitoschistes qui, au SW du massif, passent progressivement de la mésozone à l'épizone.

### 1.2.3. LE MASSIF DE BELLEDONNE (figure 3)

1.2.3.1. Du point de vue structural, le massif de Belledonne est divisé en deux rameaux (LORY ch., 1881), séparés par l'accident (ou "synclinal") médian.

- le rameau externe, à l'Ouest, forme un ensemble cristallophyllien homogène, constitué pour l'essentiel de sérécito-chlorito-schistes : la série



pour la légende se reporter au tableau ci-contre

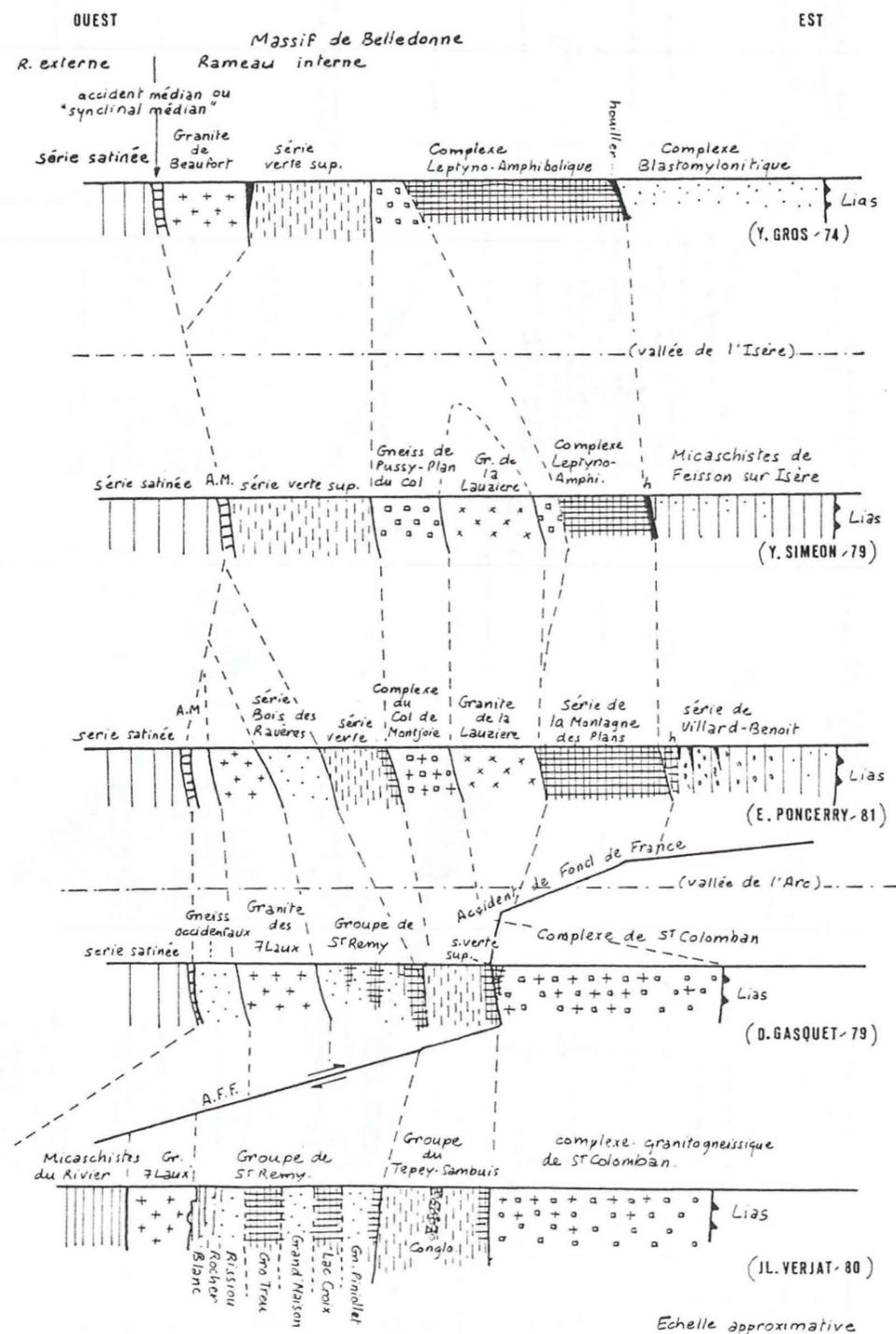
9

Tableau de correspondance des séries, lithologie et chronologie.

AGE	LITHOLOGIE	BELLEDONNE niveau interne SH, niveau externe (s)	BELLEDONNE niveau interne	GRANDES-ROUSSES
Précoléze	Granite admettant l'inf. perche	idem	idem	idem, avec des traces de roches volcaniques (orthopyroxène de P.T.)
St-Jeanien decauplien C	comp. craba, schistes			
<b>GRANITICIDES</b>				
Fernien	Granites et Konzocyanites		Gr. et monzogérite du Complexe de la Lauzière (E.P.) Monzogérite de la Grande-Léchère (E.P.)	Granite du Hochall (J.L.H.)
Hannuain	Granites et Konzodiorites		Gr. d'Épierre, Gr. des Sept-Laux, Gr. de Champodrin, (S.P.), Konzodiorite de Colomban (S.P.)	Granite de Roche-Noire et de Lac-Fère
Précoléze	Monzogranites et différenciés		Granite de Boufort	
Précoléze	Konzogranites associés à des schistes microcristallins		Gr. d'Outray-Roc Blanc	
<b>FORMATIONS HEGACRISTALLES</b>				
anti-Viétois	Gneiss à microcristaux d'origine volcanoclastique		Gr. du Chatais (massif du Grd Chatais)	
	Gneiss porphyroïde orthognéissifié		Gneiss de Pussay-Plan du col (T.S.) Gneiss du Complexe du Col de Montjoie (E.P.) Complexe du Col de Montjoie (E.P.) Complexe de St Colomban	Unité volcanoclastique du Lac-Blanc (L.G.) Granite porphyroïde de l'Alpette
<b>SCHISTES CRISTALLINS</b>				
anti-Steph. ?	Séarite-chlorite-schistes	Série antinée (s) P.B.		Haute-Saranne
	Micaschistes			
Précoléze Paléoz. inf. ?	Schistes chloriteux et séri- citeux, sch. carbonés + congl. associés		Série verte sup. (P.B.)	
	Série type apilite-kérato- phyre	Partie de la série du Talliefer (P.G.)		Schistes d'Illec-Vaujay Cambrien avec les Hétingelléides (L.G.)
	Cécloménats, foyles gréo- pilitique + ou - carbonés			
Précoléze inf. Brioverien sup.	Gneiss massif	Rouperoux - Formation Talliefer Nord (lac) Formation de Livet Formation du Talliefer oriental (P.G.)	Gneiss du Groupe de St Rémy (D.O.) Gneiss du Bois des Ravages (E.P.) Série verte moy. inf. (P.B.)	
	Micaschistes		Gneiss du Finiellet (J.L.V.) Gneiss de Grand-Maison Gneiss du Massif Rocher Blanc (J.L.V.) adria bruns Micasch. du Rivier (J.L.V.) (P.B.)	
	Micaschistes et gneiss fins		Gneiss de la Meque des Plans (S.P.) Complexe leptynomphibolite (T.G.) Lac de la Croix, Gros-Treu (J.L.V.)	Gneiss de Bourg d'Oisans
	Gneiss leptymitiques et leptymites		Complexe biotite-muscovite (T.G.) Complexe biotite-muscovite (T.G.) Villard-Bocot (S.P.)	Gneiss du Groupe du Sauvage (?)
	Gneiss amphiboliques			
	Gneiss amphiboliques et/ou leptynomphibolites	Pont de l'Avoyant Schillienne, Chamrousse Formation de Belledonne		
	Gneiss			

**Terminologie selon:**  
F. BURDET (P.B.), D. BOURGET (D.B.), F. GAGNE (F.G.), D. GAZQUET (D.G.), T. GROS (T.G.),  
L. GIORGI (L.G.), E. PORREY (E.P.), J.L. VERJAF (J.L.V.)

Figure n°. 4 . Coupes schématiques dans le massif de Belledonne  
(correspondance des séries définies par les différents auteurs)



satinée de C. BORDET (1957). Apparemment peu fracturé il forme un vaste dôme à grand rayon de courbure dans la partie nord du massif (synforme et antiforme pour C. BORDET, 1957 et Y. GROS, 1974) et il correspond au flanc normal d'un pli déversé vers l'Ouest (SIMEON, 1979). Au sud, la série est plus réduite.

- Le rameau interne, à l'est, allongé selon une direction SW-NE, présente une lithologie et une structure complexes qui l'opposent fondamentalement au rameau externe. Il est formé par un ensemble de compartiments pétrologiquement différents (leptynites, amphibolites, granites, terrains carbonifères) et d'importance variable. P. et C. BORDET (1963) désignent sous le terme de "clavaux" ces écailles de cristallin plurikilométriques. Les grands accidents tangentiels qui limitent ces blocs, ou "écailles" de socle, sont plus ou moins redressés à leur front. Dans la partie septentrionale du massif, ces accidents sont jalonnés de Trias et même de Lias. Ils délimitent bien les "clavaux" de socle. Par contre, plus au Sud, les blocs sont juxtaposés et les zones mylonitiques d'importance variable délimitent de véritables amygdales. Cette disposition lenticulaire semble être un trait structural ancien lié au cycle hercynien, voire à un cycle antérieur.

- L'accident médian, est aussi appelé "synclinal médian". En certains endroits, il est cicatrisé par des terrains sédimentaires mésozoïques "pincés". Cet accident de socle a joué à diverses reprises et pas toujours dans le même sens. Il apparaît comme le plus externe des chevauchements qui affectent le rameau interne. Dans la partie septentrionale du massif, il fait chevaucher le rameau interne écaillé sur le rameau externe et même sur la couverture dauphinoise (MENARD, 1979 ; TRIBOULET, 1980).

L'étude géologique comparée des massifs de Belledonne et du Mont-Blanc, montre que ces deux massifs, apparemment dans le prolongement l'un de l'autre, présentent des caractères pétrographiques et tectoniques différents. Le massif de Belledonne est plus externe sur le massif du Mont-Blanc qui peut même le chevaucher (TRIBOULET et ELTCHANINOFF, 1980). Les relations avec le massif des Grandes-Rousses, au sud-est, sont délicates. Le massif de Belledonne en est séparé par les terrains liasiques le long de l'accident décrochant du Col du Sabot - Col du Glandon (VERJAT, 1980).

## 1.2.3.2. Schéma synthétique d'évolution du rameau interne

Après les travaux de C. et P. BORDET (1952-1963), de DONDEY (1964), F. CARME (1965-1978) etc..., de récents travaux ont été entrepris à l'Institut Dolomieu (Grenoble) et ont consisté en des études plus détaillées des séries de Belledonne. Les coupes très schématiques de la figure 4 permettent de donner les correspondances entre les différentes séries définies. De l'ensemble de ces études (Y. GROS, 1974 ; Y. SIMEON, 1979 ; D. GASQUET, 1979 ; J.L. VERJAT, 1980 ; E. PONCERRY, 1981) nous pouvons dégager un schéma d'évolution chronologique du rameau interne de Belledonne.

## (1) Dépôt des séries anciennes

Ce sont des séries d'origine essentiellement grauwakeuse, localement grésopélitique et pélitique avec des niveaux volcaniques basiques et/ou acides interstratifiés, bien marqués, mais d'importance variable. Les dépôts se font dans des bassins de sédimentation proches des zones d'apport (groupe de Saint-Rémy, GASQUET 1979). Au sud-est du massif, les séries sont plus importantes. J.L. VERJAT (1980) y distingue : i) le complexe de l'Argentière - Puy Gris avec des séries grauwakeuses (Piniollet, Grand'Maison à dominante basique (Lac de La Croix, Gros Treu), et ii) la série du Rissiou - Rocher Blanc - Le Rivier à dominante grésopélitique et pélitique. Le dépôt de ces séries s'est fait au plus tard durant le Dévonien et plus vraisemblablement du Briovérien au Paléozoïque inférieur.

(2) L'événement métamorphique principal est de stade moyen à élevé. Il est d'intensité variable et provoque localement une migmatisation. Ce "climat magmatique" permet la mobilisation de certains niveaux favorables (GASQUET, 1979). Les conditions sont les suivantes  $T = 635 \pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P = 4 \text{ à } 6 \text{ Kb}$  ( $P_s = PH_{20}$ ). Au Nord, Y. GROS (1974) définit une température de  $600\text{-}630\text{ }^\circ\text{C}$  et  $P > 6,5 \text{ kb}$ , alors qu'au Sud, VERJAT (1980) donne  $T = 500 - 670\text{ }^\circ\text{C}$  et  $P = 2\text{-}11\text{ kb}$ . Ce métamorphisme général se traduit, dans un premier temps, par l'acquisition d'une foliation, puis d'une ou plusieurs phases de plissement isoclinal. L'âge possible de cet événement majeur pourrait être cadomien, calédomien ou hercynien précoce (?).

(3) A la fin de la phase précédente de métamorphisme et de migmatisation, ou lors d'un épisode nettement postérieur, se mettrait en place un complexe "plutonovolcanique", caractérisé dans les parties sud du massif par un granite porphyroïde (s. strict) qui plus au nord est relayé par des faciès plus "subvolcaniques" (D. BONNET, 1982).

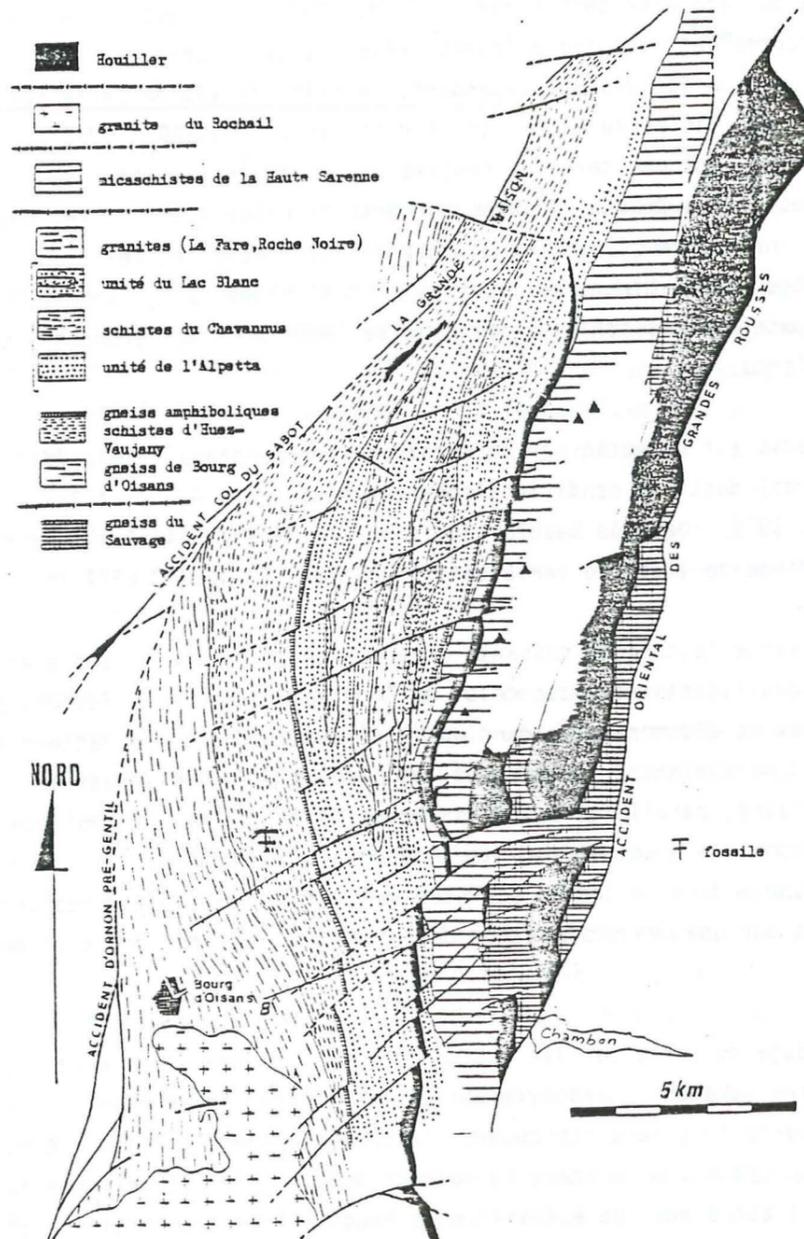
(4) La série supérieure définie par P. et C. BORDET (1961) est constituée essentiellement de schistes. Elle forme des bandes étroites limitées par des accidents tectoniques. Elle correspond vraisemblablement à un remplissage de grabens dans un "socle" ancien prédécoupé. Tous les auteurs, P. et C. BORDET (1961), F. CARME (1965-70), Y. GROS (1974), compte tenu des analogies avec les faciès Culm des Vosges, s'accordent pour lui attribuer un âge dévono-dinantien. Elle constituerait l'un des termes du complexe spilite-kératophyre-flysch de la série du Taillefer défini par F. CARME (1970). La découverte par P. GIBERGY (1968), de crinoïdes dans les dolomies gréseuses de la série du Taillefer, semble indiquer un âge viséen. Cependant, certains faciès de cette série verte, et notamment les faciès du Rochillon décrits par E. PONCERRY (1981) dans la vallée de l'Arc, ont une certaine ressemblance avec les schistes du groupe d'Huez du massif des Grandes-Rousses où certains niveaux ont fourni une faune paléozoïque inférieure (GIORGI et al., 1979). Ceci nous incite à considérer avec prudence l'âge dévono-dinantien classiquement attribué à l'ensemble de cette série, si toutefois les schistes verts de Belledonne et des Grandes-Rousses sont équivalents.

(5) Cette série est affectée par un métamorphisme de stade faible (faciès schistes verts) dont les conditions sont estimées à  $T > 425\text{ }^\circ\text{C}$  et  $P > 4 \text{ Kb}$  (D. GASQUET, 1979). Dans le Beaufortin, selon Y. GROS (1974) les conditions du métamorphisme de la série verte sont :  $380 \text{ }^\circ\text{C} > T > 460\text{ }^\circ\text{C}$  et  $4 \text{ Kb} > P > 7 \text{ Kb}$ .

(6) Une puissante tectonique cassante provoque un découpage du socle et le jeu d'accidents coulissants tels que celui de Fond de France. A la faveur, sans doute de zones de décompression dans un système décrochant, se mettent en place les granites "hercyniens". Ils forment des plutons bien individualisés, d'allure lenticulaire, parallèles à l'allongement de la chaîne. Cet épisode tectonique s'accompagne d'un métamorphisme cataclastique régional et d'une rétro-morphose de socle dans le faciès schistes verts : celle-ci n'est pas uniforme et se traduit par une déstabilisation des biotites, des amphiboles et des plagioclases.

(7) Le découpage du socle par les accidents guide la localisation et l'ouverture de bassins (grabens) carbonifères. La tectonique fini-hercynienne est perceptible parce qu'elle pince du Westphalien supérieur, puis du Stéphalien dans des "synclinaux". A ce stade la surrection du socle est maximale au Permien. Le socle est érodé (pénéplaine) puis recouvert en transgression et discordance par le Trias.

Figure n°. 5 . Schéma structural du massif des Grandes-Rousses.  
( d'après L.GIORGI, 1979 )



(8) L'histoire alpine proprement dite. Les accidents tardi-hercyniens (de type "accident médian") rejouent en décrochements qui évoluent par blocage (rotation) en chevauchement vers le NW. Ils isolent ainsi des écaillés d'épaisseur kilométrique. Un métamorphisme cataclastique épizonal s'observe dans les couloirs de schistosité qui le matérialisent. La rétro-morphose tardi-hercynienne du socle s'accroît. Les phases tectoniques alpines paroxysmales sont cénozoïques (Eocène, Oligocène). Au Miocène, se poursuit la surrection du massif.

#### 1.2.4. LE MASSIF DES GRANDES-ROUSSES (figure 5)

Le massif est découpé en compartiments par de grands accidents N20 à N 30, jalonnés de Houiller et même de Mésozoïque et qui mettent en contact des formations de nature lithologique et d'histoire tectonométamorphique différentes. Le plus important est l'accident de l'Herpie, à remplissage houiller qui sépare deux ensembles.

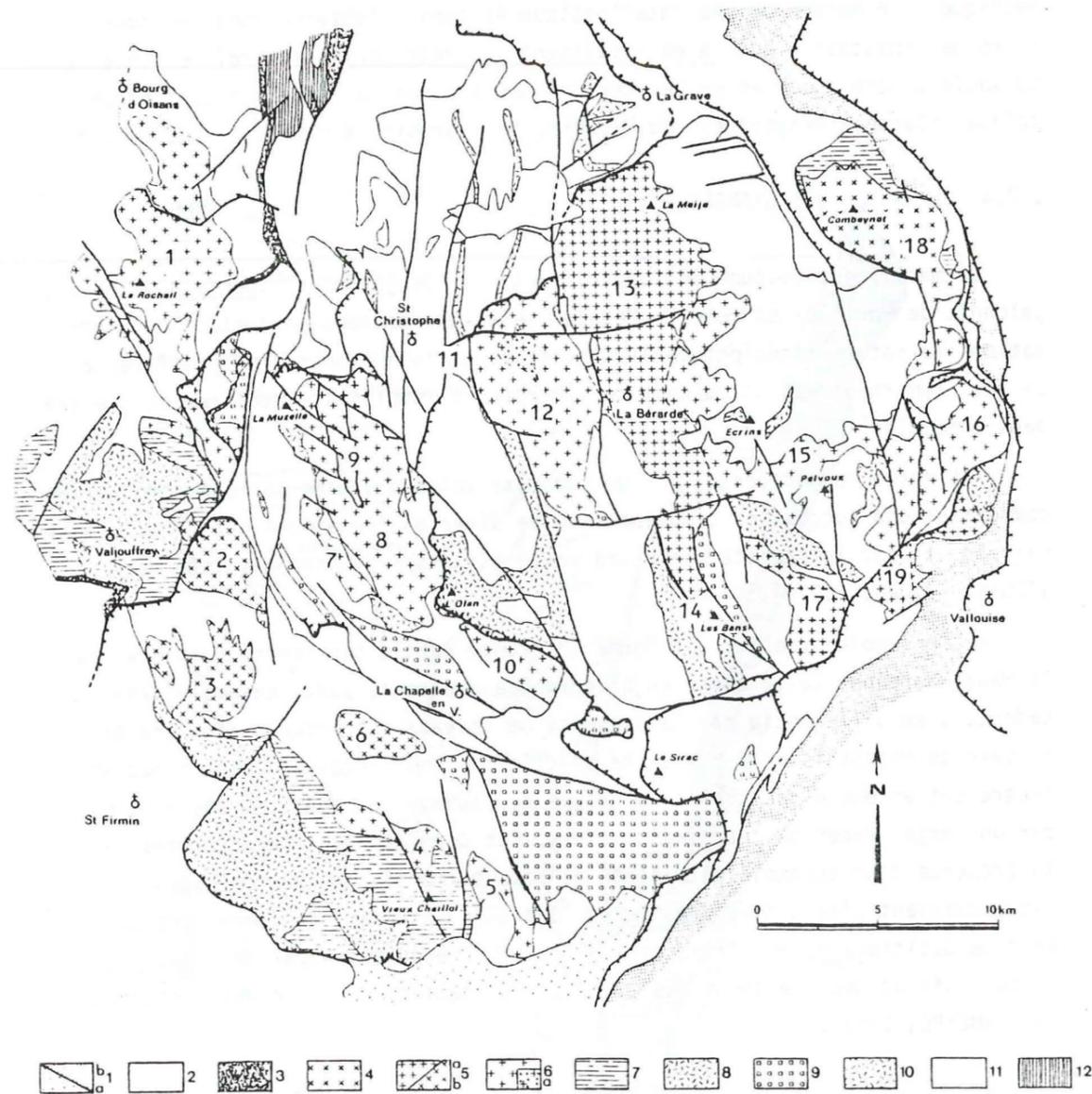
- L'ensemble occidental est un complexe volcano-sédimentaire métamorphique comportant une succession compréhensive de diverses formations. De structure isoclinale, il est interprété comme une vaste structure plissée déversée vers l'Ouest (GIORGI, 1979).

- L'ensemble oriental est formé en grande partie par les micaschistes de la Haute-Sarenne. Cette série en discordance apparente sur l'ensemble précédent, s'en différencie par la présence de niveaux détritiques et arenacés au sein de micaschistes à muscovite et chlorite dominante. L'accident médian sépare cet ensemble des gneiss du groupe du Sauvage qui sont divisés en deux par un large graben de terrain houillers. Ces derniers sont caractérisés par la présence d'un ensemble déritique de base surmonté par un complexe volcanique puissant (les orthophyres de P. TERMIER). Les premières émissions sont de type dacitique ou rhyolitique ; elles sont recouvertes par des trachytes et des tufs acides. Le début des éruptions a été daté du Stéphanien inférieur (J. LAMEYRE, 1958).

A la suite des travaux de P. GIRAUD (1952), J. LAMEYRE (1957), P. et Cl. BORDET (1960-1963), le travail de synthèse effectué par L. GIORGI (1979) permet de dégager un schéma d'évolution anté-carbonifère de la partie occidentale du massif :

(1) L'ensemble volcano-sédimentaire est constitué de plusieurs séries correspondant à des types de dépôts différents :

Figure n°. 6 . Schéma structural du massif du Haut-Dauphiné  
(d'après A. PECHER et P. LE FORT, 1981)



1. Néomilitaire (a : autochtone, b : parautochtone) - 2. Mésozoïque - 3. Houiller - 4. Granite du Combeynot  
5. Granites à mica (a : granite albitique type La Bérarde, b : granites prophyroïdes du Grun et de Pétarel)  
6. Granites de la lignée calco-alcaline (a : faciès à cordiérite du Cray) - 7. Série corticale, faciès à prédominance détritique - 8. Série leptyno-amphibolique corticale - 9. Gneiss ocellés des Bans et de Crupillouse - 10. Amphibolites du Noyau - 11. Migmatites acides du noyau - 12. Cristallin indifférencié des Grandes Rousses.

Granites : 1 = Rochail, 2 = Valsenestre, 3 = Grun, 4 = Colle-Blanche, 5 = Moutières, 6 = Pétarel, 7 = Orgières, 8 = Turbat-Lauranoure, 9 = Berches, 10 = Bourg, 11 = Grsou, 12 = Etages, 13 = La Bérarde - Promontoire et Gioberney, 14 = Bans, 15 & 16 = Pelvoux - Pic de Clouzis, 17 = Rieou-Blanc, 18 = Combeynot, 19 = Claphouze.

- Une série d'abord pélito-grauwackeuse, avec des intercalations de volcanites basiques, (elle forme actuellement les gneiss de Bourg d'Oisans) évolue vers une sédimentation plus fine, argilo-pélitique, au sein de laquelle s'intercalent un banc calcaire, des niveaux détritiques et des roches volcaniques basiques. Ces terrains métamorphisés sous des conditions épi-à-mésozoïques constituent des schistes d'Huez-Vaujany datés du Cambrien par la découverte de Reitlingérellides (GIORGI et al., 1979).

- L'unité de l'Alpetta, massive et relativement homogène représenterait, soit un ancien tuf à cristaux de feldspaths alcalins. (L. GIORGI, 1979), soit un ancien granite porphyroïde (D. BONNET, 1982).

- Au-dessus, des sédiments détritiques et immatures en général (grauwackes) se mêlent avec des produits volcaniques acides pyroclastiques et épicycliques (tufs) en partie synchrones de la sédimentation. Cet ensemble hétérogène constitue l'unité volcano-sédimentaire du Lac Blanc.

- Enfin une bande de sédiments fins (schistes du Chavanus) peu importante semble être postérieure à ces dépôts.

(2) Dans la plupart des faciès, il y a une (des) intrusion(s) granitique (s) avec plusieurs générations de filons plus ou moins congénères. Ce sont les granites de Roche-Noire et de La-Fare associés à des faciès subvolcaniques géochimiquement proches des métavolcanites du Dôme des Petites-Rousses.

(3) L'événement métamorphique principal est de stade moyen à la base apparente de la série (faciès amphibolite à grenat pour les gneiss de Bourg d'Oisans), et de stade faible à son sommet (limite faciès amphibolite à épidote et faciès schistes verts). La structure isoclinale apparente de la série correspondrait en fait à une vaste synforme ou antiforme déversée vers l'Ouest (plutôt une synforme pour L. GIORGI). La déformation se traduit par l'acquisition d'une schistosité foliation, d'une linéation très localement visible des granites et d'un léger plissement des filons granitiques. Cet événement est post-paléozoïque inférieur mais antérieur à l'intrusion hercynienne du granite du Rochail dans les gneiss de Bourg d'Oisans.

#### 1.2.5. LE MASSIF DU HAUT-DAUPHINE (figure 6)

En Haut-Dauphiné, appelé aussi massif des Ecrins ou du Pelvoux, les formations cristallophylliennes comportent des éléments d'âge primaire et peut-être précambrien (P. LE FORT et al. 1969) et sont recoupées par de nombreux

granites hercyniens. P. LE FORT (1971) sépare les formations métamorphiques méso- à catazonales en deux zones : une zone verticale occidentale mésozonale (Chaillol, bas Valgaudemar, bas Valjouffrey, Taillefer) et un noyau, très migmatitique, formant l'essentiel du Haut Massif.

Le noyau, ou zone intérieure de Champoléon-Valgaudemar-Haut-Vénéon et Haute Romanche, est formé de plusieurs unités.

Les formations de La Lavey sont des gneiss et migmatites rubanés acides qui forment l'essentiel du noyau. Leur monotonie est localement interrompue par des amphibolites, par quelques bandes de blastomylonites anciennes, anté-migmatiques ("granulites" à disthène, sillimanite du linéament de la Pilatte, PECHER A., 1970), ou encore par des gneiss oeuillés (gneiss des Bans). Des niveaux amphiboliques forment un horizon repère à travers tout le massif et surmontent ces migmatites acides. Un faciès particulier, les gneiss oeuillés amphiboliques de l'Olan, s'intercale dans cet épais chapeau d'amphibolites rubanées.

Les gneiss oeuillés de Crupillouse, bien qu'isolés tectoniquement, représentent probablement d'anciens massifs de granites porphyroïdes et sont à rattacher à ce noyau. L'ensemble des gneiss du noyau est remobilisé lors d'une seconde migmatisation, particulièrement développée à l'Est du massif ; gneiss migmatitiques du Pigeonnier, granites d'anatexie de Villard d'Arènes. Cet événement de haute température qui, en particulier donne des mobilisats à cordiérite reprend les anciennes paragenèses barroviennes.

Dans l'ensemble cortical, moins métamorphique (au plus à disthène-staurotide) se succèdent des faciès à prédominance détritique, parfois grossiers (conglomérats d'Entraigues ou du Chaillol), des micaschistes carbonés, et après un niveau de cipolin, un ensemble leptyno-amphibolique. La polarité de cette série est encore incertaine : l'ordre de superposition de ces termes s'inverse en effet entre le bas Valjouffrey et la région de Chaillol (P. LE FORT, 1971).

L'âge des séries du noyau reste encore hypothétique. Les gneiss sont antérieurs à la mise en place du granite de Crupillouse qui est lui-même antérieur à la migmatisation à cordiérite (migmatisation hercynienne précoce). Ils pourraient donc être précambriens (?). Les amphibolites sommitales sont peut-être l'équivalent des amphibolites corticales et seraient ainsi plus

jeunes que les gneiss sous-jacents. Les séries corticales montrent la trace d'événements tectono-métamorphiques moins complexes. Elles remanient peut-être les éléments métamorphiques du noyau qui seraient à rechercher dans les conglomérats. Elles correspondent à un cycle volcano-détritique qui se prolonge au Nord dans le massif de Belledonne et présente de fortes analogies avec les complexes volcaniques spilites-kératophyres "hercynotypes" (LE FORT et ERSTROM, 1969).

La période hercynienne y est marquée par un métamorphisme intense mais aussi par des intrusions de granite syntectonique (granite de la Montagne des Bans, Claphouse, Colle Blanche) et surtout post-tectoniques (Etages, La Béarde, Promontone, Combeynot).

Sur des critères essentiellement géochimiques, ces granites ont été répartis en trois groupes (LE FORT, 1971, LE FORT et DEBON 1981, inédit). Une lignée calco-alcaline, monzonitique, un groupe de granites à 2 micas et le granite du Combeynot très potassique.

La part des phénomènes alpins dans l'architecture actuelle des massifs cristallins externes est un point discuté compte tenu de l'imbrication des structures hercyniennes ou antérieures et des structures spécifiquement alpines. Le massif du Pelvoux est loin d'être un bâti monolithique. Bien au contraire, il est découpé en une mosaïque de blocs par de nombreux accidents cassants ou ductiles (existence de blastomylonites au moins en partie alpine ; BARTOLI et al. 1974) dont les plus importants sont des chevauchements. Des travaux récents soulignent l'ampleur de la reprise à l'Alpin des massifs cristallins externes et le rôle des grandes cassures est apparu de plus en plus important (GOGUEL 1963, BARFETY et al. 1968, GIDON et al., 1976, MENARD 1979). Ainsi un modèle pour l'évolution des Alpes occidentales est proposé par P. VIALON (1974) et J. BOUDON et al., (1976). Les trois phases de déformation définies, pourraient être liées à un même processus : serrage Nord-Sud dans une mosaïque de blocs limités par des failles.

Dans le massif du Pelvoux on reconnaît (P. LEFORT et A. PECHER, 1981) :

- une tectonique en distension très précoce, qui dès la fin du Trias est marquée par un volcanisme effusif (laves spilitiques) et intrusif (filons basiques), (BUFFET et AUMAITRE, 1973 ; VATIN-PERIGNON et al., 1974), et par un découpage du socle en blocs s'ordonnant en escalier de failles normales (horst et grabens). Ces failles ne font que rejouer et peuvent coincer des lambeaux de

La couverture sédimentaire donnant ainsi les "synclinaux liasiques".

- des écaillages et des chevauchements, souvent associés à des décrochements verticaux en un système de coins poinçonnant la couverture : chevauchements d'Ailefroide-de-l'Yret, relayés par ceux du Sirac et du Combeynot, chevauchement de la Meije-Muzelle, écaillages de Valsenestre ou de Colle Blanche. D'après M. GIDON (1979) les écaillages du socle sont pour l'essentiel dûs aux serrages NW-SE "anté-sénoniens" bien connus dans le Dévoluy. Les phases de serrage E-W, post-nummulithiques plus modestes, n'ont provoqué qu'un jeu en mosaïque de blocs coulissants (et éventuellement de légers rejeux de chevauchements antérieurs).

## 2 - LES MOYENS DE L'ETUDE METHODES RADIOMETRIQUES K-AR ET RB-SR

### 2.1. LES PRINCIPES DE LA DATATION RADIOMETRIQUE

### 2.2. LA METHODE POTASSIUM-ARGON

2.2.1. PRINCIPE DE LA METHODE

2.2.2. PROBLEMES DE STABILITE DU SYSTEME (EXCES ET PERTES D'ARGON)

2.2.3. SYSTEMES DE RESOLUTIONS GRAPHIQUES

2.2.4. MESURES DE L'  $^{40}\text{Ar}$ , du  $^{40}\text{K}$

### 2.3. LA METHODE RUBIDIUM-STRONTIUM

2.3.1. PRINCIPE DE LA METHODE

2.3.2. CALCUL DE L'AGE PONCTUEL

2.3.3. LA METHODE DES ISOCHRONES

Avant d'exposer les résultats de l'application des méthodes radiométriques aux "massifs cristallins externes" des Alpes françaises, il importe de donner les principes de l'interprétation des données radiométriques et de rappeler brièvement les méthodes de datation basées sur la radioactivité naturelle.

### 2.1. LES PRINCIPES DE LA DATATION RADIOMÉTRIQUE

Ils ont été particulièrement bien exposés par HAMILTON et FARQHAR (1968), FAURE G. (1967), JAGER E. et HUNZIKER J.C. (1979).

La radiochronométrie utilise la transformation, par radioactivité naturelle, d'un isotope radioactif (noyau à structure instable) en un autre isotope stable (nouveau noyau = radiogénique). La vitesse de décomposition radioactive ne dépend en général que de la stabilité des noyaux radioactifs. Elle est indépendante des paramètres extérieurs tels que température, pression ou chimisme.

Les méthodes radiochronologiques K-Ar et Rb-Sr sont basées sur la désintégration radioactive des isotopes 40 K et 87 Rb.

Le nombre d'atomes ( $\Delta N$ ) de l'isotope radioactif qui se désintègre pendant l'intervalle de temps  $\Delta t$  est donc proportionnel au nombre total ( $N$ ) d'atomes radioactifs.

$$(1) \Delta N = - \lambda N \Delta t$$

$\lambda$  est la constante de désintégration (décomposition) caractéristique de l'isotope radioactif (Elle est définie physiquement par comptage direct). En intégrant l'équation (1) on obtient "l'équation de décomposition"

$$(2) N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$N_0$  est le nombre d'atomes de l'isotope radioactif présents au temps  $t = 0$  (moment de mise en marche de l'horloge radioactive);  $N$  est le nombre d'atomes présents au temps  $t$ .

$$\text{On transforme (2) en "équation du temps": } t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{N_0}{N} \quad (3)$$

La quantité  $N'$  d'atomes radiogéniques produits à l'instant  $t$  est

$$(4) N' = N_0 - N = N (e^{\lambda t} - 1)$$

Finalement, l'équation de base de la géochronométrie (équation de l'âge) est:

$$(5) t = \frac{1}{\lambda} \ln \left( 1 + \frac{N'}{N} \right)$$

La vitesse de décomposition d'un isotope est caractérisée par la constante  $\lambda$  ou par le temps de demi-vie (période : T) qui correspond au temps nécessaire à la décomposition de la moitié des atomes de départ ( $N=N_0/2$ ).

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Donc en connaissant le rapport entre le nombre d'atomes radiogéniques et le nombre d'atomes radioactifs actuellement présents, on peut connaître l'âge du système pour autant que celui-ci soit resté fermé (système clos) et que la vitesse de désintégration n'ait pas varié.

## 2.2. LA MÉTHODE POTASSIUM - ARGON (K - AR)

Disposant à l'Institut Dolomieu (Grenoble) de l'appareillage nécessaire à la réalisation des déterminations pour la méthode à l'argon, il était bien naturel que nous cherchions à voir quel pourrait être l'apport de cette méthode à la géochronologie des Alpes occidentales.

Les différents aspects (principe, technique, appareillage et applications) de la méthode à l'argon ont été exposés en détail par de nombreux auteurs. Parmi les travaux récents et très complets de ces différents problèmes, nous renvoyons le lecteur aux auteurs suivants:

MAC DOUGALL I. (1966), DALRYMPLE G.B. et LANPHERE M.A. (1969), CANTAGREL J.M. et ROQUES M. (1971), DONVILLE B. (1973), FONTIGNIE D. (1980).

Rappelons toutefois les points essentiels de cette méthode.

### 2.2.1. PRINCIPE DE LA METHODE

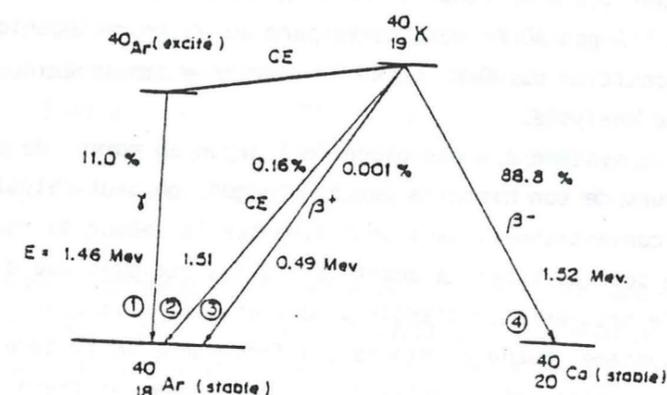
#### a) Décomposition du potassium 40 K

L'isotope 40 du potassium (0,01167 % du K total) présente deux modes de transformation différents et simultanés: il donne d'une part du calcium 40 Ca par radioactivité  $\beta^-$  (dans 88,8 % des cas avec une constante de désintégration partielle  $\lambda\beta = 4,962 \times 10^{-10} \text{ an}^{-1}$ ), d'autre part de l'argon 40 Ar par capture d'électrons ( $\lambda_e = 0,581 \times 10^{-10} \text{ an}^{-1}$ ). Le rapport de branchement ("branching ratio")  $R = \lambda_e / \lambda\beta$  est de 0,11709

BECKINSALE et GALE (1969) présentent le schéma de cette désintégration assez complexé dans le détail (fig. n°7). Il n'est pas possible de baser une géochronométrie sur le rapport  $^{40}\text{Ca} / ^{40}\text{K}$  car le  $^{40}\text{Ca}$  radiogénique ne peut pas être distingué en pratique du Ca naturel très abondant dans l'écorce terrestre.

La méthode K - Ar fondée sur la radioactivité du potassium 40, repose sur le dosage de l'élément radiogénique  $^{40}\text{Ar}$  accumulé.

Figure 7 Schéma de décomposition du  $^{40}\text{K}$   
( d'après BECKINSALE et al, 1969)



Les 4 branches sont : (1), capture électronique (CE) accompagnée par une émission  $\gamma$  ; (2) CE sans émission  $\gamma$  ; (3) émission d'un positon  $\beta^+$  et (4) émission  $\beta^-$ . Sont aussi indiquées les énergies E réalisées dans chaque mode de désintégration et le pourcentage d' $^{40}\text{K}$  qui se désintègre suivant chaque branche.

L'équation (4) des lois de la radioactivité s'écrivant  $^{40}\text{Ar}^* + ^{40}\text{Ca} = ^{40}\text{K} (e^{-\lambda t} - 1)$  et la constante de désintégration totale étant  $\lambda = \lambda_e + \lambda\beta$  et  $R = \lambda_e / \lambda\beta$ , on a:

$$^{40}\text{Ar}^* = \lambda_e / \lambda \ ^{40}\text{K} (e^{-\lambda t} - 1)$$

Ainsi on obtient la formule suivante pour le calcul d'un âge à l'argon:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_e} \frac{^{40}\text{Ar}}{^{40}\text{K}} \right)$$

Dans l'annexe n° I, sont données:

- . d'une part les teneurs moyennes en K dans les roches et les minéraux, les différentes constantes utilisées ainsi que les abondances isotopiques du K et de l'argon;
- . et d'autre part la technique de la détermination des âges.

#### b) L'horloge "Potassium-Argon"

Une roche ou un minéral (un système) contenant un isotope radioactif constitue une "horloge" radioactive qui permet de dater certains événements majeurs. Ceux-ci peuvent être la cristallisation ou le refroidissement du système au-dessous d'une température pour laquelle le système peut être considéré comme fermé.

"L'horloge" K-Ar remplit les conditions suivantes:

- (1) Tout l'Argon  $^{40}\text{Ar}$  dosé correspond au  $^{40}\text{Ar}$  radiogénique produit par la décomposition du  $^{40}\text{K}$ . Le  $^{40}\text{Ar}$  d'origine atmosphérique adsorbé par la substance analysée.
- (2) Si le système n'a pas piégé de l'argon au moment de sa formation et/ou au cours de son histoire (excès d'argon) on peut calculer l'âge à l'argon conventionnel. Ceci veut dire que la valeur du rapport  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  utilisée pour calculer la quantité d'argon radiogénique d'un échantillon est celle mesurée pour l'argon atmosphérique, soit 295.
- (3) Le système (roche ou minéral) a fonctionné en système clos tout au long de son histoire, c'est-à-dire qu'il n'y a ni gain, ni perte de parent ( $^{40}\text{K}$ ) ou de produit ( $^{40}\text{Ar}$  rad).
- (4) Enfin, la vitesse de désintégration de l'isotope  $^{40}\text{K}$  a été constante au cours des temps, quelles que soient les conditions physicochimiques du milieu.

#### 2.2.2. PROBLEMES DE STABILITE DU SYSTEME (ROCHE OU MINERAL)

Les deux plus importants problèmes avec l'horloge K-Ar sont soit l'excès, soit la perte d'argon.

##### a) Problème de l'excès d'argon

Malgré la correction effectuée pour l'argon atmosphérique, en admettant un rapport  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 295$  il arrive occasionnellement que les roches ou minéraux contiennent des quantités d'argon  $^{40}$  clairement en excès vis-à-vis de celui produit "in situ" par la désintégration du  $^{40}\text{K}$ . De tels cas, typiquement reconnus par des âges K-Ar anormalement élevés,

sont en fait relativement peu fréquents, et sont seulement des exceptions importantes en géochronologie K-Ar (voir DAMON P.E., 1968, DALRYMPLE et LANPHERE 1969, FOLAND K.A., 1979).

Selon les auteurs il faut distinguer:

- l'argon  $^{40}$  radiogénique (issu de la désintégration du  $^{40}\text{K}$ );
- l'argon  $^{40}$  environnant, c'est-à-dire l'argon  $^{40}$  présent dans l'environnement extérieur au minéral de référence;
- l'argon  $^{40}$  étranger ("extraneous" argon) c'est tout  $^{40}\text{Ar}$  autre que l'argon  $^{40}$  radiogénique accumulé. DAMON (1968) en distingue plusieurs sortes suivant la manière dont cet argon est incorporé au minéral: argon hérité ("inherited" argon), argon atmosphérique, etc.

Les matériaux à faible teneur en K sont ceux qui sont les plus susceptibles de montrer l'effet d'excès d'argon. Néanmoins, en incorporant de faibles quantités d'argon en excès, même des minéraux relativement riches en K tels que la biotite peuvent montrer cet effet. (Voir BREWER M.S. 1969, WANLESS et al. 1970, GILETTI B.J., 1971, FOLAND K.A., 1979, RODDICK J.C. et al., 1980). En ce qui concerne les amphiboles, la présence d'excès d'argon n'y a été signalée que très exceptionnellement (PEARSON R.C. et al., 1966).

Les mécanismes responsables de cet excès d'argon sont nombreux. Mais la plupart de ceux qui sont invoqués sont basés sur la présence d'une forte pression partielle d'argon (P Ar) lorsque les minéraux franchissent un seuil de température critique au cours d'un refroidissement. Il a même été quelquefois montré que l'argon, représenté par P Ar, peut être un constituant de la phase fluide pendant les processus ignés ou métamorphiques, et des travaux expérimentaux ont montré la liaison entre la P Ar et l'absorption d'argon d'un minéral sous différentes conditions de pression et de température.

Dans quelques exemples rencontrés sur biotites, il est à noter que l'excès d'argon est lié à la proximité de zones de fractures importantes, zones de chevauchements ou zones fortement tectonisées.

En dépit de la variété des cas signalés, il semble que ce problème d'argon étranger excédentaire ne soit pas prépondérant en dehors des mesures effectuées sur des roches très jeunes (KRUMMENACHER D., 1970). S'il est plus souvent présent qu'on ne le suppose, encore faut-il pouvoir le détecter facilement. Cela est possible si l'on connaît par ailleurs, avec précision, l'âge véritable de l'échantillon ou si l'âge calculé est tout à fait aberrant. Mais c'est l'utilisation des diagrammes isochrones qui permet de bien le mettre en évidence (voir plus loin).

## b) Problème des pertes d'argon

La perte d'argon a pour effet de donner des âges sur minéraux trop faibles. Si la perte est complète, l'horloge K-Ar est complètement remise à zéro ("reset") et cela reflète l'évènement qui a causé cette perte. Par contre, si la perte d'argon est incomplète, l'interprétation devient plus complexe. Les phénomènes thermiques sont les principaux responsables de l'ouverture du système. Avec la température, la diffusion de l'argon augmente. Il ne faut cependant plus admettre un déterminisme purement thermique de l'ouverture d'un système vis-à-vis de l'argon. La déformation des réseaux cristallins, par le jeu de la tectonique, est aussi un facteur déterminant de la mobilité de l'argon radiogénique (voir plus loin). On a montré également que l'abrasion pouvait provoquer une perte d'argon; la démonstration en a été faite notamment par le broyage de feldspaths (GENTNER W. et KLEY W., 1957).

## 2.2.3. SYSTEMES DE RESOLUTIONS GRAPHIQUES

Des systèmes graphiques ont été proposés pour mettre en évidence et corriger les excès ou les pertes d'argon. Les systèmes exigent l'utilisation de diverses analyses d'échantillons cogénétiques, c'est-à-dire d'échantillon ayant subi les mêmes pertes et les mêmes contaminations et ayant connu la même histoire. Les systèmes de résolution sont les diagrammes  $40 \text{ Ar} - 40 \text{ K}$ ,  $40/36 \text{ Ar} - 40 \text{ K}/36 \text{ Ar}$  et les diagrammes tridimensionnels.

a) Le diagramme  $40 \text{ Ar} - 40 \text{ K}$  (figure n° 8)

Il s'agit du diagramme de HARPER (1970) appelé aussi diagramme à l'argon initial. Il permet de calculer l'âge d'une série d'échantillon cogénétique et de déterminer la perte ou l'excès de  $40 \text{ Ar}$ . Cependant SHAFIQUILLAN et coll. (1974) ont montré que ce type de diagramme était réservé à des systèmes fermés, ou qui ont été ouverts pour des quantités égales d'Ar. D'autre part, la quantité de  $40 \text{ Ar}$  diffusée dépend uniquement de celle présente, et il ne peut donc pas y avoir une corrélation entre le  $40 \text{ Ar}$  mesuré et le  $40 \text{ K}$  (K %). BAUBRON (1974) précise les domaines d'utilisation de ce diagramme: il permet de déceler une perte d'argon ou de mettre en évidence un excès d'argon (mais à ce stade, il n'est pas possible de connaître la composition isotopique de l'argon excédentaire).

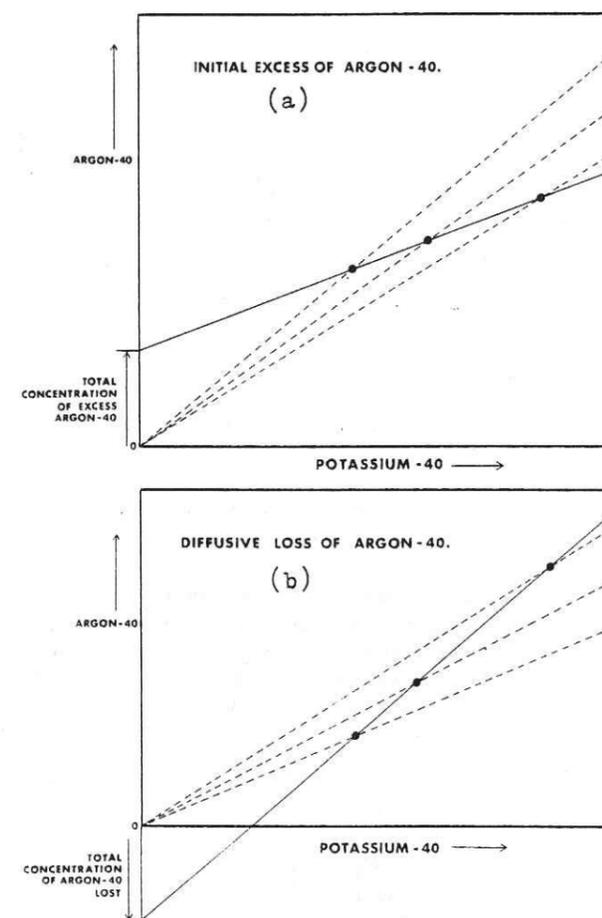


Figure n°. 8 . Solution graphique au problème des pertes d'argon  $40$  radiogénique (d'après HARPER, 1970, p. 121)

Si la droite reliant les trois points passe par l'origine, au moment de la fermeture, le système ne contenait pas d'argon  $40$  initial et depuis ce moment là, il n'a pas subi de perte d'argon  $40$  radiogénique.

Les âges des différents échantillons congénétiques sont concordants et l'âge donné par la droite isochrone est égal à l'âge conventionnel calculé.

- a) excès initial d'argon  $40$
- b) perte par diffusion de l'argon  $40$

LISTE DES TABLEAUX.

- Tableau de correspondance lithologique et chronologique des séries des massifs de Belledonne et des Grandes Rousses .....	9
- Tableau des différentes températures de fermeture des minéraux selon les différentes horloges radiométriques.....	42
- Tableau montrant la sensibilité des méthodes K-Ar et Rb-Sr face à un événement postérieur (métamorphique et/ou tectonique).....	46
- Différents cas envisagés pour l'interprétation des âges Rb-Sr et K-Ar sur biotites (modèles tenant compte des facteurs température, déformation et phases fluides) .....	47
- Différents cas envisagés pour l'interprétation des âges sur isochrone pour les roches plutoniques.....	50
- Ensemble des âges Rb-Sr et K-Ar des biotites (et minéraux en association).	57
- Ensemble des âges Rb-Sr et K-Ar des muscovites .....	65
- Ensemble des résultats sur minéraux pour les parties centrales et occidentales du massif du Pelvoux.....	72
- Ensemble des résultats sur minéraux pour le NW du massif du Pelvoux et des Grandes Rousses .....	78
- Ensemble des résultats sur minéraux pour la partie sud du massif de Belledonne .....	84
- Ensemble des résultats sur minéraux pour la partie nord du massif .....	90
- Ensemble des résultats sur amphiboles du massif de Belledonne .....	96
- Composition chimique moyenne des granites étudiés.....	108

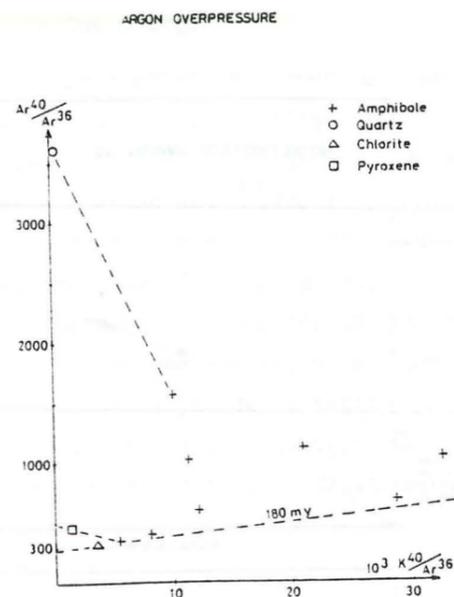


Figure n°. 9 . Diagramme isochrone  $40\text{Ar}/36\text{Ar}$  en fonction de  $40\text{K}/36\text{Ar}$ . Exemple sur les minéraux des unités basales des Alpes occidentales montrant une grande quantité d'argon hérité (d'après BOCQUET et al., 1974 p. 21)

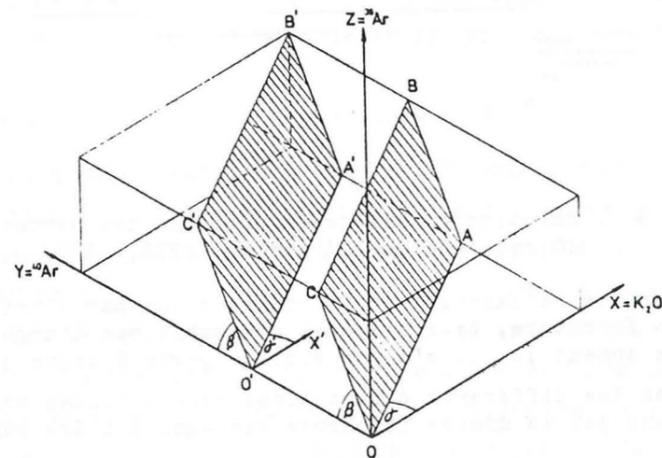


Figure n°. 10 . Diagramme tridimensionnel. Les lignes OA-OA' sont dans le plan  $40\text{Ar}-40\text{K}$ , les lignes OC-OC' dans le plan  $40\text{Ar}-36\text{Ar}$  (d'après MUSSET et MC CORMACK, 1978 p. 1878)

b) Diagramme isochrone  $40\text{Ar}/36\text{Ar} - 40\text{K}/36\text{Ar}$  (figure n°9)

L'expérience a montré que l'argon incorporé par un échantillon au cours de son histoire possédait un rapport isotopique  $40\text{Ar}/36\text{Ar}$  supérieur au rapport de l'Ar atmosphérique (295,5). On pensait que cet argon en excès provenait de l'air et qu'il pouvait être corrigé en mesurant la quantité de  $36\text{Ar}$  présent. Toutefois, plus récemment, il fut mis en évidence un "argon initial" (initial argon) contenant du  $40\text{Ar}$  et du  $36\text{Ar}$  suivant un rapport fixe, mais inconnu (Mc DOUGALL et al., 1969, HAYATSU et CARMICHAEL, 1970; HAYATSU et PALMER, 1975, MELLOR et MUSSET, 1975) et un argon  $40$  hérité (inherited argon) en concentration fixée (WELIN et LUNDQVIST, 1975). Leur présence est mise en évidence en reportant sur un diagramme les rapports  $40\text{Ar}/36\text{Ar}$  en ordonnée et  $40\text{K}/36\text{Ar}$  en abscisse (RODDICK J.C. et FARRAR E., 1971). Les points représentatifs des échantillons cogénétiques s'alignent sur une droite isochrone dont la pente détermine l'âge de la formation. L'ordonnée à l'origine correspond au rapport  $40\text{Ar}/36\text{Ar}$  global. Lorsque celui-ci diffère du rapport isotopique de l'argon atmosphérique, il y a "surpression d'argon" et le diagramme permet de déterminer la valeur approchée, sinon exacte, du rapport isotopique de l'argon excédentaire.

c) Diagrammes tridimensionnels (figure n° 10)

Ces diagrammes tridimensionnels ont été proposés pour interpréter les résultats des analyses K-Ar (MUSSET et al., 1978). Ils possèdent l'avantage de présenter toute l'information isotopique sans la réduire et sans faire d'hypothèse de départ. A la différence des diagrammes isochrones précédents, ils permettent de tester simultanément la présence d'argon initial ("initial" argon de composition isotopique constante) et d'argon en excès ("inherited argon" de concentration constante) pour un exemple d'échantillons contemporains.

2.2.4. MESURES DE  $140\text{Ar}$ , DU  $40\text{K}$ , ET TECHNIQUE UTILISEE

Se reporter à l'annexe I.

### 2.3. LA MÉTHODE RUBIDIUM - STRONTIUM (RB-SR)

L'utilisation de la méthode est résumée par FAURE et POWELL (1972). La technique utilisée pour la détermination des âges au strontium est donnée dans l'annexe n°II.

#### 2.3.1. PRINCIPE DE LA METHODE

La méthode Rb-Sr est basée sur la désintégration du  $^{87}\text{Rb}$  (27,83 % du rubidium total). Cette transformation aboutit au strontium 87, radiogénique par émission d'une particule  $\beta$  avec une période de  $48,8 \times 10^9$  ans.

D'après les lois de la radioactivité, on a (4):  $^{87}\text{Sr}^* = ^{87}\text{Rb} (e^{\lambda t} - 1)$  et (5) :  $t = 1/\lambda \text{Ln} (1 + ^{87}\text{Sr}^* / ^{87}\text{Rb})$ .

Dans un système clos contenant du rubidium, le  $^{87}\text{Sr}$  radiogénique s'ajoute au  $^{87}\text{Sr}$  initial inclus dans ce système au moment de sa formation.

Nous pouvons écrire en utilisant l'isotope  $^{86}\text{Sr}$  comme référence. (COMPSTON et JEFFEREY, 1959):

$$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t = (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_t (e^{\lambda t} - 1) + (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 \quad (1)$$

d'où

$$t \text{ (ans)} = 1/\lambda \text{Ln} \left( 1 + \frac{(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t - (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0}{(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_t} \right)$$

$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t$ ,  $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_t$  sont les rapports isotopiques de l'échantillon au moment de l'analyse (déterminés par spectrométrie de masse),  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  est le rapport isotopique initial au moment de la formation de l'échantillon (quand le système est clos vis à vis du Rb et du Sr).  $\lambda$  est la constante de désintégration du  $^{87}\text{Rb} = 1,42 \times 10^{-11} \text{ an}^{-1}$ .  $t$  est l'âge du système = le temps écoulé depuis la fermeture de l'échantillon (dernière homogénéisation isotopique).

#### 2.3.2. CALCUL DE L'AGE PONCTUEL

La valeur en strontium initial ( $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ ) n'étant pas directement mesurable, une première méthode consiste à choisir une valeur arbitraire pour ce rapport initial qui est celle du Sr commun de l'eau de mer, soit 0,712 (GAST, 1961). On obtient ainsi "un âge au strontium conventionnel". Cette méthode est satisfaisante pour les milieux riches en rubidium (en général les biotites) et les milieux relativement anciens. Le choix de

la valeur de  $Sr_i$  n'a ainsi que peu d'influence, et la valeur élevée du rapport  $^{87}Sr/^{86}Sr$  actuel permet d'obtenir une bonne approximation de l'âge de la fermeture du système. Au-dessus de 15 % de Sr radiogénique, les âges conventionnels fournissent de précieuses indications.

### 2.3.3. LA METHODE DES ISOCHRONES

#### a) Modèle fondamental

Cette méthode permet en travaillant sur plusieurs milieux de rapports Rb/Sr différents, de lever le doute sur la valeur du rapport isotopique initial, en le déterminant graphiquement (NICOLAYSEN, 1961).

L'équation chronométrique (1) représente l'équation d'une droite dans un diagramme  $^{87}Sr/^{86}Sr$  -  $^{87}Rb/^{86}Sr$ ; la pente ( $e^{\lambda t} - 1$ ) donne l'âge  $t$  et l'ordonnée à l'origine la valeur du rapport initial ( $Sr_i$ ) (fig.n°11).

Tous les sous-systèmes, roches totales ou minéraux, s'alignent sur une droite ou "isochrone":

- (1) s'ils proviennent d'un même corps parent magmatique, ils sont synchrones et cogénétiques;
- (2) s'ils ont le même rapport isotopique initial, l'homogénéisation isotopique de départ est totale;
- (3) s'ils sont restés clos.

#### b) Signification d'une isochrone

Il est nécessaire d'effectuer l'analyse du plus grand nombre possible d'échantillons afin de tracer la meilleure droite statistique et de tester si les conditions fondamentales énoncées précédemment sont réalisées.

La pente de cette droite ou "isochrone" est déterminée par le calcul de la régression selon WILLIAMS (1968). A ce calcul s'ajoute celui de l'indice des déviations pondérées (M.S.W.D. ou "mean square weight deviation") défini par Mc INTYRE et coll. (1966). Cet indice fournit des renseignements sur la validité de l'isochrone et sa valeur doit être la plus faible possible. Lorsque le "M.S.W.D." est inférieur à 1, cela signifie que pour chaque point, statistiquement la distance à l'isochrone est inférieure aux erreurs de mesures. La valeur 1 est le critère pour un nombre infini de points sur l'isochrone. BROOKS et al. (1972) ont donné des tables de valeurs admissibles pour le MSWD en fonction du nombre de points de l'isochrone.

Une erreurchrone ("errochrone") signifie une dispersion des points autour de la droite statistique et la déviation est en dehors des limites tolérées. Toutes les conditions préalables ne sont pas remplies.

Pour qu'il y ait isochrone, il faut qu'à un moment donné il y ait eu homogénéisation isotopique du  $^{87}Sr$  à une certaine échelle qui peut varier de celle de l'échantillon (minéraux adjacents) à celle de tout un massif rocheux.

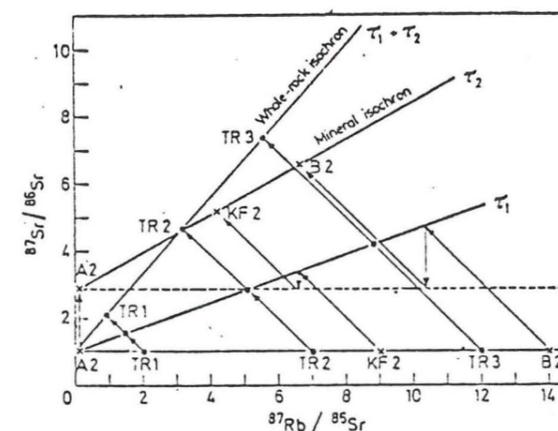


Figure n°. 11 .

Diagramme isochrone montrant l'homogénéisation isotopique durant le métamorphisme, sur les minéraux (KF2 et B2) au temps  $T_2$ . Les roches totales ne sont pas affectées par le métamorphisme et donnent l'âge de cristallisation  $T_1+T_2$ .

( d'après FAURE et POWELL, 1972)

TR : roche totale  
A : apatite  
KF : feldspath K  
B : biotite

- s'il y a eu homogénéisation isotopique des minéraux, l'isochrone des minéraux indique le temps passé depuis cette réhomogénéisation (phase de métamorphisme);
- si les roches totales sont restées des systèmes clos pendant la réhomogénéisation des minéraux, l'isochrone des roches totales donne le temps écoulé depuis la cristallisation, donc "l'âge" des roches (ou de la formation);
- si les roches totales se sont comportées comme des systèmes ouverts pour le Rb et le Sr, et si les minéraux se sont isotopiquement réhomogénéisés, l'isochrone minéraux indique le moment de la dernière fermeture des minéraux, mais l'âge exact des roches totales ne peut pas être déterminé par

la méthode Rb-Sr (ALLEGRE, 1967; HAMET, 1975; DUTHOU, 1977).

Les différentes interprétations possibles pour le cas des roches plutoniques seront énoncées plus loin. Mais le cas des roches métamorphiques (ortho- ou paradéviées) est plus délicat, surtout s'il s'agit de roches ayant subi plusieurs épisodes tectonométamorphiques, et il ne sera pas traité ici.

### 3 - GENERALITES SUR LA SIGNIFICATION DE MESURES RADIOMETRIQUES

#### 3.1. ELÉMENTS D'INTERPRÉTATION DES ÂGES CONVENTIONNELS

- 3.1.1. RAPPELS SUR LA SIGNIFICATION DES MESURES ISOTOPIQUES
- 3.1.2. COMPORTEMENT DES MINÉRAUX
- 3.1.3. NOTION DE TEMPERATURE DE FERMETURE
- 3.1.4. MODELES CLASSIQUES D'INTERPRÉTATION
- 3.1.5. MODELES PROPOSES DANS CETTE ETUDE

#### 3.2. INTERPRÉTATION DES ÂGES OBTENUS PAR ISOCHRONE

- 3.2.1. UTILISATION D'UN DIAGRAMME  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  -  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$
- 3.2.2. MODELES POUR L'INTERPRÉTATION DES AGES

### 3.1. ÉLÉMENTS D'INTERPRÉTATION DES ÂGES CONVENTIONNELS

#### 3.1.1. RAPPELS SUR LA SIGNIFICATION DES MESURES ISOTOPIQUES

Le nombre sans cesse croissant de détermination d'âges isotopiques, principalement de minéraux de roches magmatiques et métamorphiques, montre que dans la plupart des cas, l'interprétation des résultats est un problème délicat. En effet, les âges obtenus par différentes méthodes radiométriques sont souvent discordants et apparemment en contradiction avec les données géologiques bien établies. Il faut rappeler que les datations numériques, ou âges apparents, ne sont avant tout qu'une expression pratique d'un rapport d'abondance de deux nuclides ( $^{87}\text{Rb}$  et  $^{87}\text{Sr}$  pour l'âge Rb-Sr ou  $^{40}\text{K}$  et  $^{40}\text{Ar}$  pour l'âge K-Ar). Ce n'est que lorsque certaines conditions sont remplies que l'âge isotopique est alors le même que "l'âge géologique" ou événement géologique (ARMSTRONG R.L. et JAGER E., 1966).

#### 3.1.2. COMPORTEMENT DES MINÉRAUX

Ces constatations ont permis d'envisager un comportement des milieux en système ouvert, se produisant de façon différente suivant leur nature minéralogique et l'isotope considéré. Les nuclides radiogéniques ( $^{87}\text{Sr}$  et  $^{40}\text{Ar}$ ) qui occupent des positions cristallographiques anormales des nuclides radioactifs initiaux ( $^{87}\text{Rb}$  -  $^{40}\text{K}$ ) sont en position instable et peuvent migrer facilement. Cette mobilité les rend plus sensibles à des phénomènes physiques (diffusion) ou chimiques (lessivage) pouvant affecter le milieu.

##### a) Méthode K-Ar

Les informations que fournit cette méthode sont conditionnées par l'aptitude des minéraux à retenir l'argon radiogénique. Ce pouvoir de rétention est variable suivant les réseaux cristallins. Le problème de perte de l'argon radiogénique fut abordé par des études théoriques et expérimentales sur les processus de diffusion dans les réseaux cristallins, et par des études dans un environnement géologique déterminé.

- a.1) Les études en laboratoire  
(HURLAY et al., 1961 ; FÉCHTIG et KALBITZER, 1966 ; MUSSET, 1969 ; GILETTI, 1974).

Elles donnent les constantes de diffusion et les énergies d'activation pour divers minéraux. La vitesse de diffusion dans un grain isolé étant contrôlée par

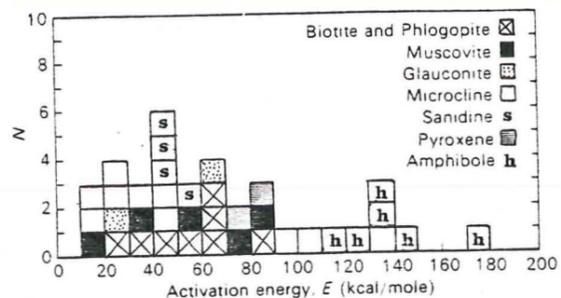


Fig. 12 .  
Histogramme des énergies d'activation de quelques minéraux : (in DALRYMPLE et LANPHERE, 1969, d'après les données de Fechting et Kalbitzer, 1966, Moor bath, 1967 )

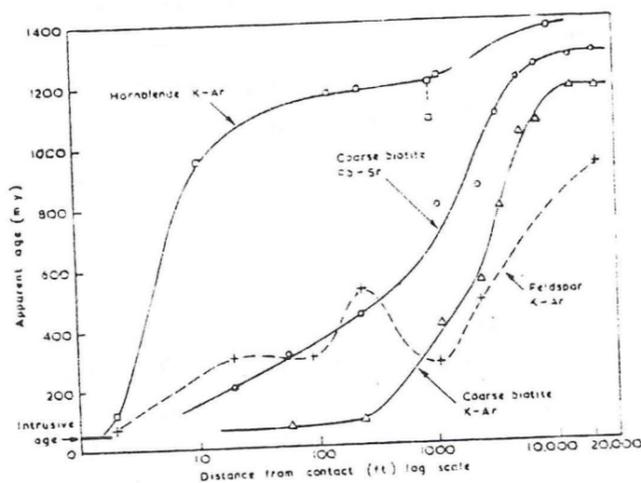


Fig. 13 .  
Variation des âges sur minéraux des gneiss du Colorado (1600 Ma) en fonction de la distance à un pluton récent (Eldora Stock) (d'après HART et al. 1968, p87)

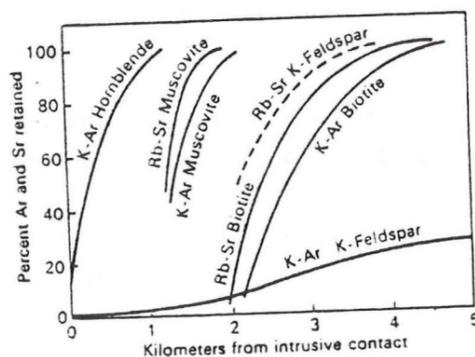


Fig. 14 .  
Rétention d'argon et de strontium radiogéniques en fonction de la distance au contact d'un gabbro. (d'après HANSON et GAST, 1967)

le coefficient de diffusion ( $D$  exprimé en  $\text{cm}^2/\text{s}$ ) dépend de la température ( $T$ ) suivant l'équation :  $D = D_0 \exp. (-E/RT)$  où  $E =$  énergie d'activation ( $\text{K cal.mol}^{-1}$ ) ;  $T =$  température absolue et  $R$  constante des gaz parfaits ;  $D_0 =$  facteur dépendant du grain (dimension, géométrie, nature, état). Plus la valeur de  $E$  est élevée, plus les atomes d'argon sont retenus à l'intérieur du réseau d'un minéral (voir figure 12).

Le problème de la diffusion a été résolu pour des géométries simples de grains (NICOLAYSEN, 1957) mais il diffère des cas réels. Le modèle par diffusion de volume ("volume diffusion") est plus vraisemblable (DODSON, 1973, 1979 ; HOFMANN, 1979) : la diffusion cesse lorsque le système est suffisamment refroidi, c'est-à-dire, lorsque les distances de diffusion deviennent négligeables vis à vis de la taille des grains.

a.2) Quelques exemples tirés de la littérature, portant sur le métamorphisme de contact puis sur le métamorphisme régional, illustrent bien les différentes sensibilités des minéraux à un événement thermique et le comportement différentiel des couples Rb-Sr et K-Ar.

HART et coll. (1968) ont donné une étude complète des effets radiométriques d'une intrusion à 55 Ma dans un vieux socle gneissique à 1 600 M.a. On voit sur la figure 13 la réaction des différents minéraux suivant les couples K-Ar et Rb-Sr en fonction de la distance du contact (et donc de la diminution de la température).

Un autre exemple, tiré de HANSON et coll. (1967) est donné par la figure 14. On y trouve le même comportement que dans le cas précédent : les hornblendes (en K-Ar) ont un assez bon pouvoir de rétention, les biotites et les feldspaths potassiques (en K-Ar) sont les plus sensibles à l'échauffement.

D'autres facteurs peuvent certainement faciliter la mobilité de l'argon, et on ne peut plus admettre un effet essentiellement thermique de l'ouverture d'un système vis à vis de l'argon. Ainsi, la tectonique est un facteur déterminant car elle déforme les 4 réseaux cristallins. Ces modifications facilitent le départ d'argon. D'autre part, à haute pression, l'40 Ar perdu par les minéraux aura tendance à être retenu dans le système roche totale. Il en résultera une pression partielle d'40 Ar qui, en s'exerçant sur les réseaux cristallins contrariera la diffusion isotopique de ce nuclide et accélèrera la cloture des minéraux.

b) Méthode Rb-Sr

Un épisode métamorphique provoque à l'échelle des minéraux, des migrations du <sup>87</sup> Sr radiogénique. Ces migrations se produisent de manière différente en fonction des coefficients de diffusion des minéraux. Dans les micas (milieux riches en <sup>87</sup> Sr radiogénique), le <sup>87</sup> Sr radiogénique est instable ; aussi dès le début d'un réchauffement aura-t-il tendance à être perdu pour la biotite (âge apparent rajeuni). Les minéraux riches en Sr commun concentreront préférentiellement ce <sup>87</sup> Sr libéré (âge apparent vieilli) : ce sont les feldspaths, apatites, épidotes. D'autres facteurs sont susceptibles d'entraîner des migrations de <sup>87</sup> Sr : degré de déformation (CLARSSON S., 1980), fluides hydrothermaux (DEUSER, 1963). L'importance de paramètres tels que la nature et la concentration des ions en solution (influence du Ca<sup>2+</sup>, encore mal connue, du CO<sub>2</sub>) et le degré d'imperfection du réseau cristallin ont été soulignés par VERDURMEN et SCHUILING (1972).

c) Utilisation des minéraux

DALRYMPLE GB et LANPHERE M.A. (1969) ont établi une classification des différents minéraux suivant 4 méthodes utilisées, par rapport à leur résistance à un événement thermique postérieur à leur formation.

K-Ar	Rb-Sr
.....	.....
Hornblende	Muscovite
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	Biotite
Muscovite	
Biotite	
Feldspath	

↓  
résistance décroissante  
à un événement thermique

- Les micas

La biotite est sensible à un échauffement post-formation. Les âges K-Ar sont de meilleurs marqueurs que les âges Rb-Sr à une augmentation de la température (HART, 1964), les muscovites conservent mieux leur âge Rb-Sr que les

biotites (ALDRICH et coll. 1965). Elles sont moins sensibles à une phase métamorphique postérieure que les biotites.

Dans les Alpes Centrales et Occidentales des travaux récents ont montré que les âges Rb-Sr et K-Ar sur micas reflètent le degré de métamorphisme alpin que la roche hôte a subi (JAGER et coll. 1967 ; HUNZIKER, 1969).

- Les feldspaths potassiques

La rétention de l'argon dépend de l'état cristallographique du minéral. L'argon tend à être perdu pendant la microclinisation (DALRYMPLE et LANPHERE, 1969). L'intérêt du Fk réside essentiellement en ce qu'il constitue un marqueur d'activité thermique ou mécanique faible, au même titre que les âges K-Ar sur biotite dans certains cas. Le FK peut donc montrer la trace d'un événement de faible intensité (ALBAREDE, 1976).

- Les plagioclases

Les âges K-Ar souvent trop vieux laissent supposer un argon radiogénique en excès, difficile à expliquer. La présence de quartz dans les concentrés des plagioclases, peut quelquefois expliquer les âges aberrants. En effet, il est reconnu que le quartz des roches métamorphiques accepte facilement l'excès d'argon (RAMA et coll. 1965). Les plagioclases piègent aussi facilement le <sup>87</sup> Sr libéré par les micas. Ils ne sont pas de bons chronomètres.

- Les amphiboles

Les hornblendes ont un très bon pouvoir de rétention de l'argon et sont résistantes à un métamorphisme postérieur (HART, 1961, 1964 ; WANLESS et coll. 1970). Elles peuvent ainsi permettre de dater les différentes phases de métamorphisme (STEIGER, 1964). La présence d'excès d'argon, bien que peu signalée (PEARSON et coll. 1966) n'est cependant pas rare.

3.1.3. NOTION DE TEMPERATURE DE FERMETURE

Dans la plupart des cas, les datations numériques n'ont pas de réelle signification en terme d'âge. Elles ne correspondent pas à un événement géologique particulier, mais elles donnent des informations sur l'histoire thermique de l'échantillon étudié. Cette interprétation plus réaliste des données

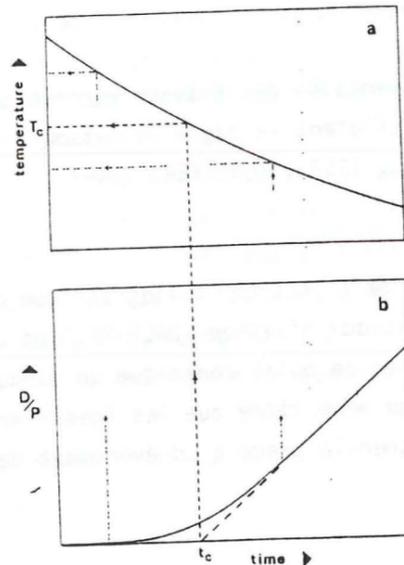


Fig. 15. Définition de l'âge et de la température de fermeture d'un système (d'après DODSON, 1979)

TC : température de fermeture  
 $t_c$  : âge apparent  
 D/P: Produit/Parent  
 a) courbe de refroidissement  
 b) courbe d'accumulation

Lorsqu'un système (roche ou minéral) est à une température proche de la température de cristallisation, il n'y a pas accumulation de produits radiogéniques ( $D/P=0$ ). La température décroissant, le système entre dans un domaine où une partie de plus en plus importante des produits reste dans le système. Ensuite, à des températures plus faibles, le système se ferme. La totalité des produits formés reste alors dans le système. La fermeture d'un système n'est donc pas un événement défini précisément.

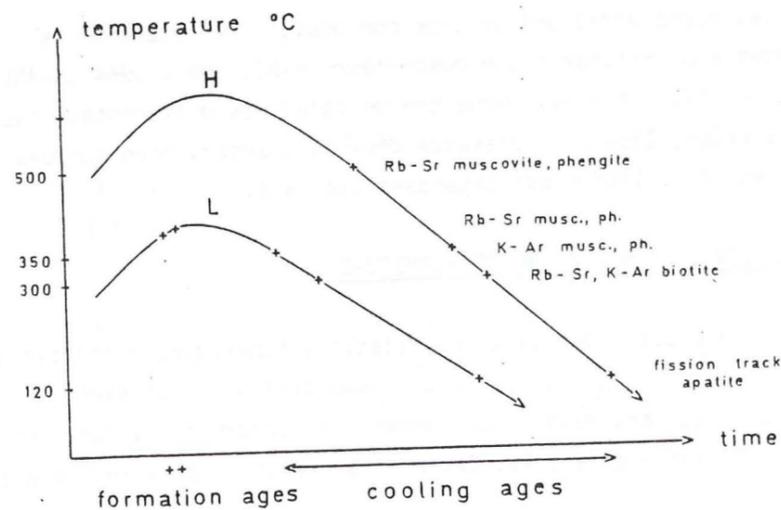


Fig. 16. Interprétation des âges mesurés sur minéraux : âges de formation et âges de refroidissement (d'après E. JAGER, 1979)  
 H, façès amphibolite ; L, façès schistes verts

radiométriques est basée sur le concept de température de fermeture ("critical" ou "blocking temperature") qui est spécifique de chaque minéral selon les méthodes radiométriques considérées (DODSON, 1973 ; WAGNER et coll. 1977 ; PURDY et JAGER, 1977). Les âges mesurés ne représentent que l'instant où le minéral a franchi une certaine température (isotherme) et se comporte en système clos vis-à-vis d'un nuclide radiogénique. Les âges correspondent à la fin de la diffusion de l'élément radiogénique  $^{87}\text{Sr}$  ou  $^{40}\text{Ar}$ , hors des réseaux. En deçà de la température de fermeture, le nuclide ne diffuse plus et s'accumule quantitativement dans le minéral.

Ce concept de température de fermeture (DODSON, 1973, 1979) est illustré à la figure 15. Récemment, à partir des données sur les minéraux des Alpes Centrales, WAGNER et coll. (1977) ont évalué les différentes températures de fermeture pour les "horloges" Rb-Sr, UPb, K-Ar et traces de fission dans ces minéraux. Ces données ont été utilisées pour calculer les taux de refroidissement et de surrection dans les Alpes. Dans des contextes différents, MATTINSON (1979), SHARMA et coll. (1980) ont développé l'histoire thermique des roches plutoniques sur le même modèle.

Les températures de fermeture des différents minéraux selon les différentes horloges radiométriques sont les suivantes. (Estimations)

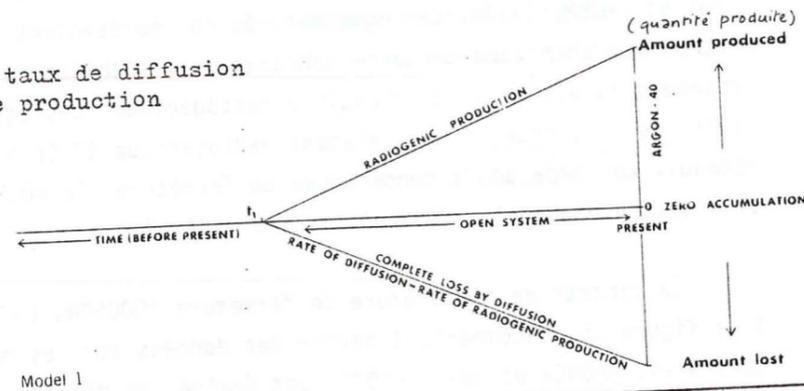
- Tableau 2

Méthode radiométrique	Minéral ou milieu	$t^\circ\text{C}$ de fermeture	Référence
Rb-Sr	Roche totale	600°C	(5)
U -Pb	Monazite	530°C	(5)
Rb-Sr	Muscovite Phengite	500 $\pm$ 50°C	(1) (5)
K -Ar	Amphibole	450 $\pm$ 50°C 400 $\pm$ 50°C	(6) (2)
K -Ar	Muscovite Phengite	350 $\pm$ 50°C	(1) (5)
Rb-Sr K-Ar	Biotite "	300 $\pm$ 50°C "	(1) (3) (4) (5)
K -Ar	Biotite	250°C	(4)
K -Ar	Feldspath K.	250-150°C	

(1) : CLARK et JAGER, 1969 ; (2) CANTAGREL, 1973 ; (3) EVERDEN et KISTLER, 1970 ;  
 (4) : DODSON, 1973 ; (5) WAGNER et coll. 1977 ; (6) KRUMMENACHER et coll. 1975.

Fig. 17. Modèles d'interprétation

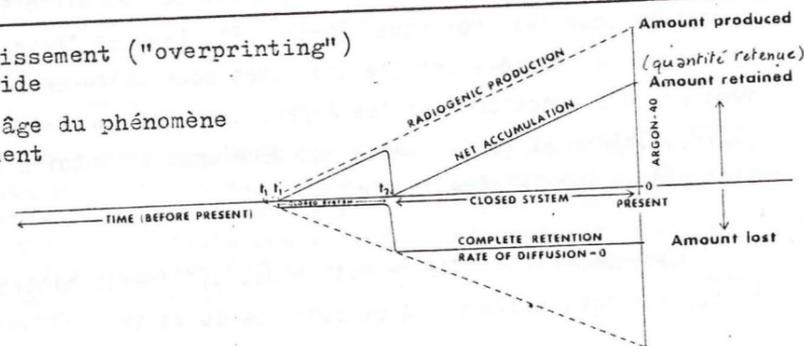
a) système ouvert, le taux de diffusion est égal au taux de production



Model 1

b) hypothèse du rajeunissement ("overprinting")  
refroidissement rapide

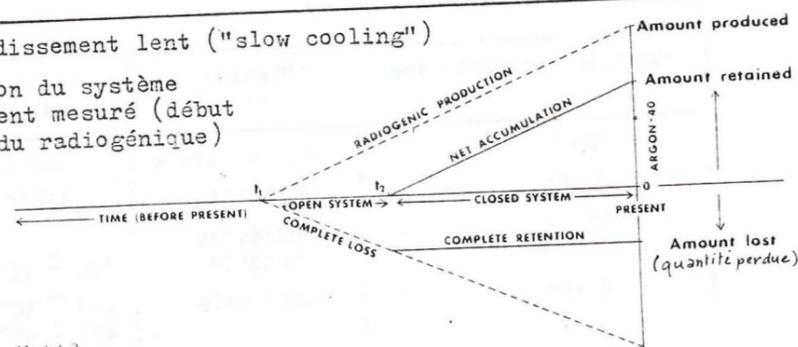
t2 = âge mesuré = âge du phénomène  
de rajeunissement



Model 2

c) hypothèse du refroidissement lent ("slow cooling")

t1 = âge de formation du système  
t2 = âge effectivement mesuré (début  
de rétention du radiogénique)



Model 3

d'après HARPER, 1970

Les interprétations des âges sur minéraux, d'après E. JAGER (1979) sont indiquées à la figure 16. La biotite date toujours un stade de refroidissement. Dans un métamorphisme de faciès schistes verts (L) l'interprétation est difficile à cause des surpressions d'argon et des échanges incomplets de Sr au sein de la roche totale.

### 3.1.4. MODELES CLASSIQUES D'INTERPRETATION

Les températures de fermeture sont nettement inférieures à celles de la cristallogénèse des minéraux, et cette différence d'âge qui peut être très grande, est expliquée par deux phénomènes distincts. Le refroidissement lent ("slow cooling") et le rajeunissement ("overprinting"). Les deux manières de voir peuvent être résumées et schématisées par la figure 17 (d'après les travaux de HARPER, 1970).

- Dans l'hypothèse du refroidissement lent, on considère que le minéral, après sa cristallogénèse, s'est refroidi lentement jusqu'à ce qu'il atteigne la température de fermeture. On mesure donc la fin de cette cristallogénèse (métamorphisme, mise en place d'un granite) qui est post-datée. Ce franchissement d'un seuil de température (isotherme), lors du refroidissement, peut également être corrélé avec la surrection.

- Dans l'hypothèse du rajeunissement, l'âge est alors en "surimpression". Après son refroidissement, le minéral a été porté à une température supérieure à celle de sa fermeture, et cette réouverture provoque une perte épisodique des nuclides radiogéniques. L'âge mesuré correspond à la fin de ce phénomène de "réchauffement" et peut être corrélé avec l'effet thermique dû à la mise en place d'un magma ou avec un métamorphisme (DUTHOU, 1977).

### 3.1.5. MODELES PROPOSES DANS CETTE ETUDE

La méthode conventionnelle utilisant les couples  $^{87}\text{Rb}$ - $^{87}\text{Sr}$  et  $^{40}\text{K}$ - $^{40}\text{Ar}$  est appliquée aux biotites. Face à un événement postérieur (métamorphisme et/ou tectonique) les sensibilités des méthodes Rb-Sr et K-Sr sont différentes. Différents paramètres sont susceptibles de provoquer des ouvertures du système (biotite) et des migrations de  $^{87}\text{Sr}$  ou de  $^{40}\text{Ar}$ . Nous prenons en considération trois facteurs principaux.

- la température (métamorphisme régional),
- la déformation (cataclase, mylonitisation),
- les phases fluides (mobiles ou inertes ; hydrothermales)

L'action principale de l'un de ces facteurs ou la combinaison de ceux-ci permettent d'expliquer la concordance ou la discordance des âges Rb-Sr et K-Ar. Plusieurs cas possibles sont envisagés et ils permettront de mieux comprendre l'influence du métamorphisme et/ou de la tectonique alpine dans le socle hercynien de la zone dauphinoise.

Le tableau 3 présente la sensibilité des méthodes face aux différents facteurs considérés, pour la biotite.

Pour les âges concordants :

Quatre cas possibles suivant l'intensité de reprise de socle hercynien à l'alpin.

Cas	Ages	Appellation	Signification
1	sup.280 Ma	Hercynien (anté-alpin)	zones non affectées par l'alpin âge de refroidissement
2	280-225	Tardi-hercynien Permien	événement tardi-hercynien probable
3	225-100	Intermédiaire Hercynien-Alpin	âges Hercynien repris partiel- lement à l'alpin (mélange d'âges) âges intermédiaires
4	100-15	Alpin ou intermé- diaire entre pha- ses alpines	les effets de l'alpin sont prépondérants

Pour les âges discordants :

Le tableau 4 présente les différents cas envisagés, suivant la mobilité du  $^{87}\text{Sr}$  et/ou de  $^{40}\text{Ar}$ , ainsi que de la part plus ou moins importante de l'un des trois facteurs d'ouverture des systèmes.

TABLEAU 3 : sensibilité des méthodes K-Ar et Rb-Sr à un événement postérieur (métamorphisme et/ou tectonique)

Facteur principal	Température (et pression)	Déformation (+t°) (intensité variable)	Phases fluides (réactivité chimique)
Evénement	Métamorphisme contact, régional	Cataclase Mylonitisation	Fluides hydrothermaux phases mobiles ; altération
Méthode K-Ar	Diffusion de l'argon en fonction du minéral ++	Perte d'Ar suivant les modifications des réseaux cristallins ++	Pas de réactivité chimique de l'argon avec les phases fluides 0
Méthode Rb-Sr	Diffusion du 87 Sr plus faible, fonction des minéraux et de l'intensité du métamorphisme (échelle de diffusion variable) + - à +	Cataclase 0 à + - mylonitisation + - à + suivant l'intensité	Réactivité chimique du 87 Sr possible (avec éléments CO <sub>2</sub> , Ca <sup>++</sup> ). Perte du 87 Sr par lessivage.

degré de sensibilité:  
 ++ très sensible  
 + sensibilité si l'événement est intense  
 +- sensibilité moyenne  
 0 aucune sensibilité

Cas	Mobilité		Facteurs		Observations	Âges discordants	
	Ar	Sr	T	Déf.: P.fluide			
A	X		X		Effet thermique ou métamorphisme faible et/ou influence d'un accident tectonique	a	
	X			X			
B	1	X	X	XX	Métamorphisme d'intensité moyenne à élevée		
	2	X	X	XX			Métamorphisme intense et/ou mobilisation anatectique
	3	X	X	X			
B	4	X	X	(X)	XX	Déformation prépondérante, mylonitisation liée à un accident proche	
	5	X	X	X	X		Accident tectonique (mylonitisation) et circulations de fluides importantes
	6	X	(X)	X	X	XX	
C			X		Niveau structural profond, il est difficile de faire la part de l'un des facteurs ou c'est la combinaison des cas précédents	c	
				X			
D					Dans un milieu à haute pression, pression partielle 40 Ar importante dans la phase mobile (excès d'Argon possible)	d	
							X
D					Lessivage du strontium, réactivité chimique avec les fluides hydrothermaux ou altération chimique	e	
							X
D	1		X		Hétérogénéité et nature des roches qui favorisent la mobilité des éléments		
	2	X					
					Perte de Sr plus importante dans les roches acides (Arnold et Jager, 1966). Les âges anciens sont conservés dans les enclaves basiques		
					Gradient d'âges K-Ar et excès d'Ar variable (Purdy et Jager, 1976)		

âges discordants : a, b et c = âges Rb-Sr > âges K-Ar (de plus en plus rajeunis)  
 d et e = âges K-Ar > âges Rb-Sr

### 3.2. INTERPRÉTATION DES ÂGES OBTENUS PAR ISOCHRONE

#### 3.2.1. UTILISATION D'UN DIAGRAMME $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$

Ce type de diagramme (NICOLAYSEN, 1969) permet d'envisager un certain nombre de modèles (LANPHERE et coll. 1964 ; ALLEGRE et DARS 1965 ; HAMET 1975).

##### a) Modèle simple - Système clos (cas des roches plutoniques)

Une isochrone Rb-Sr de roches totales (RT), à condition que les points représentatifs soient alignés dans la limite d'erreurs analytiques, livre l'âge de la dernière homogénéisation isotopique, ou encore le moment où les migrations de Rb, Sr et  $^{87}\text{Sr}$  radiogénique au-delà de l'échelle de l'échantillon ont cessé. Pour un massif granitique, la pente de l'isochrone fournit "l'âge du granite" c'est-à-dire l'époque de l'homogénéisation isotopique et de la cristallisation du bain magmatique, à condition qu'aucun phénomène métamorphique ultérieur n'ait affecté ce granite (modèle simple). La valeur du rapport isotopique initial nous renseignera éventuellement sur l'origine du magma initial (GAST, 1960 ; FAURE et HURLEY, 1963). Dans la mesure où il n'y a pas eu de déplacement de matière après la mise en place, nous obtenons l'âge vrai de la formation. On est dans le cas du "système clos". L'isochrone des minéraux est confondue avec celle des RT.

##### b) Influence d'un métamorphisme subséquent

Un métamorphisme, général par exemple, agissant sur une série de roches cogénétiques, entraînera une nouvelle homogénéisation isotopique. Cependant celle-ci s'exprimera à différentes échelles selon l'intensité du métamorphisme. Il y a un comportement différent des roches totales et des minéraux (LANPHERE et al., 1964 ; WASSERBUG et al., 1964 ; VIDAL, 1976) (Modèles simples avec métamorphisme superposé). Les migrations de  $^{87}\text{Sr}$  se font à l'échelle des minéraux. Les roches totales ne sont apparemment pas affectées si les volumes prélevés sont suffisamment grands devant les migrations de  $^{87}\text{Sr}$ . Si les roches totales donnent une bonne isochrone, l'âge obtenu est celui de la mise en place du granite et non celui du métamorphisme. L'homogénéisation isotopique des minéraux est totale ou incomplète. Dans le premier cas, il y a équilibre des phases minérales et l'isochrone des minéraux donne l'âge de l'événement thermique. Dans le deuxième cas, il n'y a pas d'équilibre entre "donneur" (micas) et "accepteur" (feldspaths) de strontium radiogénique. Les micas donnent un âge maximum pour l'événement.

##### c) Systèmes ouverts

On peut observer au contraire une dispersion des résultats analytiques qui se traduit par l'absence d'une bonne isochrone de roches totales ; "erreurchrone" de BROOKS et coll. (1972). Cela signifie que les systèmes ont été ouverts depuis la dernière homogénéisation isotopique. C'est souvent le cas dans les régions du socle hercynien repris à l'alpin. Les mesures sur minéraux présentent alors un intérêt car elles mettent en évidence les régions où le socle n'a pas été fortement repris à l'alpin. Certains facteurs sont susceptibles d'entraîner des migrations d'un, de deux ou de trois des composants qui sont le Rb, le Sr et le  $^{87}\text{Sr}$  radiogénique, au-delà de l'échelle décimétrique : métamorphisme intense, anatexie, fluides hydrothermaux, altérations chimiques, mylonitisation.

c1) Un métamorphisme assez intense. Il se produit des migrations à l'échelle des RT. On obtient à la limite un nuage de points dans le diagramme. La droite statistique n'a pas de signification et l'âge des roches ne peut pas être déterminé par la méthode Rb-Sr.

c2) La mobilisation anatectique. Elle conduit au moins à une redistribution partielle du Rb et du Sr dans les roches totales (JAGER, 1970).

c3) Fluides hydrothermaux. Le mécanisme de la migration n'est pas encore tout à fait élucidé. L'importance des paramètres tels que la nature et la concentration des ions en solution ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le degré d'imperfection du réseau cristallin ont été montrés par VERDURMEN et SCHUILING (1972).

c4) Altérations chimiques. Dues en particulier aux eaux météoriques, elles peuvent entraîner une migration du  $^{87}\text{Sr}$  radiogénique. L'altération progressive des RT entraîne une augmentation du rapport Rb/Sr due à une perte de Sr. Les âges déterminés à l'aide des RT sont fortement abaissés (10 %), (BOTTINO et FULLAGAR, 1968)

c5) Influence de la mylonitisation. Les travaux de R.V. DIETRICH, FULLAGAR et BOTTINO (1969) ont montré que les effets de la mylonitisation étaient très nets sur les rapports isotopiques K-Ar et Rb-Sr, et le comportement des roches totales en système ouvert. J.T. ABBOT (1972) démontre la possibilité d'une homogénéisation isotopique pour des mylonites profondes (blastomylonites). Il estime d'autre part la distance sur laquelle l'homogénéisation du  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  prend place et définit l'âge de la mylonitisation. Le mécanisme principal des

TABLEAU 5

Cas	Comportement des roches totales et des minéraux	Signification	Evénement post-mise en place
1	iso RT = iso MX	âge de mise en place du granite	pas de métamorphisme
2	iso RT disp. MX	RT : âge de la formation MX : pas d'équilibre (réhomogénéisation incomplète)	métamorphisme moyen à faible
3	iso RT ou disp. RT et MX	âge de la formation (RT) variation des concentrations de Rb et Sr des minéraux système ± ouvert	métamorphisme de contact
4	iso RT iso MX	RT âge de la formation MX équilibre = âge du métamorphisme (Homogénéisation totale)	métamorphisme fort
5	disp. RT disp. MX	nuage de points droite statistique RT ou MX sans signification	métamorphisme intense
6	ero/disp. RT ero/ disp. MX	redistribution partielle Rb, Sr syst. ouvert	mobilisation anté-tectique
7	ero RT, MX.	syst. ouvert	fluides hydrothermaux
8	ero RT ero MX	âge RT plus faible déséquilibre des phases MX	altérations chimiques
9	iso RT = iso MX ero RT iso MX disp. MX	âge orthogneissification syst. ouvert (RT) âge événement tectono-métamorphique âge non fixé	mylonitisation

iso = isochrone ; ero = erreurchrone, disp. dispersion ou non alignement

RT = roches totales ; MX = minéraux

ajustements isotopiques constatés pendant la cataclase et la recristallisation consisterait en de simples échanges avec un réservoir dont le rapport  $87\text{ Sr}/86\text{ Sr}$  serait uniforme. J. BERNARD-GRIFFITHS (1975) montre que la mylonitisation sur des méta-granites du Massif Central provoque une réouverture des roches totales et un réalignement des points suivant une isochrone qui indique l'âge de la mylonitisation.

Les mécanismes d'échange isotopiques le long d'accidents cassants sont mal définis, mais l'on sait déjà qu'un simple "mélange mécanique" à froid ne peut pas permettre une réhomogénéisation complète du strontium (L.E. LONG, 1964). La température est, par contre, un facteur déterminant. Les échanges chimiques soulignés par l'importance des recristallisations et des néominéralisations, sont contrôlés par les mécanismes de diffusion et les distances de transport des éléments chimiques sont donc variables. S. CLAESON (1980) montre ainsi que la réhomogénéisation isotopique du Sr pendant la déformation et le métamorphisme de stade faible d'un ensemble, n'a été effective que sur des très courtes distances. D'autre part, cette rééquilibration isotopique est directement liée au degré de déformation. Elle se produit probablement et principalement par diffusion aux limites des grains, combinée avec la considérable recristallisation et la néominéralisation.

La modification d'une isochrone primaire au cours d'un événement tectonique ultérieur est donc liée à deux paramètres :

- (1) l'intensité de la recristallisation et des déplacements favorisant les diffusions (cas des mylonites profondes) ;
- (2) l'échelle de la diffusion (définition des domaines d'homogénéisation).

### 3.2.2. MODÈLES POUR L'INTERPRÉTATION DES ÂGES SUR ISOCHRONE

Pour les roches plutoniques, ALLEGRE C.J. (1972) a montré l'évolution d'un granite subissant une phase tectonométamorphique arbitrairement considérée comme actuelle et il fait état de la plupart des cas considérés précédemment. Nous pouvons reprendre les différentes possibilités sous une autre forme (tableau ci-contre).

#### 4 - MESURES RADIOMETRIQUES SUR MINERAUX ISOLES (BIOTITES, MUSCOVITES, AMPHIBOLES) DES MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES

##### 4.1. RÉSULTATS DES MESURES RADIOMÉTRIQUES

- 4.1.1. LES BIOTITES
- 4.1.2. LES MUSCOVITES
- 4.1.3. LES AMPHIBOLES

##### 4.2. INTERPRÉTATIONS DES RÉSULTATS

- 4.2.1. LE MASSIF DU PELVOUX
  - 4.2.1.1. Partie centrale et occidentale du massif
  - 4.2.1.2. Bordure orientale du massif
- 4.2.2. LE MASSIF DES GRANDES-ROUSSES ET LE NORD-OUEST DU PELVOUX (ROCHAIL)
- 4.2.3. LE MASSIF DE BELLEDONNE
  - 4.2.3.1. Le Sud du massif (vallée Eau d'011e)
  - 4.2.3.2. Le Nord du massif (Maurienne)
  - 4.2.3.3. Les amphiboles dans le massif de Belledonne

Nous présentons successivement les résultats obtenus sur les différents minéraux (biotites, muscovites, amphiboles) et l'interprétation de ces données dans le cadre des massifs cristallins externes. Plusieurs secteurs géographiques sont considérés: le massif du Pelvoux (parties centrale et occidentale, bordure orientale), le massif des Grandes Rousses et le Nord Ouest du Pelvoux, le massif de Belledonne (vallée de l'Eau d'Olle ou partie sud et vallée de la Maurienne ou partie nord).

Les mesures Rb-Sr sont effectuées sur spectromètre de masse de type CSF 400 S, et les mesures K-Ar sur un spectromètre de masse type Micro-mass 601. Les constantes utilisées sont celles préconisées par STEIGER et JAGER (1977). Se reporter aux annexes n° I et n° II pour les techniques utilisées et les valeurs des constantes.

La localisation et la description sommaire des échantillons, ainsi que les résultats analytiques complets sont donnés en annexes III, IV et V.

#### 4.1. RÉSULTATS DES MESURES RADIOMÉTRIQUES

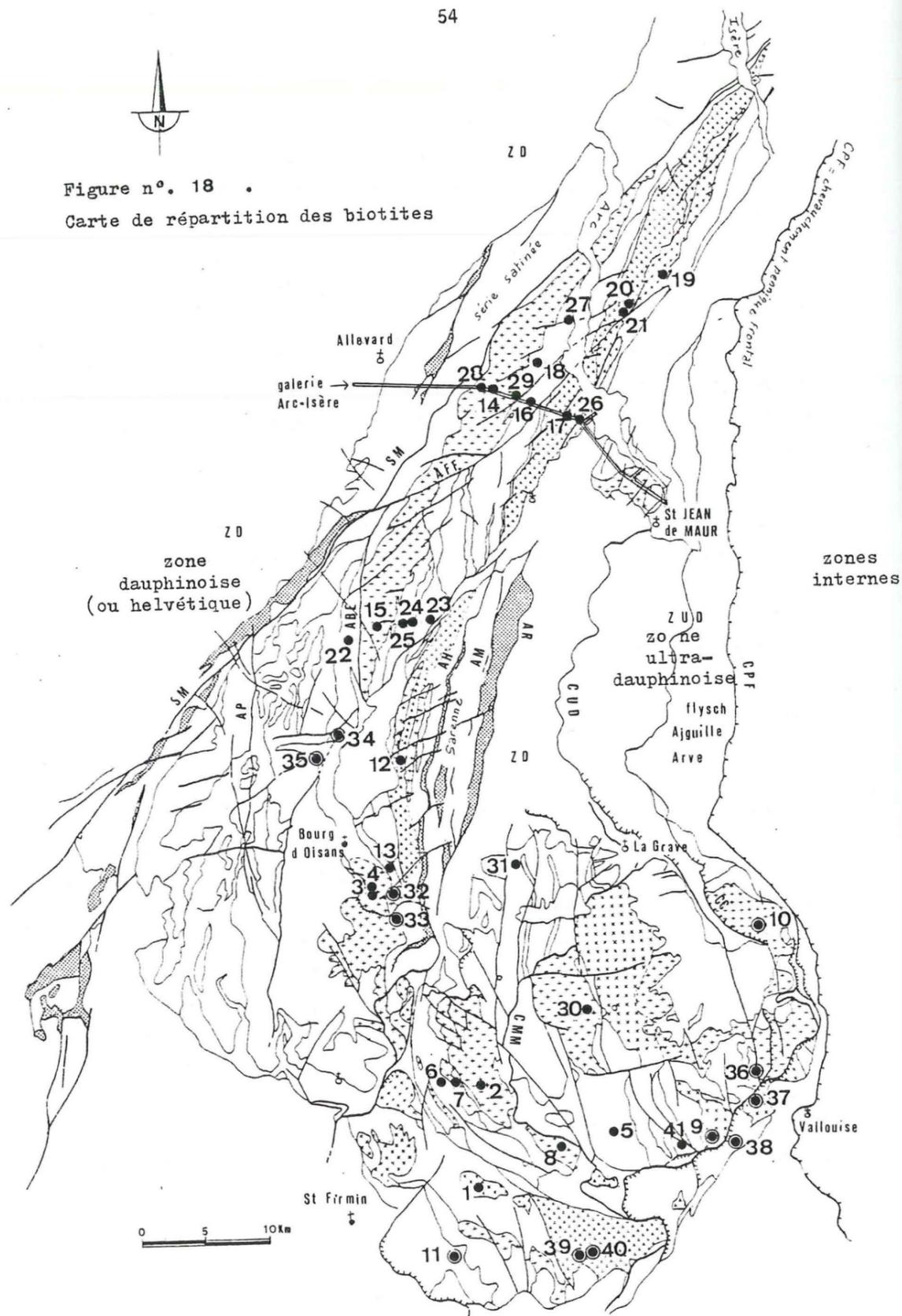
##### 4.1.1. LES BIOTITES

###### a) Généralités

Les données radiométriques des biotites permettront de visualiser l'influence du métamorphisme alpin dans le socle de la zone delphino-helvétique. Ce métamorphisme, d'intensité faible à très faible (faciès schistes verts, faciès zéolites) est en partie responsable de la rétro-morphose et de la destabilisation de certains minéraux (séricitisation des feldspaths, chloritisation des biotites). Nous chercherons:

- à savoir si les biotites dans une région donnée, donnent des âges K-Ar et Rb-Sr logiques et compatibles avec un événement géologique particulier;
- à comparer les âges Rb-Sr et K-Ar sur les mêmes biotites, et à expliquer leurs concordances ou discordances;
- à dresser les cartes d'isovaleurs des datations numériques Rb-Sr et K-Ar. Les thermochrones ("chronotours") K-Ar matérialiseront ainsi la forme des surfaces isothermales à la température de fermeture considérée.

Figure n°. 18 .  
Carte de répartition des biotites



### b) Echantillonnage

Une trentaine d'échantillons ont été collectés de façon à avoir une assez bonne représentation des granites et gneiss des séries cristallophylliennes des massifs cristallins externes.

Pour le massif de Belledonne, l'échantillonnage n'a été effectué que dans le rameau interne, la limite septentrionale des prélèvements correspondants approximativement au Col de la Madeleine. Le hameau de Rochetaillée dans la vallée de la Romanche correspond à la limite occidentale maximale. Les points de prélèvements sont reportés sur la carte géologique simplifiée de la figure n°18. Pour plus de clarté seuls les granites hercyniens, les gneiss porphyroïdes et le Houiller ont été figurés. Les contours des différentes unités cristallophylliennes sont représentés, et il suffit de se reporter à la première partie de ce mémoire pour avoir les cartes géologiques complètes des différents massifs.

Nous avons pris en compte un certain nombre de mesures isotopiques antérieures dont la plupart n'ont pas été publiées; les références sont peu nombreuses. Citons: BONHOMME et al. (1963) pour les âges Rb-Sr sur les biotites du Rochail et pour les biotites des gneiss d'Allemont et de Rochetaillée (1963, non publié); SONET (1970) pour les âges sur biotites des micaschistes de Champoléon et des gneiss ocellés de Crupillouse (publié in thèse de P. LEFORT, 1973); A. BARBIERI (1970) pour des données sur minéraux des granites de la bordure orientale du Haut Dauphiné.

### c) Données pétrographiques et chimiques. Le phénomène de chloritisation

Les biotites des granites ou des séries cristallophylliennes sont rarement saines et fraîches. Dans ce cas, elles sont toujours d'une couleur brune à brun orangé. Mais la plupart des biotites analysées sont plus ou moins chloritisées. Cette altération n'est pas d'intensité uniforme, et l'on peut trouver dans la même roche des individus à peu près sains et d'autres totalement chloritisés.

Cette chloritisation plus ou moins importante, se manifeste par l'apparition d'oxydes de fer et de produits brun-noir (minéraux titanés secondaires ?) qui soulignent les plans de clivage, et qui peuvent être accompagnés de granules d'apatite, de sphène, d'épidote ou plus rarement d'aiguilles de rutile. Les biotites sont alors décolorées, et elles deviennent verdâtres en lumière naturelle. Le pléochroïsme varie d'un minéral à l'autre, ou dans le même minéral.

La chlorite d'altération des biotites se distingue facilement de la chlorite de néoformation (BARBIERI, 1979, p. 31) qui est généralement liée aux zones à fentes alpines et qui est d'un habitus différent: les minéraux sont en fibres de petite taille, et ils remplissent les microfissures ou s'amalgament en petites gerbes.

#### Etat de chloritisation des biotites analysées

- Pour le massif du Haut Dauphiné et des Grandes Rousses:

. biotites fraîches, saines avec très peu d'altération (échantillons n° 5, 6 et 11);

. biotites à chloritisation significative plus ou moins avancée (n° 1, 2, 3, 7, 12, 13, 30 et 31);

. biotites totalement chloritisées, en fait véritables chlorites (n° 8, 9, 10, 36, 37 et 38).

- Pour le massif de Belledonne:

Les biotites des granites sont en général subautomorphes et partiellement chloritisées pour le granite des Sept-Laux (éch. n° 14 et 15). Elles sont par contre, mal cristallisées et forment des nids constitués d'individus millimétriques pour le granite de la Lauzière (n° 19). Les biotites des séries gneissiques ou micaschisteuses (du groupe de Saint-Rémy) sont assez bien cristallisées et montrent des degrés variables de chloritisation.

. Biotites saines, peu à pas chloritisées, de couleur brun rouge à orangé allongées dans la foliation (n° 16, 17, 18, 27 et 29);

. légèrement chloritisées ou biotites saines difficilement séparables des biotites chloritisées, en baguettes petites et fines (n° 20, 21, 28 et 35);

. chloritisation plus intense (couleur brun-verdâtre à reflets argentés (n° 22, 23, 24 et 25).

Nous n'avons pu effectuer des analyses chimiques complètes (nous ne disposons que de quelques analyses chimiques données à l'annexe III) et des diffractogrammes de rayons X. Nous ne pouvons donc pas mieux caractériser ces biotites et quantifier leur degré de chloritisation. Rappelons cependant que des analyses chimiques partielles sont données par A. BARBIERI (1970, p. 29) sur le micas des granites orientaux du Pelvoux (éch. n° 9, 10, 36, 37 et 38). Les résultats des diffractogrammes de rayons X effectués sur ces minéraux, lui ont montré que la pseudothuringite, puis la thuringite, étaient les espèces minérales les plus fréquemment représentées. Pour l'ensemble des biotites du massif du Haut Dauphiné, P. LE FORT (1973)

décrit la traduction géochimique du phénomène de chloritisation.

"L'altération est produite par un départ important de K, un léger départ de silice et par un grain d'hydratation".

Par contre, l'importance respective du fer et du magnésium semble pas avoir été beaucoup modifiée par rapport à celle des micas originels.

#### d) Résultats Rb-Sr et K-Ar

Le tableau n°6 regroupe l'ensemble des datations numériques. Les cartes d'iso-valeur des âges radiométriques visualisent les variations des âges au sein des massifs cristallins externes.

Tableau n° 6 . Ages Rb-Sr et K-Ar des biotites (et minéraux en association)

N° ordre	N°échant.	Type roche, localité	Minéral	Age Rb/Sr (Ma)	Age K/Ar (Ma)	différence d'âge (Ma)
1	DP 91	Granite de Pétaarel	Bchl	274 ± 8	230 ± 10	44
2	DP 92	Granite de Turbat	Bchl	274 ± 8	232 ± 9	42
3	DP 93	Granite du Hochail	Bchl	285 ± 8, 313 ± 9	-	-
4	DP 94	" "	Bchl	283 ± 8, 290 ± 8	293 ± 13	-10
5	DP 95	Gneiss du Pigeonnier	B	236 ± 8	264 ± 16	22
6	DP 96	Gneiss du Valjoughey	B	302 ± 9	304 ± 12 277 ± 11	12
7	DP 97	Granite d'Orgières	Bchl	210 ± 6	226 ± 18	-16
8	DP 98	Granite du Bourg	BC	297 ± 9	130 ± 8	167
9	DP 99	Granite du Riou-Blanc	BC	194 ± 6	52 ± 5	142
10	DP 100	Granite du Tabuc	BC	251 ± 7, 266 ± 7	75 ± 7	176
11	OK 51	Minette du Pt Chaillol	B	320 ± 9	323 ± 10	-3
12	GR 59	Enclave, granite Roche Noire	B	265 ± 8	284 ± 12	-19
13	DP 87	Gneiss de Bourg d'Oisans, Clapier Auris	Bchl	294 ± 9	281 ± 11	13
14	A6200	Granite Sept-Laux, galerie Arc-Isère	B FK	72 ± 4, 77 ± 2	24 ± 1 29 ± 5	53
15	BOC I	Granite Sept-Laux, défilé de Maupas	B FK PI RT	244 ± 7	113 ± 5 87 ± 4 463 ± 18 233 ± 10	131
16	A3675	Gneiss de St Rémy galerie Arc-Isère	B	155 ± 5	72 ± 3	83
17	A933	Gneiss de St Colomban	B	159 ± 5	149 ± 6	10
18	DP 26	Gneiss de St Rémy	B	175 ± 5	42 ± 2	133
19	AGL I	Granite de la Lauzière	Bchl	162 ± 5	-	-
20	DP 78	Gneiss Col de Montjoie	B M	231 ± 7	87 ± 3 281 ± 11	144
21	PAL 23	" "	B M	232 ± 7	128 ± 5 306 ± 12	104
22	DP 101	Micaschistes du Rivier	B M	253 ± 7 347 ± 7	148 ± 6	105
23	DP 102	Gneiss de Grand'Maison	B	216 ± 4	154 ± 6	62
24	DP 104	Amphibolite du Gros-Treu	B	200 ± 4	197 ± 10	3
25	DP 105	Gneiss du Rionnou-Rocher-Blanc	B M	264 ± 8 302 ± 6	149 ± 7	115
26	A388	Gneiss de St Rémy galerie Arc-Isère	B	-	83 ± 3	-
27	DP 16 A	Micaschistes St-Léger	B M	129 ± 4 367 ± 7	-	-

n°	n° échant.	type roche, localité	minéral	Age Rb/Cr (Ma)	Age K/Ar (Ma)
28	A6570	Enclave dans granite Sept-Laux	B	86 ± 2	-
29	A4593B	Gneiss de St Rémy	B	125 ± 4	-
30	DP II3	Granite de la Bérarde Promontoire	BCbl	280 ± 8	-
31	DP II5	Gneiss de la Lavey	BCbl	222 ± 6	-
32	B 181 (1)	Granite du Huchail	BCbl	(319 +/- 9), 330	-
33	B 182 (1)	" "	B	(327 +/- 16), 338	-
34	B 184 (1)	Gneiss d'Allemont	B	(278 +/- 18), 288	-
35	B 183 (1)	Gneiss de Rochetaille	B	(265 +/- 19), 274	-
36	DS 3165(2)	Enclave dans granite du Pelvoux, Ailefroide	BC	294 ± 9, 155	-
37	DS 122(2)	Granite de Claphouse	BC	170 ± 5, 120	-
38	DS 3156(2)	Migmatite de Béasnas	BC	106 ± 3, 190	-
39	- (3)	Micaschiste Champoléon	B	(292), 302	-
40	- (3)	Gneiss ocellé Croupillouse	B	(325), 336	-
41	DS3125 (2)	Granite Montagne des Bans	BC	40 ± 2, 67	-

abréviations :

Minéral : B = biotite fraîche, BCbl = biotite chloritisée partiellement, BC = biotite totalement chloritisée, M = muscovite, FK = feldspath K, Pl = plagioclase, RT = roche totale

N° échantillon : n° géologue ou n° Clermont pour les n° 32 à 38.

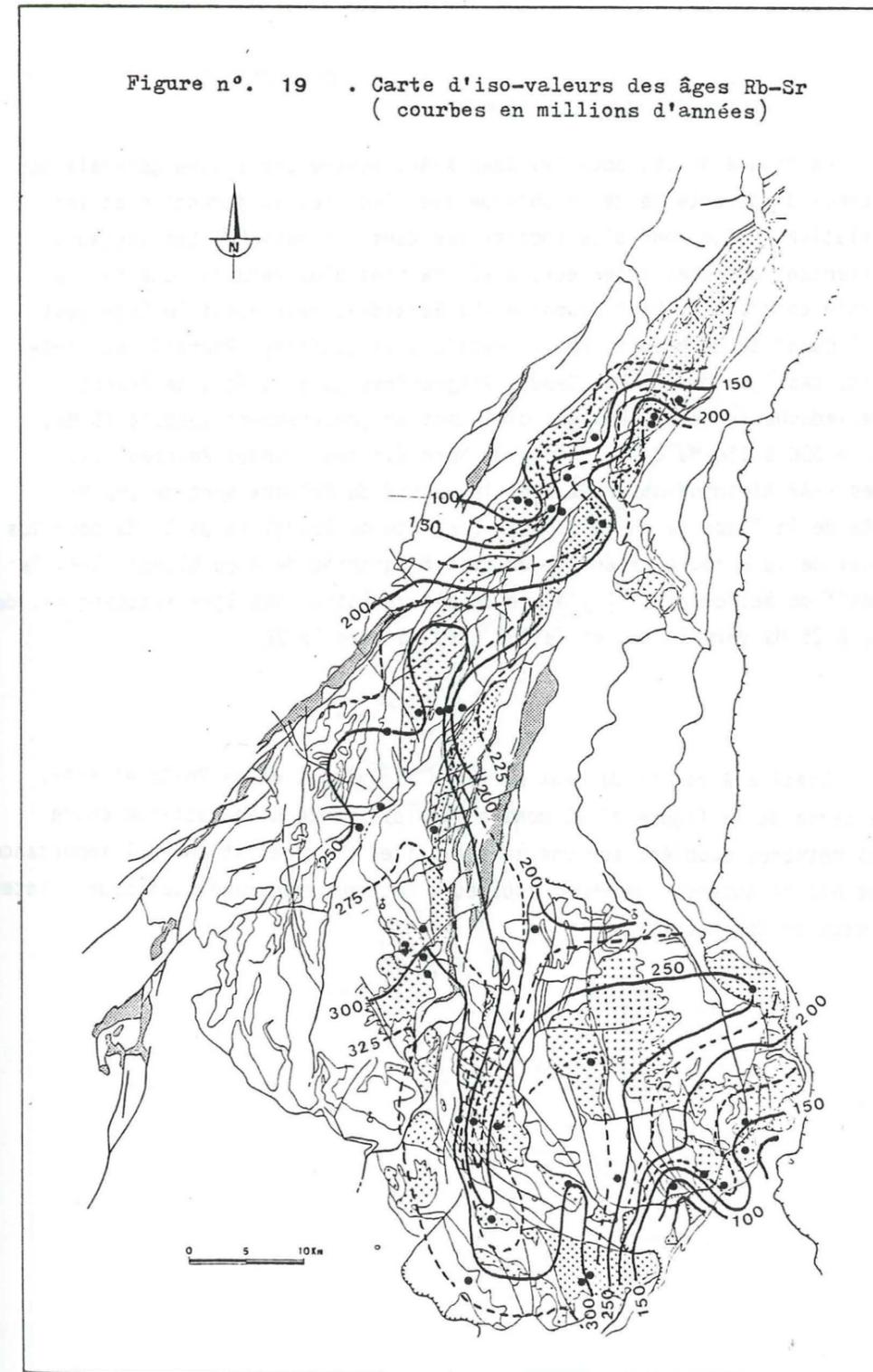
Référence : (1) = in J.M. SUFFISRE (1963) et inédit, (2) in A. BARBIERI (1970), (3) = SONNET (1963) in P. LE FORT (1974).

Age Rb/Sr en Ma : colonne de gauche = Age Rb/Sr conventionnel avec strontium initial de 0,712. Colonne de droite = Age Rb-Sr corrigé: isochrone micas-RT. Les âges entre parenthèse sont les âges donnés en bibliographie avec les anciennes constantes. Nouvelles constantes (Sydney, 1976):  $87Rb = 1.42 \times 10^{-11} \text{ an}^{-1}$

Age K/Ar en Ma : Age conventionnel, constantes :  $40K/40 \text{ tot } 1 = 1.193 \times 10^{-10} \text{ an}^{-1}$  et  $40K_e = 1.962 \times 10^{-10} \text{ an}^{-1}$ ,  $40K_e = 0.581 \times 10^{-10} \text{ an}^{-1}$ .

La figure n° 19, pour les âges Rb-Sr, montre qu'une bonne partie du massif du Pelvoux correspond à des âges moyens de 270 Ma et que, plus on va vers le Sud-Est, plus les âges sont jeunes: 120 Ma (près d'Ailefroide) et 67 Ma (massif des Bans). Les âges de 300 à 320 Ma sont situés au Sud et à l'Ouest du massif du Haut Dauphiné (Croupillouse, Vieux-Chailloï, Valjouffrey, Valgaudmar). En remontant vers le 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 à 225 Ma se situent dans la partie interne du massif. Dans la partie de Belledonne au Nord d'une ligne passant par Fond de France et Saint-Etienne de Cuines, les âges diminuent en direction du nord-ouest de 225 à 75 Ma.

Figure n°. 19 . Carte d'iso-valeurs des âges Rb-Sr (courbes en millions d'années)



La figure n° 20, pour les âges K-Ar, montre une allure générale des courbes différente de celle obtenue avec les âges au strontium et les variations d'âge sont plus importantes dans les massifs. Les secteurs présentant des âges supérieurs à 225 Ma sont plus réduits: une faible partie centrale du Haut Dauphiné (La Bérarde), mais aussi le Sud-Ouest et l'Ouest de ce massif (Petit Chaillol, Valjouffrey, Rochail) qui présente des âges de 320 Ma. Depuis Valjouffrey jusqu'à Fond de France (Belledonne au 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 150 Ma près de la Chapelle en Valgaudmar (granite du Bourg) et de 50 Ma pour les micas de la bordure orientale du massif (granite de Rieu Blanc). Dans le massif de Belledonne, il y a une double variation des âges isotopiques: de 150 à 25 Ma vers le NW, et de 150 à 50 Ma vers le SE.

Etablie à partir de deux cartes d'isovaleurs d'âge Rb-Sr et K-Ar, la carte de la figure n° 21 montre la discordance d'âge obtenue entre les méthodes couplées sur une même biotite. La répartition et l'importance des écarts observés délimitent plusieurs secteurs géographiques pour l'interprétation des résultats.

Figure n°. 20 . Carte d'iso-valeurs des âges K-Ar  
(courbes en millions d'années)

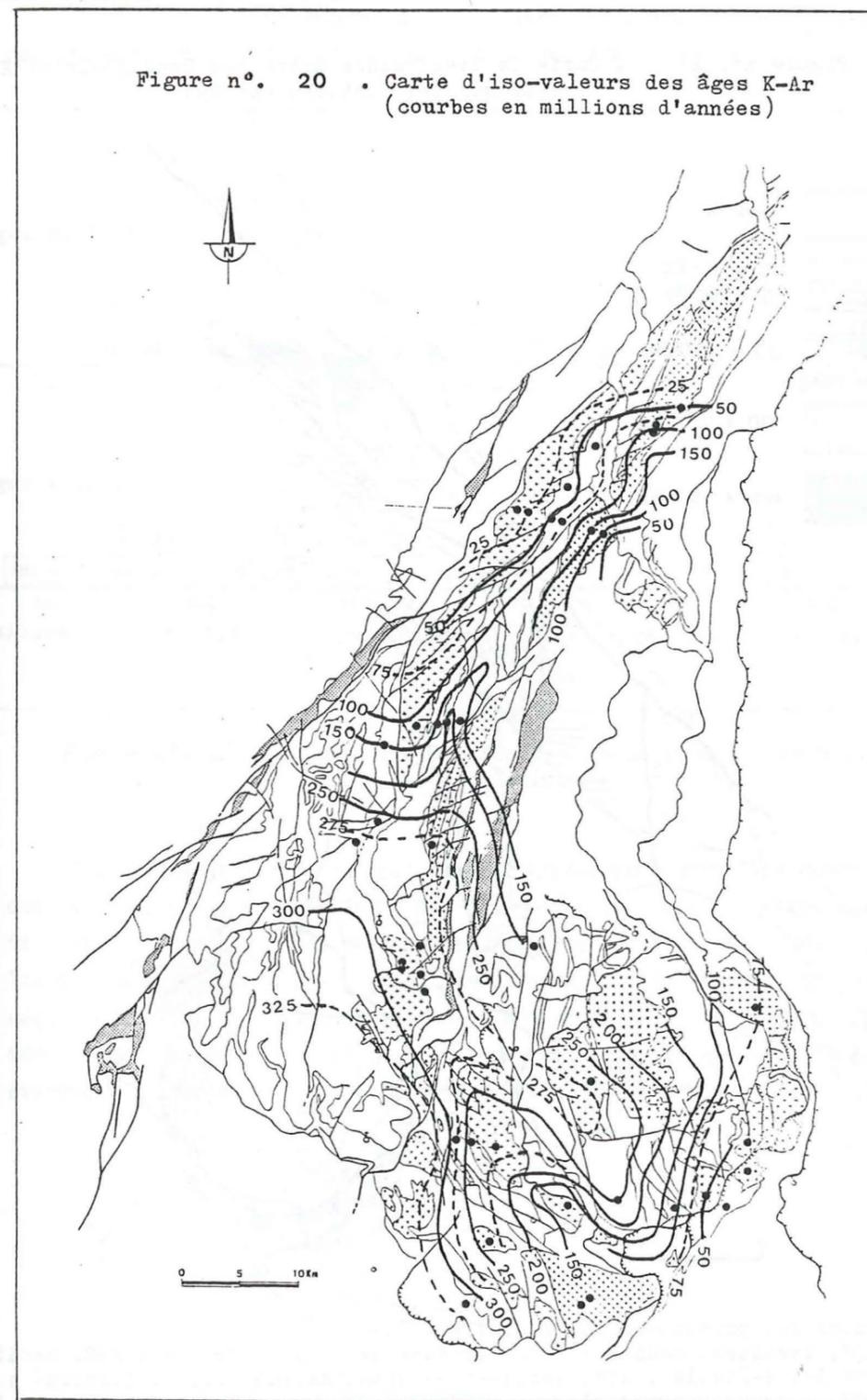
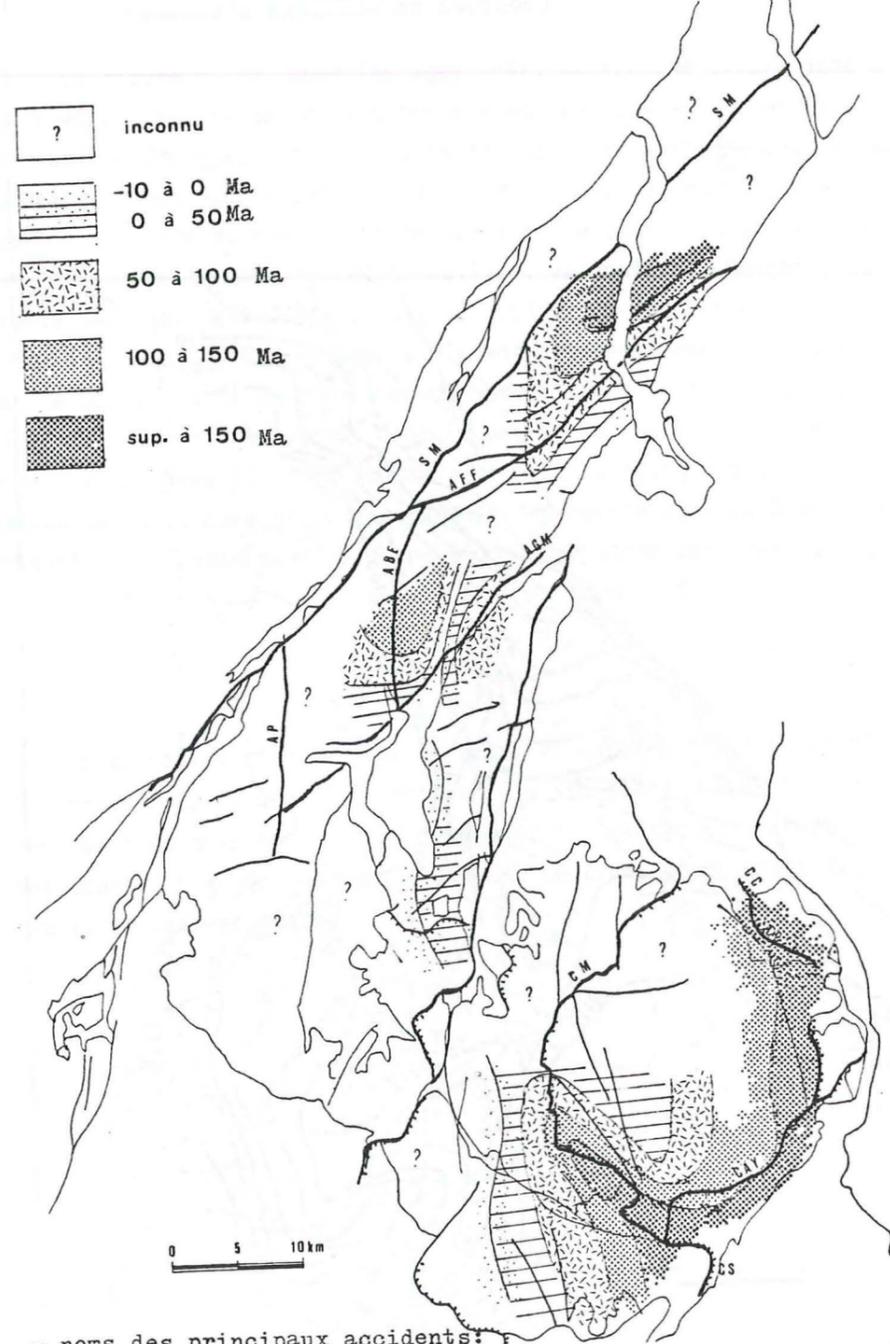


Figure n°. 21 . Carte de discordance entre les âges Rb-Sr et K-Ar obtenus sur les biotites (en Ma)



- noms des principaux accidents: SM, synclinal médian ; AFF, accident de Fond de France ; ABE, accident de Belle-Etoile ; AGM, accident de Grand'Maison (Col du Glandon) ; CM, chevauchement de la Meije ; CC, du Combeynot ; CS, du Sirac ; CAY, d'Ailefroide et de l'Y ret.

Les résultats sont résumés par la figure n°22, sous forme d'histogramme qui permet de visualiser la répartition des âges obtenus

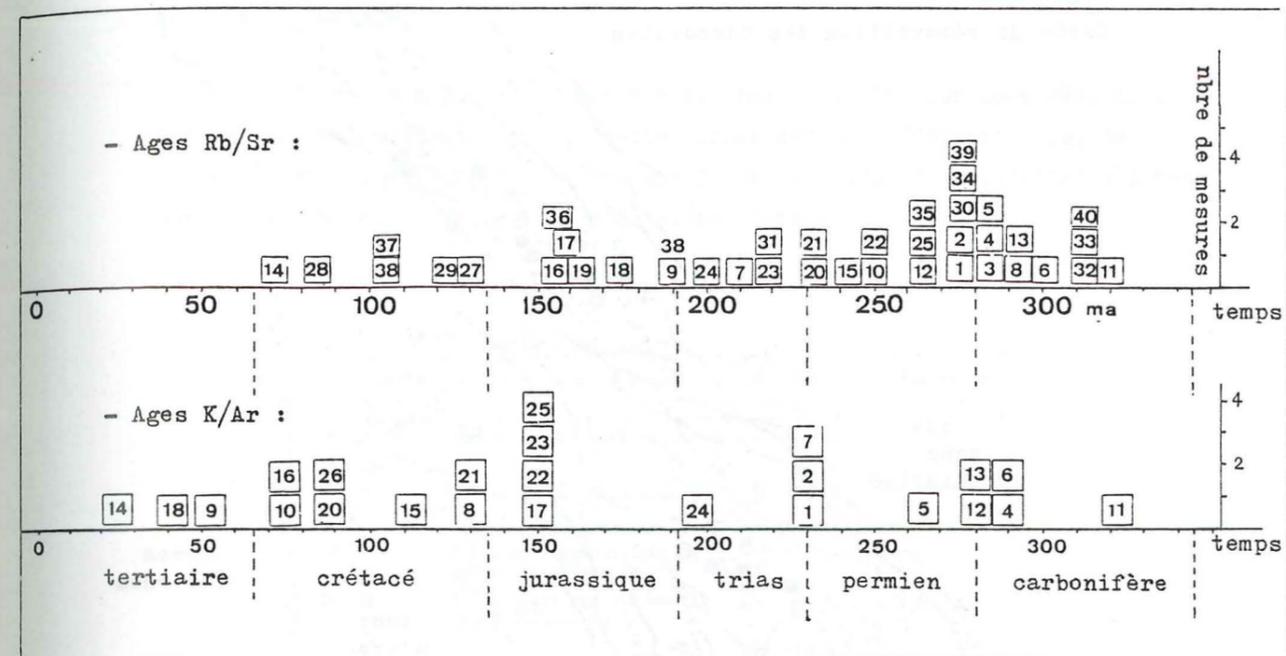
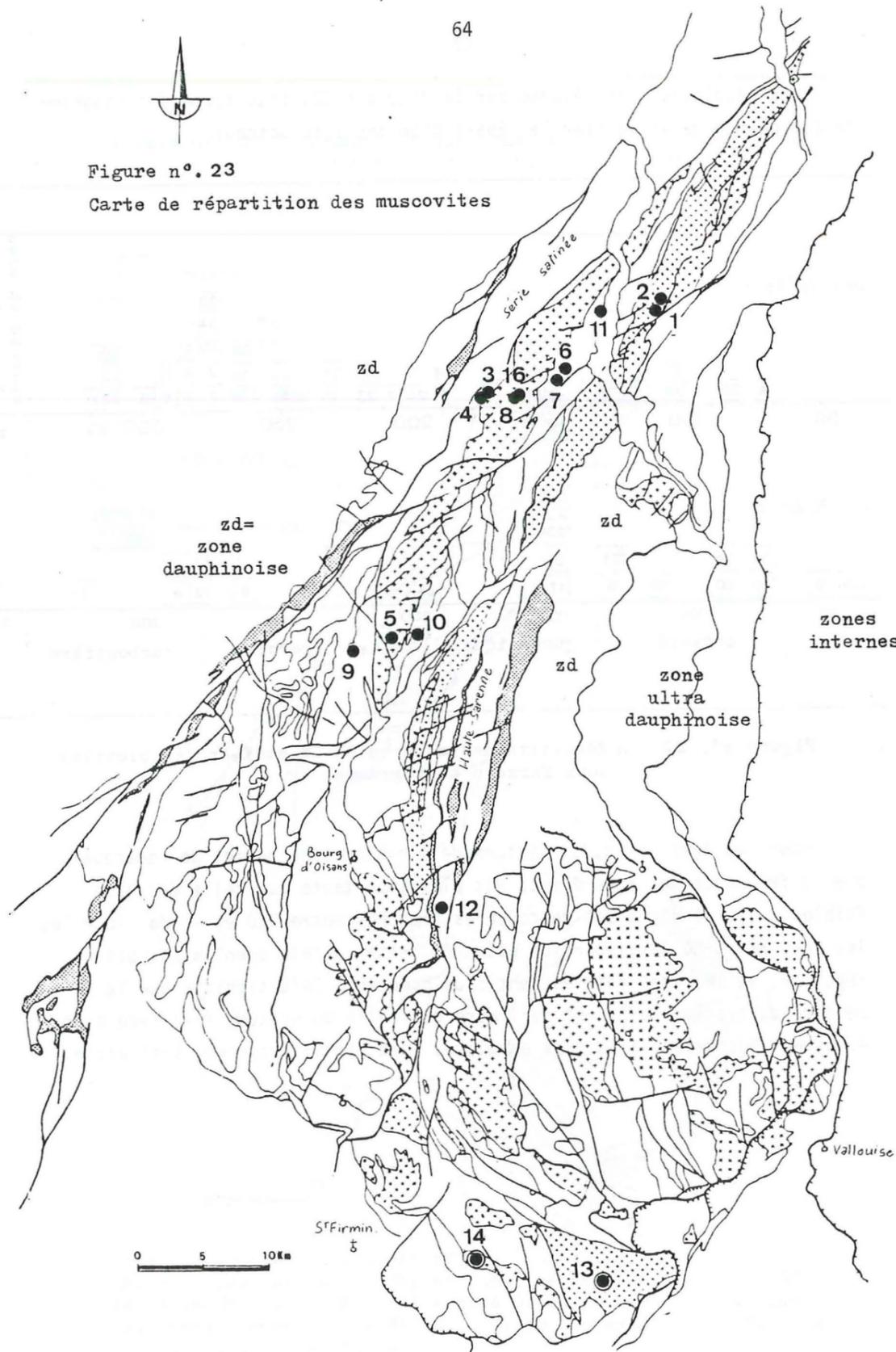


Figure n°. 22 . Résultats des mesures Rb-Sr et K-Ar des biotites sous forme d'histogramme.

Pour les âges Rb-Sr, la lecture de l'histogramme permet de remarquer que la fréquence des âges élevés est plus importante que celle des âges faibles, mais il n'y a pas de coupures franches entre 320 et 70 Ma. Pour les âges K-Ar, où la dispersion est très nette, l'étalement n'est pas régulier, et les âges faibles sont plus nombreux. Cela signifie que la mémoire du système Rb-Sr est meilleure que celle du système K-Ar face à un événement postérieur à la mise en place, soit tardi-hercynien, soit alpin.



Figure n°. 23  
Carte de répartition des muscovites



4.1.2. LES MUSCOVITES

a) Echantillonnage

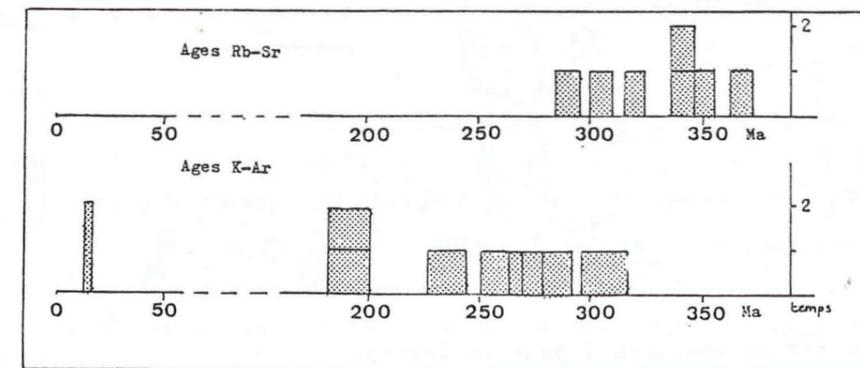
L'étude des muscovites n'a pas été systématique. Les quelques résultats K-Ar et Rb-Sr concernent des muscovites provenant de différents types de roche (micaschistes, gneiss, filons aplitique ou pegmatitique, fentes alpines). Quelques analyses chimiques ont été faites (Annexe n° IV).

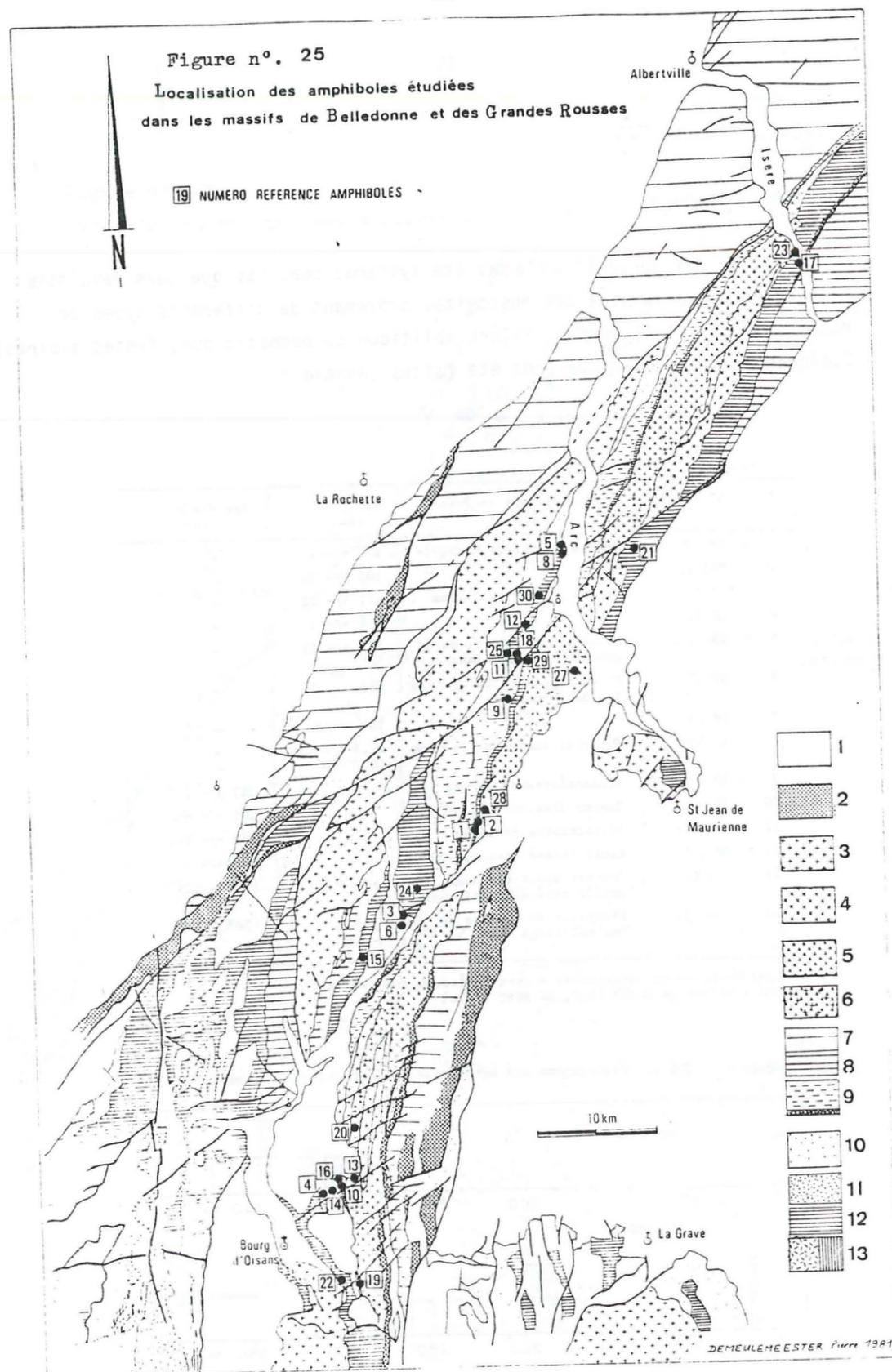
Tableau n°. 7 . Résultats des mesures

N°	N°échant.	Localité, type de roche	âge K-Ar (Ma)	âge Rb-Sr (Ma)
I	DP 78	Gneiss du Col de Montjoie	281 +/- II	-
2	PAL 23	" "	306 +/- I2	-
3	DP IO	Gneiss du Col de Claran	271 +/- II	-
4	DP II	" "	234 +/- 9	-
5	DB 22 A	Filon aplopegmatitique du granite des Sept-Laux	257 +/- I3	-
6	DP 22	Filon aplitique du granite des Sept-Laux	I9I +/- 8	-
7	DP 24	" "	I89 +/- 8	-
8	A I530	Phengite dans fente alpine	I5.3 +/- 0.6 I4.9 +/- 0.7	-
9	DP IOI	Micaschistes du Rivier	-	347 +/- 7
IO	DP IO5	Gneiss Rissiou-R-Blanc	-	306 +/- 6
II	DP I6 A	Micaschistes St-Léger	-	367 +/- 7
I2	DP II7	Micaschistes Htes-Sarenne	-	290 +/- 6
I3	- (I)	Granite aplitique dans gneiss ocellé Crupillouse	(306), 3I7	(308), 3I9
I4	- (I)	Pegmatite du granite de Colle-Blanche	-	(328), 339

Âges Rb-Sr entre parenthèses = avec anciennes constantes  
(I) : référence SONET in P. LE FORT (I974)

Figure n°. 24 . Histogramme des âges Rb-Sr et K-Ar des muscovites





## 4.1.3. LES AMPHIBOLES

## a) Généralités - Echantillonnage

L'étude radiométrique K-Ar des amphiboles intéresse essentiellement la formation métamorphique la plus ancienne du rameau interne de Belledonne (le groupe de Saint Rémy s.l.) et le complexe volcano-sédimentaire métamorphique des Grandes Rousses occidentales.

Elle permettra de caractériser la fin du métamorphisme hercynien et/ou de mettre en évidence des événements métamorphiques plus anciens.

Une trentaine d'échantillons ont été collectés depuis Cévins sur Isère (partie la plus septentrionale) jusqu'au Clapier d'Auris (vallée de La Romanche). Les points de prélèvements sont reportés sur la carte géologique simplifiée de la figure n° 25 (les différents faciès et les noms des séries sont indiqués au Chapitre Géologie).

## b) Données pétrographiques et chimiques:

Nous avons résumé les caractéristiques principales des hornblendes, et notamment les différentes associations minérales dans un tableau qui figure à l'annexe n° V avec les analyses chimiques. Nous avons reporté sur la figure n° 26, les points correspondant aux amphiboles analysées.

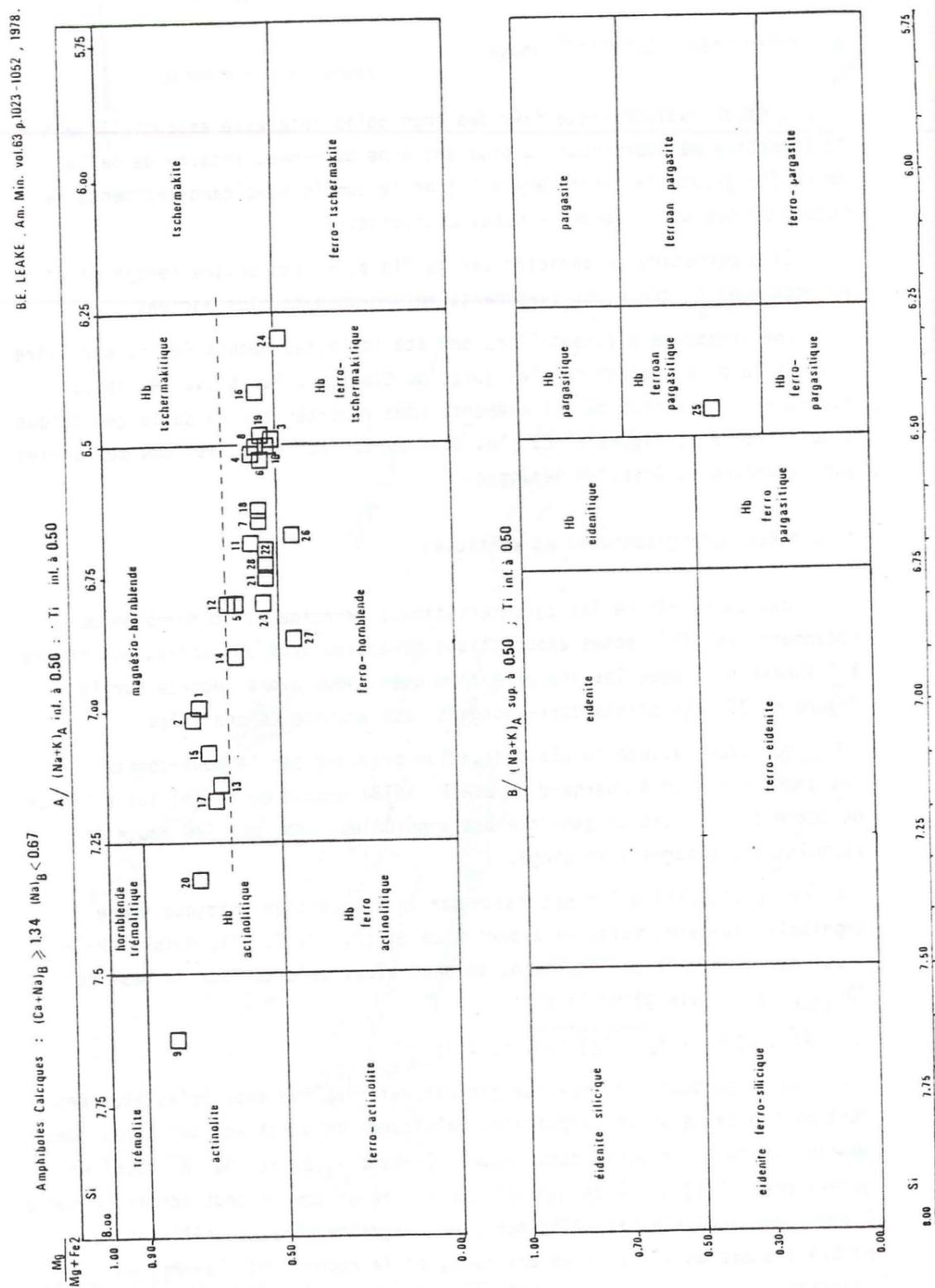
Nous avons adopté la classification proposée par le sous-comité sur les amphiboles I.M.A.. Bernard E. LEAKE (1978) expose en détail les principes de cette classification générale des amphiboles ainsi que les nouvelles formulations désormais en usage.

Cette classification est basée sur la composition chimique d'une amphibole standard, calculée à partir de 24 (O, OH, F, Cl), mais si H<sub>2</sub>O+ n'est pas déterminé ou incertain, on peut alors calculer sur la base de 23 (O). La formule générale est:



Parmi les quatre principaux groupes définis, les amphiboles étudiées font partie de celui des amphiboles calciques: celui-ci est défini par des amphiboles monocliniques, dans lequel  $(Ca-Na)B > 1,34$  et  $(Na) B < 0,67$  et généralement  $(Ca) B > 1,34$ . A l'intérieur du groupe on peut donner un nom à l'amphibole analysée par référence à un diagramme binaire utilisant le nombre d'atome de silice, en abscisse, et le rapport  $Mg/(Fe^{2+}+Mg)$  en ordonnée.

Figure n°. 26 . Nomenclature des amphiboles de Belledonne et des Grandes-Rousses (Classification de LEAKE, 1978).



Nous avons des magnésio-hornblendes en majeure partie, avec apparemment une gradation progressive depuis le terme actinote (n°9 et 20) jusqu'aux hornblendes tschermakitiques à ferro-tschermakitiques (n°16 et 24). Deux amphiboles (26 et 27), dans le domaine des ferro-hornblendes, sont titani-fères. Une amphibole très potassique est classée comme hornblende ferro-an-pargasitique.

Les densités ont été mesurées. Nous obtenons une valeur moyenne de 3,18 pour les magnésio-hornblendes. La tendance vers le terme actinolite se voit bien par une diminution nette de cette densité. Une augmentation de cette dernière est nette pour les ferro-hornblendes (26 et 27) et la hornblende ferroan-pargasitique (n°25). Les magnésio-hornblendes dont la densité est supérieure à 3,20 sont toujours très chargées en éléments opaques.

### c) Résultats K-Ar

L'ensemble des âges obtenus est résumé par la figure n° 27 sous forme d'histogramme.

Parmi ces résultats, l'ensemble des données n'apparaît pas très groupé, bien qu'une grande partie des amphiboles ait un âge dévonien et carbonifère. Exceptionnellement, nous avons pu enregistrer des âges plus récents : permien (253 Ma) pour la hornblende actinotique dans l'Unité de l'Alpetta du massif des Grandes Rousses, jurassique (154 Ma) pour une hornblende magnésienne des schistes d'Huez. Au contraire, plus importants sont les âges élevés et supérieurs à 400 Ma: Paléozoïque inférieur voire Briovérien.

Ces valeurs extrêmes n'ont probablement pas de réelle signification et peuvent être interprétées comme étant dues à des pertes d'argon radio-génique pour les unes, et à des excès d'argon pour les autres. Comme pour les biotites, la figure n° 28 représente la carte d'iso-valeurs des âges K-Ar sur amphibole ou thermochrones. Rappelons que ce type de présentation a déjà été utilisé pour d'autres régions: citons HARPER (1967), DEWEY et PANKHURST (1970) pour les Calédonides d'Ecosse, CANTAGREL (1973) pour le Massif Central français. Les âges voisins de 300 Ma sont plutôt situés à l'Est, alors que la majorité des âges supérieurs à 400 Ma sont situés à l'Ouest (proches de la masse granitique des Sept Laux ou du Rochail).

Figure n°. 27 . Résultats des mesures K-Ar des amphiboles des massifs de Belledonne et des Grandes-Rousses.  
I4/320 = n° de référence et âge apparent (en Ma)

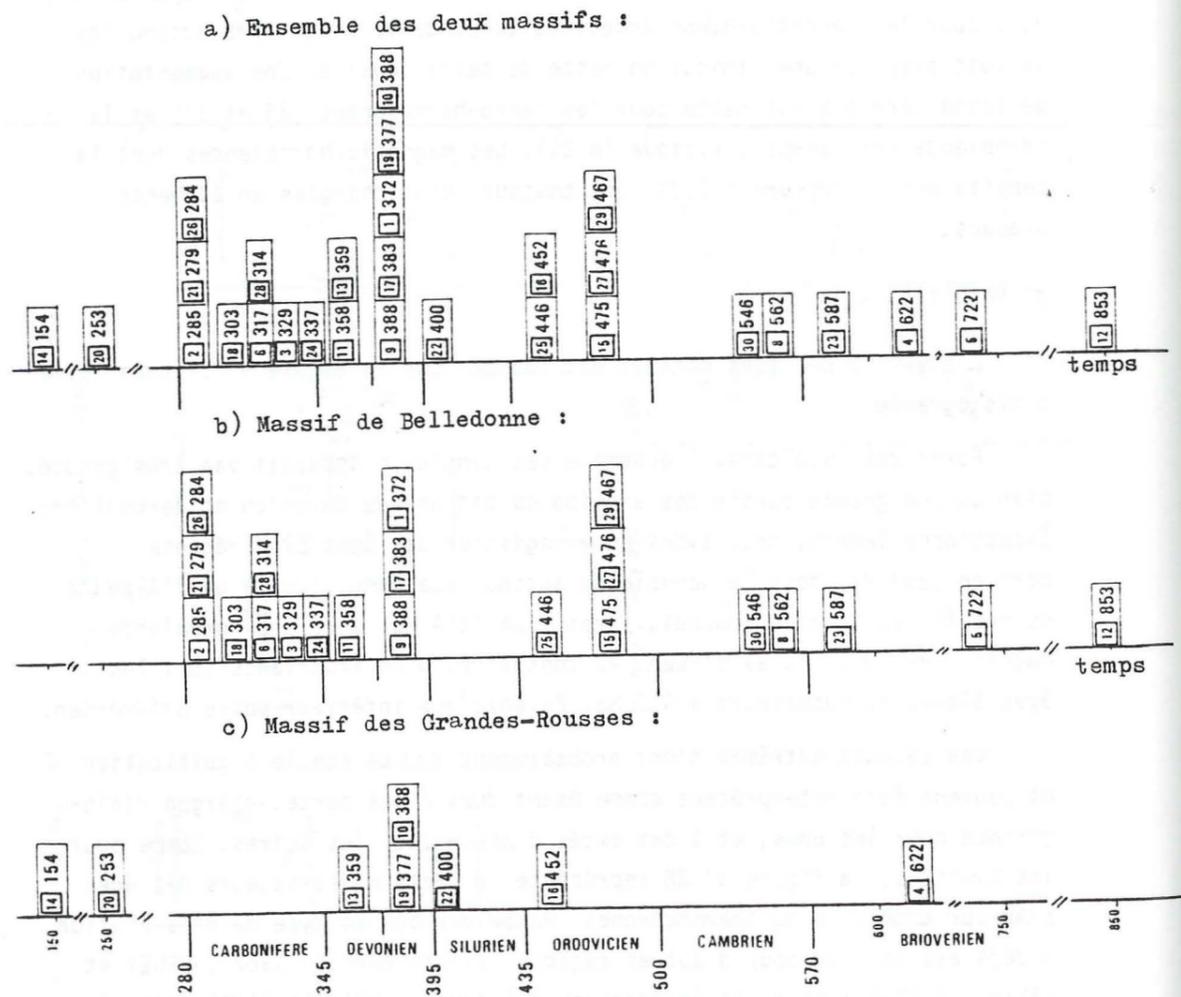
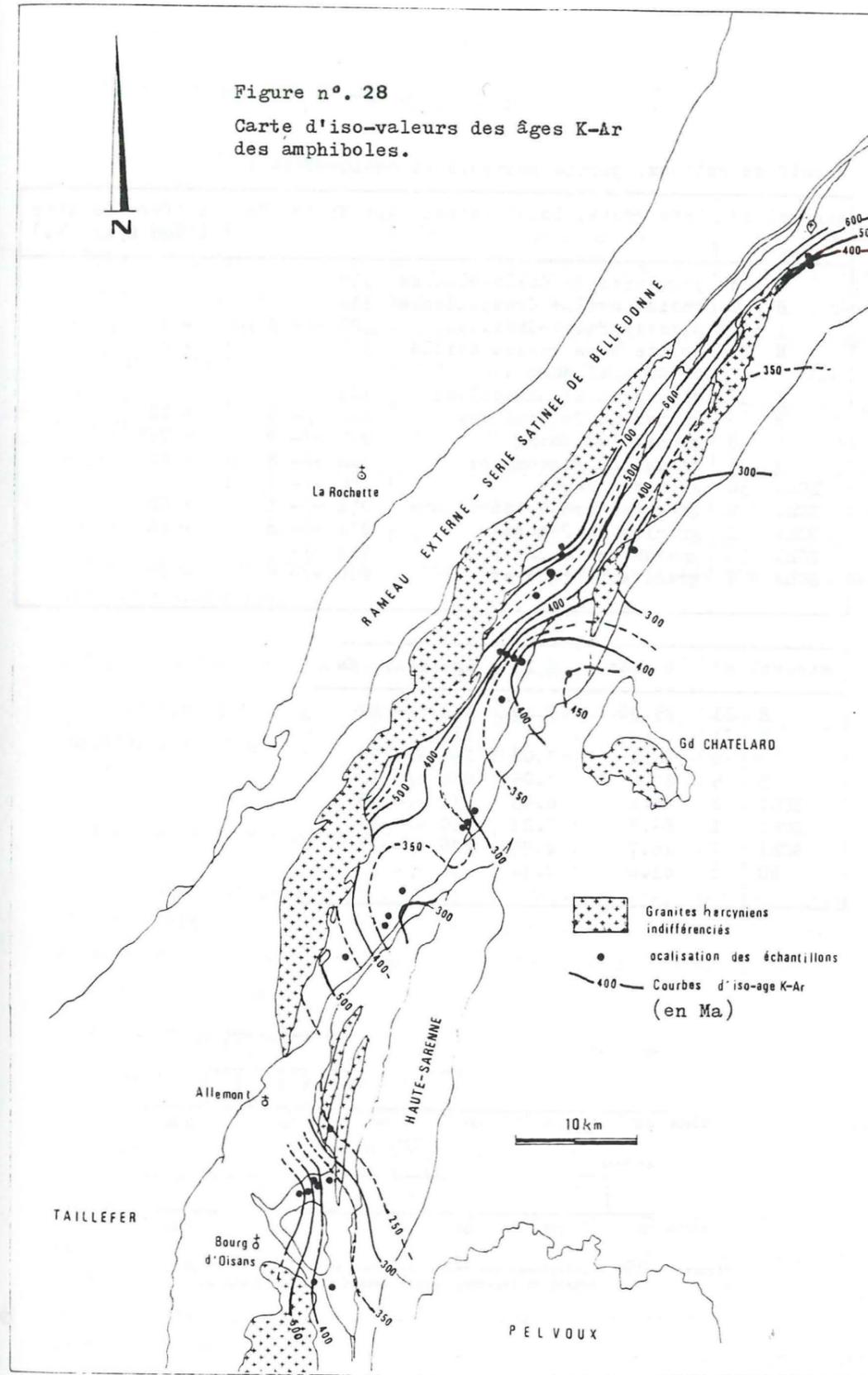


Figure n°. 28  
Carte d'iso-valeurs des âges K-Ar des amphiboles.



Massif du Pelvoux, partie centrale et occidentale :

minéral	n°	type roche, localisation	âge Rb/Sr (Ma)	différence avec l'âge K/Ar (Ma)
M	I4	pegmatite de Colle-Blanche	339	
B	40	gneiss ocellé Croupillouse	336	
B	II	minette Petit-Chaillol	320 +/- 9	- 3
M	I3	aplite dans gneiss ocellé de Croupillouse	319	+ 2
B	39	micaschistes Champoléon	302	
B	6	gneiss du Valjouffrey	302 +/- 8	+ 12
B	8	granite du Bourg	297 +/- 9	+ 167
B	5	gneiss du Pigeonnier	286 +/- 8	+ 22
BChl	30	granite Etages	280 +/- 8	
BChl	2	granite Turbat-Lauranoure	274 +/- 8	+ 42
BChl	I	granite de Pétarel	274 +/- 8	+ 44
BChl	3I	gneiss de La Lavey	222 +/- 6	
BChl	7	granite d'Orgières	210 +/- 6	- 16

minéral	n°	% radio.	% K	âge K-Ar (Ma)
B	II	95.90	7.40	323 +/- 10
M	I3	-	-	317
B	6	94.4	7.08	290 +/- 12
B	5	65.4	7.05	264 +/- 16
BChl	2	98.6	6.93	232 +/- 10
BChl	I	89.7	7.23	230 +/- 10
BChl	7	48.7	4.95	226 +/- 18
BC	8	63.0	0.32	130 +/- 8

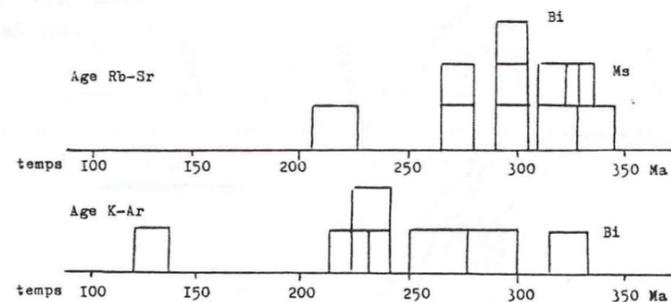


Figure n° 29 . Histogramme des résultats Rb-Sr et K-Ar sur minéraux, Massif du Pelvoux, partie centrale et occidentale.

## 4.2. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

### 4.2.1. LE MASSIF DU PELVOUX

D'après les cartes d'isovaleurs des datations sur biotites (cf. figures n°19 et 20), les âges Rb et Sr varient de 325 à 70 Ma d'Ouest au Sud-Est du massif, les âges K-Ar varient de 325 à 130 Ma pour la partie occidentale et de 275 à 50 Ma pour la partie orientale. Les âges sont soit concordants, soit discordants et dans ce dernier cas, la différence entre les deux méthodes est d'autant plus importante que l'on se rapproche d'une part de l'accident de la Meije, et d'autre part de la bordure orientale du massif. Pour la facilité d'interprétation des âges, nous considérons plusieurs secteurs. Ceux-ci constitueront, pour la plupart, des exemples de l'application des modèles que nous avons présentés dans le chapitre précédent. Après la liaison modèle-géologie, nous donnerons une interprétation géologique des datations numériques.

#### 4.2.1.1. Partie centrale et occidentale du massif

Les résultats analytiques obtenus sur les différents minéraux sont rappelés ci-contre, sous forme de tableaux n°8 et d'histogramme (figure n° 29).

##### a) Ages de refroidissement anté-alpin

Les âges subcordants obtenus par les deux méthodes sont peu nombreux. Ils sont très peu différents et normalement les âges Rb-Sr, moins sensibles à des événements (mé tamorphique et/ou tectonique) postérieurs, sont supérieurs aux âges K-Ar.

Deux cas possibles

-Cas n° 1 (âges supérieurs à 280 Ma)

Biotites n° 6 et 11 (Valjouffrey, Chaillol); Muscovite 12 (Croupillouse)

-Cas n° 2 (âges compris entre 280 et 225 Ma)

Biotite n°5

Ce sont des âges hercyniens non affectés par le métamorphisme alpin subséquent, pour le cas n°1. La différence d'âge entre les deux méthodes moins de 15 Ma, est relativement faible et compatible avec les observations de HART (1964). D'autre part, les prélèvements sont effectués assez loin de tout accident majeur. Nous pouvons donc considérer ces âges comme étant certainement des âges de refroidissement datant la fin d'un épisode

métamorphique hercynien. Ils correspondent à des zones protégées de l'influence alpine.

Dans le cas n°2, la biotite des gneiss du Pigeonnier montre des âges K-Ar légèrement plus jeunes et la discordance plus élevée est de 20 Ma. Ceci peut s'expliquer soit par le fait que le taux de refroidissement est différent des autres secteurs (plus à l'Ouest), soit que l'âge K-Ar est déjà légèrement affecté par un événement thermique postérieur qui serait tardi-hercynien ou permien.

Pour les âges Rb-Sr seuls, il n'a pas été effectué de mesures à l'argon sur les biotites et muscovites: ces résultats correspondent à l'un des cas considéré.

Les âges Rb-Sr des biotites n° 39, 40 et de la muscovite n° 14 (vallée de Champoléon) sont dans le cas n° 1, les biotites chloritisées n° 30 et 31 sont dans le cas n° 2.

#### b) Influence de l'accident de la Meije

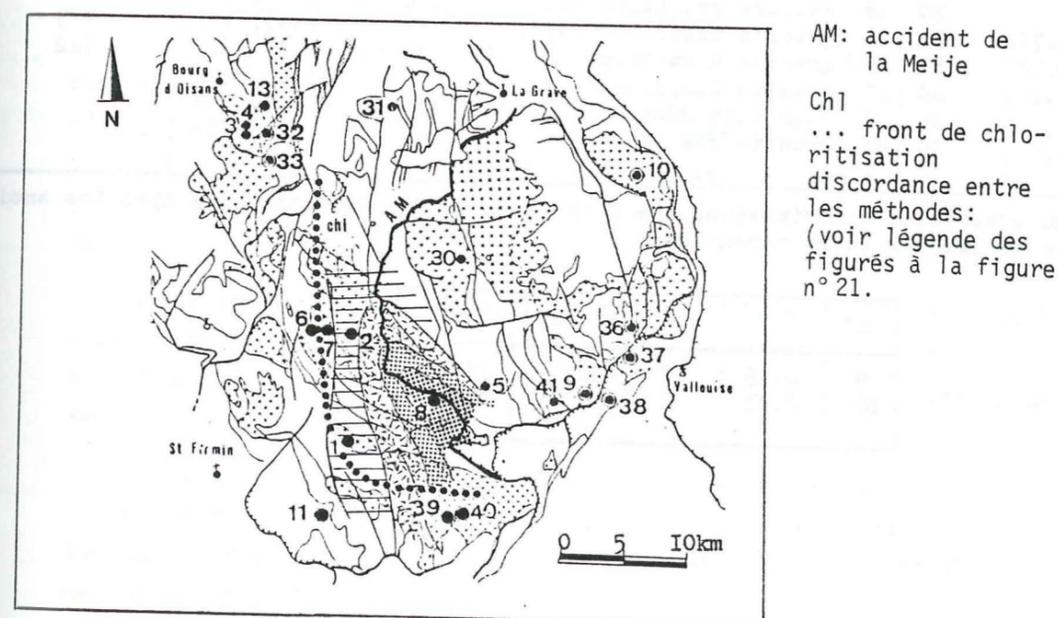
Les biotites n° 1 (Petarel) et n° 2 (Turbat) à 2,5 km et 6 km de l'accident montrent une discordance nette entre les deux méthodes. La différence d'âge, de 40 Ma, devient plus importante lorsque l'on se rapproche de l'accident chevauchant; soit plus de 150 Ma (n°8). Les âges au strontium sont peu affectés (tardihercyniens). L'influence de cet accident majeur est non seulement visible par une diminution des âges apparents K-Ar, mais aussi par l'état d'altération des biotites. Les principaux facteurs responsables de l'ouverture du système argon sont la température et/ou la déformation. Nous sommes dans le cas A de nos modèles.

Loin de l'accident (6,5 km), la biotite n° 6 n'est pas chloritisée et l'âge K-Ar est très peu différent de celui au strontium. Il n'y a pas de départ de K et d'Ar (% K = 7,08; Ar\* =  $90 \times 10^{-6}$  cc/g). Pour les biotites n° 1 et n° 2, plus ou moins chloritisées, la perte de K n'est pas très importante, mais celle d'Ar est plus forte (plus de 20 %). Très proche de l'accident (moins de 2 km) l'échantillon n° 8 (Bourg) est une véritable chlorite, différente d'une chlorite de néoformation (voir BARBIERI, 1970). Elle se serait formée lors du fonctionnement de cet accident.

Il est possible de caractériser l'influence de l'accident tectonique majeur en fonction d'une part de l'état de chloritisation des biotites et d'autre part de la discordance entre les méthodes. Un front de chloritisa-

tion matérialiserait en quelque sorte la limite maximale de l'effet thermique provoqué par l'accident. Cette limite externe se calque d'ailleurs très bien sur celle du début de discordance entre les âges isotopiques (figure n° 30). Signalons toutefois l'opposition entre le caractère local et cassant de l'accident de la Meije, et le caractère plus large et plus chaud mis en évidence par le rajeunissement et la chloritisation. Est-ce que le chevauchement de la Meije et le rajeunissement observé constituent un même phénomène ?

Figure n° 30 Influence de l'accident de la Meije



#### Interprétation géologique

L'âge K-Ar de la chlorite du Bourg (n°8) n'est peut être pas un âge intermédiaire, et il serait proche de l'âge géologique vrai. Il peut représenter en tout cas l'âge maximal (ou une limite inférieure) pour cet événement, soit  $130 \pm 8$  Ma. C'est un âge de rajeunissement qui peut ne pas être complet. Il conviendrait d'effectuer des mesures à l'argon sur des chlorites prises sur l'accident même pour préciser l'âge qui devrait être inférieur ou égal à 130 Ma.

D'après M. GIDON (1979), le chevauchement de la Meije serait anté-nummulitique, car il n'affecte pas les écailles anténummulitiques qui se développent dans la couverture mésozoïque à l'Est de la Grave. Il ne saurait

Massif du Pelvoux, bordure orientale :

% K	Minéral	N°	type roche, localisation	Age Rb/Sr (Ma)		différence avec K/Ar
				conv.	isochr.	
0.714	BC	36	enclave gr. Ailefroide	294	(155), 160	+ 175 + 142
	BC	10	granite Tabuc (Combeynot)	251	(266), 275	
0.56	BC	9	granite Riou-Blanc	194	-	
0.40	BC	37	granite Claphouse	170	(120), 124	
	BC	38	migmatite Béassac	106	(190), 197	
0.55	BC	41	granite des Bans	40	(67), 69	

BC = biotites chloritisées; Age conv. avec 0.712, âge isochrone avec les anciennes constantes entre parenthèse.

n°	% K	âge K/Ar (Ma)	% rad.
9	0.56	52 +/- 5	38.80
10	0.71	75 +/- 7	43.70

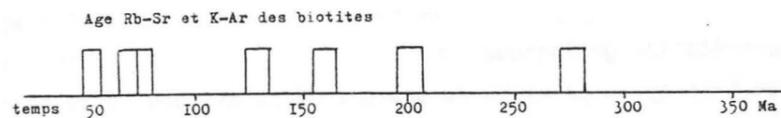


Figure n°. 31 . Histogramme des résultats Rb-Sr et K-Ar sur les biotites de la bordure orientale du massif du Pelvoux.

donc leur être qu'antérieur ou contemporain\*. Et le fait que l'accident proche du granite du Bourg soit le prolongement vers le Sud de ce chevauchement (PECHER, 1981, communication orale) conforte l'hypothèse selon laquelle l'âge K-Ar de 130 Ma est proche de celui de cet épisode tectonique. On ne peut donc pas affirmer que 130 Ma soit l'âge de l'accident, mais celui-ci peut être compris entre 130 et 90 Ma. Lors des phases de serrage est-ouest, post nummulitique, de légers rejeux de ce chevauchement sont possibles et expliquent alors le caractère cassant de celui-ci (faible bande mylonitique).

#### 4.2.1.2. Bordure orientale du massif

Les âges Rb-Sr et K-Ar sont très rajeunis. La discordance entre les deux méthodes est aussi importante. Il y a une mobilité de l'40 Ar et du 87 Sr, et d'après les modèles proposés nous sommes dans les cas B(3) et B(4): rôle important de la déformation liée à des accidents proches, avec soit une augmentation de la température, soit une circulation importante des fluides.

Les échantillons 9,36 et 41 des chlorites (BARBIERI, 1970) se situent sous le chevauchement oriental d'Ailefroide et de l'Yret qui est relayé au Sud par celui du Sirac. Les âges Rb-Sr vont de 194 à 68 Ma (Montagne des Bans) et l'âge K-Ar minimal mesuré est de  $52 \pm 5$  Ma (Riou Blanc).

Les échantillons n° 10 (Tabuc), 37 (Claphouse) et 38 (Beassac) se situent entre ces accidents et le chevauchement pennique frontal. Les âges Rb - Sr vont de 275 à 124 Ma (Claphouse) et l'âge K-Ar minimal mesuré est de  $75 \pm 7$  Ma (Tabuc)

#### Interprétation géologique

Il est difficile d'attribuer ces âges isotopiques à un événement tectonique particulier. En effet, dans le massif du Pelvoux, bien que les écaillages du socle soient pour l'essentiel dus aux serrages NW-SE "antésénoniens" la tectonique post nummulitique n'est pas à négliger. Plus modeste, elle se traduit principalement par le jeu coulissant de blocs en mosaïque (M. GIDON, 1979), mais elle peut provoquer éventuellement de légers rejeux de chevauchements antérieurs. Les âges isotopiques peuvent correspondre à l'épisode tectonique précoce, mais ils peuvent aussi être des âges intermédiaires entre ces deux épisodes et/ou l'époque hercynienne. Il reste donc une ambiguïté dans l'interprétation de ces âges.  
\* Antésénonien (90 Ma) ou Paléocène

Tableau n°.

Massif des Grandes-Rousses et le NW du Pelvoux (Rochail) :

minéral	n°	type roche, localisation	Age Rb/Sr (Ma)	différence (Ma) avec K/Ar
biotite	33	granite Rochail, Vénéon	338 +/- 16	
BChl	32	granite Clapier, La Pisse	330 +/- 9	
BChl	I3	gneiss de Bourg d'Oisans	294 +/- 9	+ I3
M	I2	micaschiste Hte-Sarrene	290 +/- 6	
BChl	3	Rochail, Villard Ntre Dame	286 +/- 8	
BChl	4	" "	283 +/- 8	- I0
B	I2	enclave dans gr. Roche-Noir	265 +/- 8	- I9

BChl = biotite +/- chloritisée ; B = biotite ; M = muscovite

minéral	n°	type roche, localisation	% K	% rad.	age K/Ar (en Ma)	Ar rad. (10-6cc/g)
B	4	Rochail, Villard Ntre Dame	5.65	90.9	293 +/- I3	68.47
B	I2	Roche-Noire, lac	7.17	97.9	284 +/- I2	83.86
B	I3	gneiss Bg d'Oisans, Auris	7.15	97.5	281 +/- II	82.67
amphibole	4	route d'Huez, schistes	0.156	78.9	622 +/- 25	4.40
A	I6	La Rochette, gneiss Am.	0.243	51.1	452 +/- I8	4.75
A	22	Bg d'Oisans, Clapier Auris	0.624	91.4	400 +/- I7	10.61
A	I0	route d'Huez, gneiss Am	0.196	70	388 +/- 22	3.23
A	I9	rampe des Commères, gn. Am	0.597	70.3	377 +/- 21	9.53
A	I3	Chapelle St-Nicolas	0.524	88.7	353 +/- I6	7.92
A	20	Roche-Noire, enclave gr.	0.497	29.9	253 +/- 30	5.11
A	I4	rocher Outaris, schistes	0.367	67.6	154 +/- 9	2.25

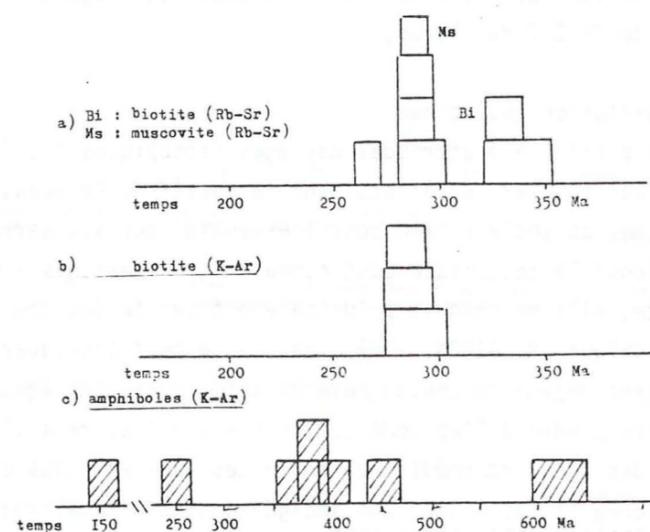


Figure n° 32. Histogramme des résultats Rb-Sr et K-Ar sur les minéraux du massif des Grandes-Rousses et du NW du Pelvoux (Rochail).

## 4.2.2. LE MASSIF DES GRANDES ROUSSES ET LE NORD OUEST DU PELVOUX (ROCHAIL)

Les résultats analytiques sont rappelés ci-contre (tableau n°10 et figure n° 32)

## a) Les biotites

Les biotites des gneiss et des granites ont un comportement différent:

. celles des gneiss de Bourg-d'Oisans (13) montrent des âges Rb-Sr et K-Ar subconcordants (cas n°1); ce sont des âges de refroidissement hercynien non affectés par l'orogénèse alpine. L'âge Rb-Sr de la muscovite des micaschistes de la Haute Sarrene est similaire;

. les biotites plus ou moins chloritisées du granite du Rochail (faciès du Clapier, n° 4), et de l'enclave basique du granite de Roche Noire (n°12) présentent des âges K-Ar supérieurs aux âges Rb-Sr. Une même fraction granulométrique ayant été utilisée pour les deux méthodes, ce n'est donc pas la taille des grains qui peut expliquer cette différence. La discordance étant juste aux limites d'erreur, des analyses complémentaires seraient nécessaires pour voir si elle se maintient. Cependant, il ne semble pas qu'une élévation de la température puisse abaisser l'âge Rb-Sr et non l'âge K-Ar, ce qui serait en contradiction avec HART (1964). Une mobilité ou un déplacement du 87 Sr est possible s'il y a circulations de fluides importants: c'est le cas C de nos modèles (lessivage du 87 Sr et pas de migration d'Ar).

Aussi bien sur les biotites relativement saines (12) que sur les biotites chloritisées (n°4) la mémoire argon est meilleure que celle du système Rb-Sr. Il ne semble pas que cet événement (phase riche en circulations fluides) et l'altération des biotites, soient d'âge alpin (les âges K-Ar sont stéphaniens, les âges Rb-Sr sont permien). Ils sont plutôt dus à des phénomènes hydrothermaux tardifs loin de la mise en place des granites. Les biotites du granite du Rochail, plus au Sud (n° 32 et 33) peu à pas chloritisées ne semblent pas être affectées par ces phénomènes tardimigmatiques. Comme l'on déjà souligné BONHOMME et al. (1963), la chloritisation des biotites du granite du Clapier relève d'une phase d'autopneumatolyse qui a accompagné ou suivi de très près la granitisation et non d'une rétro-morphose alpine.

Figure n°. 33 . Diagramme isochrone  $40\text{Ar}/36\text{Ar}-40\text{K}/36\text{Ar}$  pour les massifs des Grandes-Rousses.

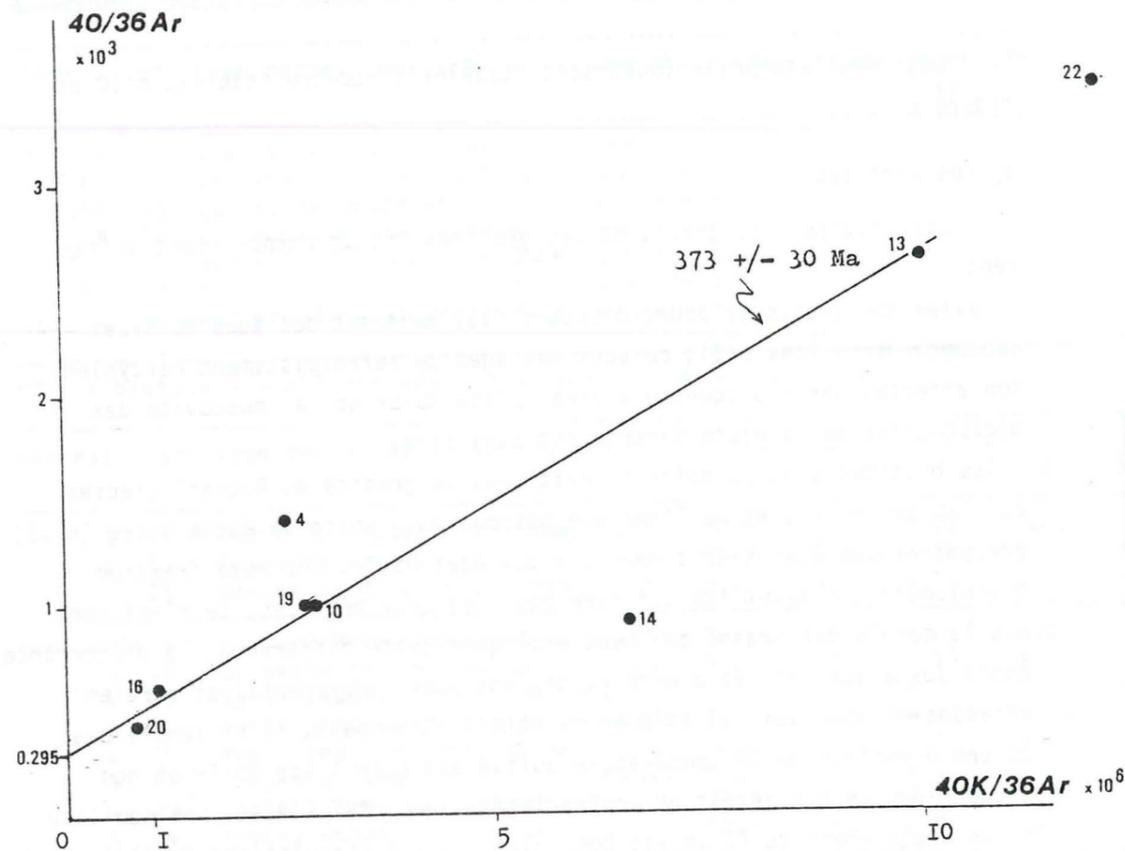
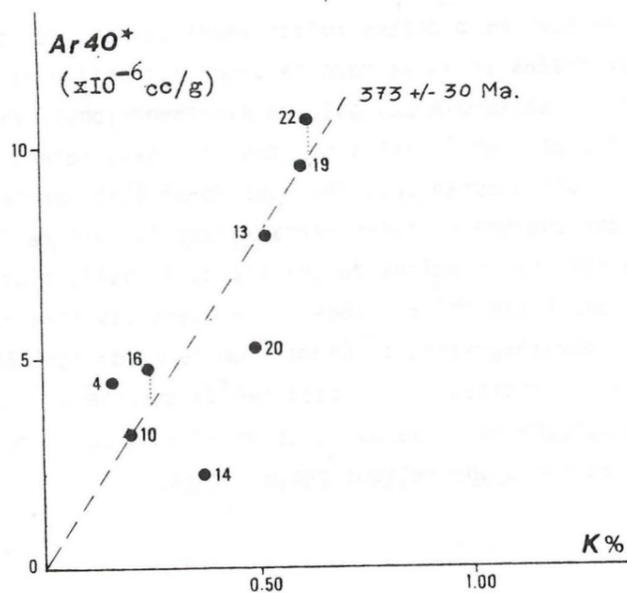


Figure n°. 34 . Diagramme  $40 \text{ Ar rad.} - \text{K} \%$  pour les amphiboles du massif des Grandes-Rousses.



b) Nous ne possédons que peu de résultats sur les amphiboles. Toutefois de la lecture de l'histogramme de la figure n° 32 C se dégagent les points suivants:

- un regroupement d'âges autour de 380 Ma
- des âges apparemment aberrants

1) 154 Ma: il a été obtenu sur une hornblende peu magnésienne (A14) extraite d'un niveau amphibolique fin interstratifié dans les schistes d'Huez Vaujany, à quelques mètres du seul niveau de cipolin de cette formation.

Nous avons donc un milieu minéralogique et géochimique hétérogène à l'échelle de quelques mètres. Ainsi la diffusion de l'argon peut avoir été plus importante et facilitée à (ou jusqu'à) une époque donnée. On sait en effet que l'ouverture des minéraux n'est pas nécessairement uniforme en réponse à un événement thermique et varie en fonction de l'environnement lithologique (J.M. CANTAGREL, 1973).

2) L'âge de 622 Ma paraît beaucoup trop élevé, et nous avons là certainement un excès d'argon 40. Ce niveau d'amphibolite est aussi intercalé dans les schistes d'Huez. Il semble que la diffusion de l'argon au sein de cette série ait été facilitée par son hétérogénéité, ou par des circulations fluides importantes. Nous aurions un système ouvert, l'argon perdu par certains niveaux serait "piégé" par d'autres plus favorables.

Considérons maintenant les diagrammes des figures n° 33 et 34. Dans le diagramme  $40 \text{ Ar}/36 \text{ Ar} - 40 \text{ K}/36 \text{ Ar}$  les points sont très dispersés. Cependant, les amphiboles n° 13, 10 et 19 groupés sur l'histogramme, s'alignent sur une droite donnant un âge de  $373 \pm 30 \text{ Ma}$  dont l'ordonnée est proche de 300.

Dans le diagramme  $40 \text{ Ar}^* - \text{K} \%$ , la dispersion des points est aussi nette, mais les trois amphiboles (13, 19 et 10) définissent une droite passant par l'origine. Elles n'ont subi ni gain, ni perte d'argon depuis la fermeture du système argon, à la différence des autres amphiboles (perte pour le n° 14, excès pour les n° 4, 16, 22).

En fonction de leur comportement chimique, les amphiboles sont représentées dans le tableau de classification proposée par B.E. LEAKE (1978) (figure n° 35). Suivant les différentes unités considérées, la composition est variable depuis les hornblendes tschermakitiques vers des hornblendes actinolitiques.

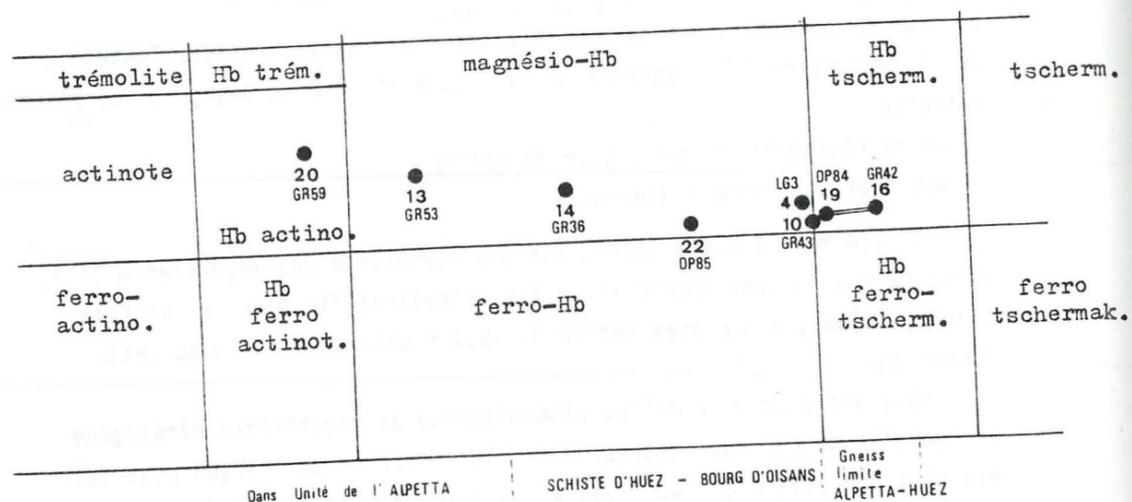


Figure n°. 35 . Composition des amphiboles des Grandes-Rousses (d'après la classification de LEAKE, 1978)

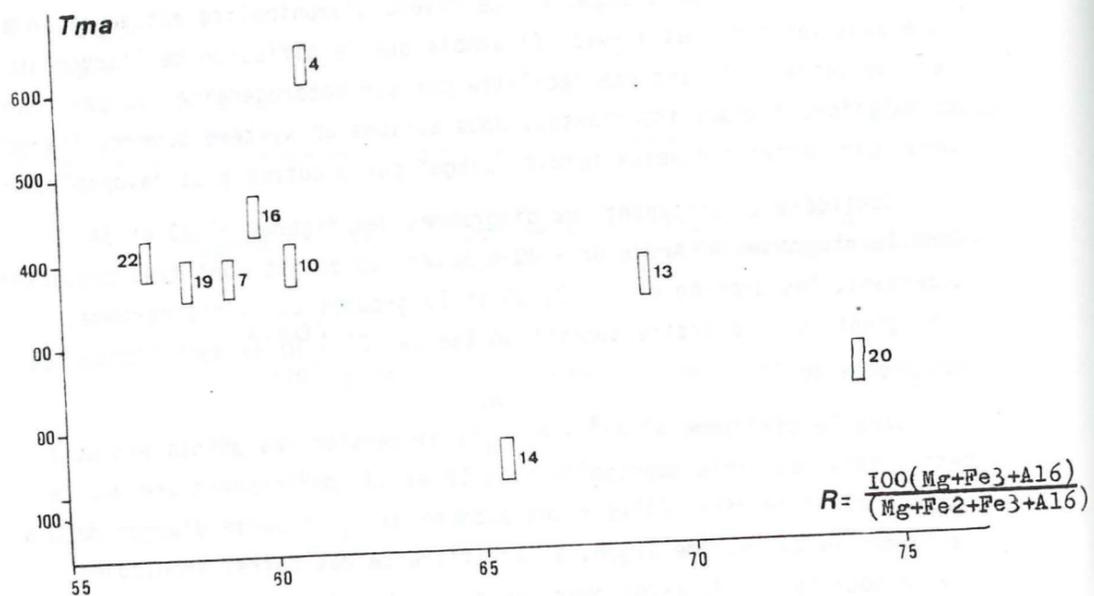


Figure n°. 36 . Age apparent t (en Ma) en fonction du paramètre  $R = \frac{100(Mg+Fe_3+Al_6)}{(Mg+Fe_2+Fe_3+Al_6)}$  (d'après O'NIONS et al., 1969)

D'après le diagramme proposé par O'NIONS et coll. (1969) à la figure n° 36, où le paramètre  $R = 100 (Mg+Fe_3+Al_6)/(Mg+Fe_2+Fe_3+Al_6)$  est porté en fonction de l'âge apparent (t en millions d'années), il y a une relation d'indépendance entre la composition chimique des amphiboles et l'âge apparent.

c) D'après les courbes d'isovaleurs des âges K-Ar (figure n°28) on remarque une diminution des âges apparents du SW vers le NE, (exception faite de l'échantillon n° 14). L'âge de 250 Ma (n° 20) est obtenu sur une amphibole provenant d'une enclave de type vaugnéritique dans le granite de Roche Noire. Le lieu de prélèvement est nettement éloigné de l'ensemble des autres points et situé le plus au Nord de l'unité de l'Alpetta. Le contexte est aussi différent et la signification de cet âge n'est pas à relier avec les autres amphiboles. Les âges à  $373 \pm 30$  Ma ne sont pas dus à des excès d'argon. Ils représenteraient l'âge de la fermeture du système argon et la fin d'un métamorphisme hercynien précoce (stade "acadien" 410 à 360 Ma). L'amphibole la plus magnésienne (n° 13) donnerait l'âge le plus proche de l'âge réel du métamorphisme. Nous aurions l'âge du métamorphisme principal qui a affecté l'ensemble des gneiss de Bourg d'Oisans et des schistes d'Huez, mais qui n'a pas affecté l'unité de l'Alpetta. Une phase hercynienne plus tardive, 330-300 Ma, (âges des biotites B 32, 33 et 13 et muscovite M 12) caractérisée surtout par une granitisation importante (granites du Rochail et de Roche Noire, voir chapitre sur les granites), provoque une réouverture partielle du système argon au sein de l'ensemble gneiss de Bourg d'Oisans-schistes d'Huez. Si pour les éléments radiogéniques 87 Sr et 40 Ar, cette ouverture est totale pour les biotites, par contre, elle ne semble pas l'être pour les amphiboles. On peut même dire que les gneiss amphiboliques de la bordure est des schistes d'Huez ne sont pratiquement pas affectés par cet événement ; ils représenteraient la limite de l'influence de ce dernier. Le facteur principal d'ouverture du système argon est la température (supérieur à  $300^\circ\text{C}$ , mais proche de  $400^\circ\text{C}$ ; température de fermeture de l'amphibole). Nous sommes dans le cas B(1) de notre modèle. Les pertes ou excès d'argon sont fonction de l'hétérogénéité des formations de Bourg d'Oisans et des schistes d'Huez: excès variables de  $0,8$  à  $2 \times 10^{-6}$  cc/g pour les amphiboles 22, 16 et 4 (total 3,6) et perte de  $3,5 \times 10^{-6}$  cc/g pour l'amphibole n° 14.

Massif de Belledonne, partie sud :

minéral	n°	type roche, localité	Age Rb/Sr (Ma)	différence avec K/Ar (Ma)
B	34	gneiss d'Allemont	288 +/- 18	
B	35	gneiss de Rochetaillé	274 +/- 19	
B	25	gneiss Rissiou-Rocher Blanc, Eau d'Olle	264 +/- 8	+ 115
B	22	micaschistes Rivier	253 +/- 7	+ 105
B	15	granite Sept-Laux,	244 +/- 7	+ 121
B	23	gneiss Grand'Maison	216 +/- 4	+ 62
B	24	gneiss du Gros Treu	200 +/- 4	+ 3
M	9	micaschistes du Rivier	347 +/- 7	
M	10	Rissiou-Rocher Blanc	306 +/- 6	

minéral	n°	% K	% rad.	âge K/Ar (Ma)
B	24	8.59	79.67	197 +/- 10
B	23	6.22	97.23	154 +/- 6
B	25	7.76	88.76	149 +/- 7
B	22	6.93	95.14	148 +/- 6
B	15	7.39	96.16	113 +/- 5 ) I23
			94.20	133 +/- 7 )
Pl	15	1.20	51.87	463 +/- 18
RT	15	2.65	94.35	233 +/- 10
FK	15	11.47	93.83	87 +/- 4 ) 94
			94.33	101 +/- 5 )
M		8.12	79.11	257 +/- 13

B = biotite, M = muscovite, RT = roche totale, FK = felds.K, Pl = plagioclase

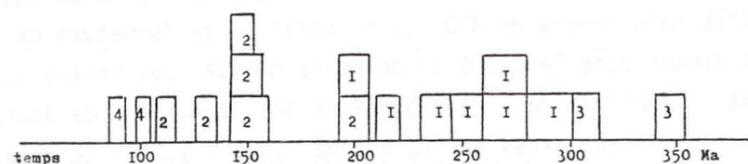


Figure n°. 37 . Histogramme des résultats sur les minéraux du massif de Belledonne, partie sud.  
( 1, biotite/Rb-Sr; 2, biotite /K-Ar; 3, muscovite/Rb-Sr; 4, Felds.K/K-Ar)

En conclusion, cette partie des massifs cristallins externes constitue une zone protégée de l'orogénèse alpine. Il est possible de bien y caractériser les phases métamorphiques hercyniennes d'après les données radiométriques sur amphiboles et sur biotites. Mais deux cas sont envisageables :  
- ou bien il n'y a eu qu'une seule phase tardive, de métamorphisme hercynien (fin à 295 Ma) qui a été reprise par des événements tardi-hercyniens à permien (tous les âges K-Ar supérieurs à 300 Ma sur les amphiboles seraient alors significatifs d'argon excédentaire);  
- ou bien, ce qui nous semble le plus probable, il y a eu deux phases de métamorphisme hercynien: un stade précoce, acadien (fin à  $373 \pm 30$  Ma) et un stade tardif (340 - 290 Ma) accompagné d'une granitisation dont la zone d'influence est limitée à l'Est et au Nord-Est. Enfin, la tectonique tardi-hercynienne affecterait principalement la partie NE des Grandes Rousses (granites déformés de Roche-Noire et de La Fare, âges K-Ar et Rb-Sr de 280 à 260 Ma). Elle consisterait en un rejeu de la zone de faiblesse où se sont mis en place les granites.

#### 4.2.3. LE MASSIF DE BELLEDONNE

Compte-tenu de l'échantillonnage des biotites et des résultats obtenus, nous considérons deux secteurs d'étude:

- Belledonne sud: vallée de l'Eau d'Olle depuis le Col du Glandon jusqu'au village de Rochetaillée (vallée de la Romanche);
- Belledonne nord: vallée de l'Arc (Maurienne) de Saint-Etienne de Cuines à Epierre, et suivant le tracé de la galerie E.D.F. Arc-Isère.

##### 4.2.3.1. Le Sud du massif de Belledonne

Un résumé des résultats analytiques est présenté ci-contre (tableau n° 11).

a) D'après l'histogramme de la figure n° 37, il apparaît deux groupements d'âges pour les biotites suivant la méthode utilisée:

- un groupement de 230 à 300 Ma (méthode Rb-Sr) et un autre de 110 à 150 Ma (K-Ar).

Les âges les plus anciens sont données par les muscovites M9 et 10 ( $306-347 \pm 7$  Ma/Rb-Sr), alors que les feldspaths potassiques du granite des Sept Laux (FK 15) donnent les âges les plus jeunes ( $87$  et  $101 \pm 5$  Ma / K-Ar).

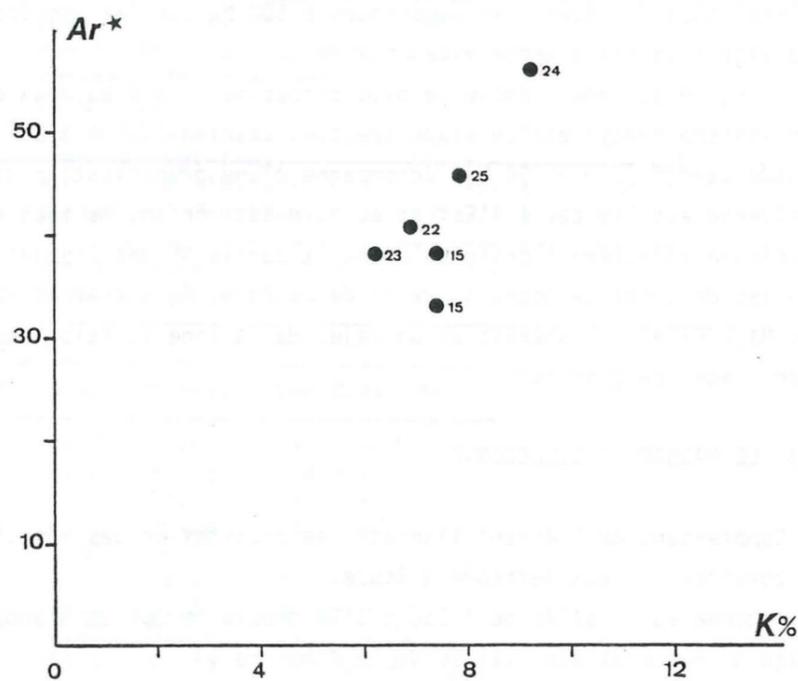


Figure n°. 38 . Diagramme 40 Ar rad.- K % des biotites de la partie sud du massif de Belledonne.

La carte d'isovaleurs Rb-Sr (figure n°19) montre peu ou pas de variation des âges au sein du massif: de 275 Ma au Sud à 225-200 Ma vers l'Est et le Nord-Est. La carte d'isovaleurs des âges K-Ar montre une diminution progressive des âges du Sud vers le Nord et le Nord-Est: de 275 à 150 Ma (figure n°20). La discordance entre les deux méthodes est importante (plus de 100 Ma).

La signification de ces différences d'âges peut se rapporter à l'influence d'accidents majeurs proches et/ou du métamorphisme alpin de faible intensité. Le SE du massif de Belledonne est séparé des Grandes Rousses par un accident jalonné de Lias et de Trias, appelé Col du Glandon- Col du Sabot. Celui-ci a joué à plusieurs époques et il se présente actuellement comme un accident décrochant dextre (VERJAT, 1980). L'accident de Belle-Etoile, à l'Ouest du massif des Sept Laux, individualisé pendant l'orogénèse hercynienne a aussi joué à une époque tardi-hercynienne et/ou alpine.

D'après les modèles définis préalablement, nous serions dans le cas A pour la partie occidentale (effet thermique ou métamorphisme faible et/ou déformation) et dans le cas B (3) pour la partie du Col du Glandon (ouverture des systèmes argon et strontium du fait d'une déformation importante).

#### b) Interprétations

Les âges au strontium sur biotite sont tardi-hercyniens à permien 265 ± 30 Ma (pour les n° 15, 22, 25, 34 et 35) ou intermédiaires 200-216 Ma (pour les n° 24 et 33). Dans le premier cas, ils peuvent être reliés à une tectonique tardi-hercynienne, ou alors ils représenteraient déjà des âges partiellement rajeunis. Dans le second cas, ces âges n'ont pas de signification géologique précise?

Sur le diagramme de la figure n° 38, 40 Ar radiogénique/g d'échantillon en fonction de la teneur en potassium (% K), les biotites n° 22, 23 et 25 montrent une corrélation entre l'40 Ar et la teneur en K. Mais compte-tenu du peu de mesures et des incertitudes, il est difficile de préciser la droite qui relie les points. Cet ensemble de trois biotites peut présenter un léger excès d'argon 40 (s'il est de  $7,5 \times 10^{-6}$  cc/g, la pente de la droite donne un âge de  $124 \pm 3$  Ma). Sur un diagramme 40 Ar/ 36 Ar - 40 K/36 Ar (Mc DOUGALL et STIPP, 1969, RODDICK et FARRAR, 1971) l'âge calculé est de  $150 \pm 6$  Ma avec un rapport initial proche de 300. Cet âge jurassique, fin Dogger - début Malm n'est pas sans rappeler la période correspondant à l'ouverture océanique aussi bien dans l'Atlantique moyen que dans la Téthys (BERNOULLI D. et LEMOINE M., 1980). Mais il nous manque des données

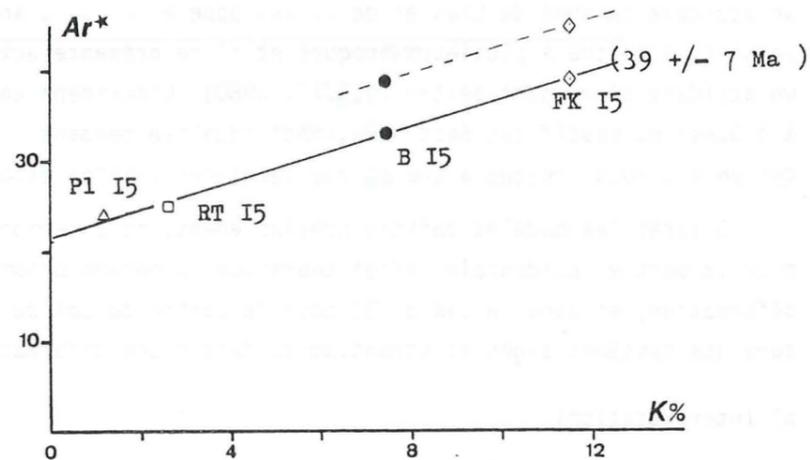


Figure n°. 39 . Diagramme  $^{40}\text{Ar}$  rad. - K % des différents minéraux du granite des Sept-Laux (Vallée de l'Eau-d'Ollé)  
 Pl = plagioclase, RT = roche totale, B = biotite, FK = feldspath K.

pour préciser une réelle signification de ces âges, et c'est pourquoi, il est plus prudent de les considérer comme des âges intermédiaires.

On peut concevoir un comportement différent des roches vis-à-vis du système argon et strontium face à un événement tectono-métamorphique. On sait d'ailleurs que dans un contexte de métamorphisme faible (faciès schistes verts) on trouve des excès d'argon  $^{40}$  dans les minéraux et une homogénéisation incomplète du Sr (PURDY et JAGER, 1976) qui peuvent être favorisés par l'hétérogénéité et la nature des différentes formations (ARNOLD et JAGER, 1970).

Ainsi, pour les granites des Sept-Laux et son encaissant proche, les relations entre ces différents types de roches et les âges obtenus sur biotites sont comparables avec ceux décrits par ces auteurs. Nous aurions un schéma semblable, mais à une échelle plus régionale: les roches acides, telles que les granites présentent une plus forte teneur en phases fluides et montrent un plus fort degré de recristallisation. Dans les roches basiques ou ultrabasique, par contre, les minéraux pré-alpins sont relativement épargnés par les événements alpins, ou alors conservent les âges d'une phase alpine intense: voir les relations entre les biotites n° 15 (granite) n° 24 (formation basique) et n° 22 et 23 (gneiss).

L'étude des différentes phases minérales du granite des Sept Laux (cascade de l'Eau d'Ollé) est intéressante. En effet, sur le diagramme  $^{40}\text{Ar}$  - K % (figure n° 39) les différents minéraux (plagioclase, roche totale, biotite et feldspath K) s'alignent assez bien. La pente de la droite correspond à un âge de  $39 \pm 7$  Ma, et l'ordonnée à l'origine montre un argon excédentaire de  $21,5 \times 10^{-6} \text{cc/g}^*$ .

A une époque donnée la redistribution de l'argon radiogénique a été homogène pour toutes les phases minérales du granite. Dans ce cas, tous les autres âges sont intermédiaires.

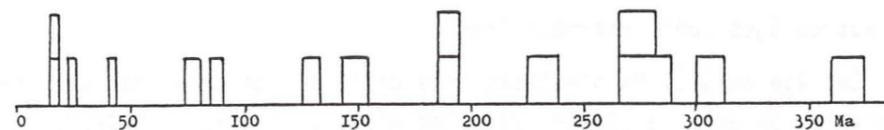
Cet âge de  $39 \pm 7$  Ma n'est pas très différent de celui de la phase Lépontine, de  $38 \pm 2$  Ma (Rb-Sr) dans les Alpes Centrales (HUNZIKER, 1970; JAGER, 1970).

Compte-tenu des erreurs dans l'estimation de cet âge, nous pouvons considérer qu'il correspond à cette même phase. Dans les zones externes, cette époque est marquée par la fin de la transgression nummulitique. D'autre part, dans le massif du Mont Blanc, les parties du socle les plus proches du front pennique sont affectées par une schistosité (schistosité S2) \*âge de  $46 \pm 7$  Ma si l'on tient compte de la moyenne des mesures sur biotites et feldspaths.

Massif de Belledonne, partie nord :

minéral	n°	type roche, localisation	Age Rb/Sr (Ma)	différence avec K/Ar (Ma)
M	II	micaschistes St Léger	367 +/- 7	
B	2I	Col de Montjoie	232 +/- 7	+ I04
B	20	" "	23I +/- 7	+ I44
B	I8	St Rémy, route forestière	I75 +/- 5	+ I33
B	I9	granite de la Lauzière	I62 +/- 5	
B	I7	St Colomban, A 933 (galerie Arc-Isère)	I59 +/- 5	+ I0
B	I6	gal. Arc-Isère, A 3676	I55 +/- 5	+ 83
B	27	micaschistes St-Léger	I29 +/- 4	
B	29	galerie Arc-Isère, A 4593	I25 +/- 4	
B	28	Sept-Laux, A 6550 (enclave)	87 +/- 3	
B	I4	" ", A 6200	77 +/- 2	+ 53
FK	I9	granite de la Lauzière	70 +/- 2	

minéral	n°	% K	% rad.	age K/Ar (Ma)	type roche, localisation
B	I7	7.52	7I.02	I49 +/- 6	
B	2I	7.29	93.52	I28 +/- 5	
B	20	7.07	94.2	87 +/- 3	
B	26	7.54	94	83 +/- 3	
B	I6	7.46	9I.25	72 +/- 3	
B	I8	7.50	8I.4	42 +/- 2	
B	I4	7.39	87.I5	24 +/- I	
RT	I4	2.77	80.I	I4I +/- I8	
FK	I4	I3.67	2I.5	29 +/- 5	
M	2	8.I3	94.0	306 +/- I2	col de Montjoie
M	I	8.26	98.0	28I +/- II	" "
M	3	8.27	96.8	27I +/- II	col de Claran
M	4	8.26	98	234 +/- 9	" "
M	6	8.56	97.6	I9I +/- 8	filon aplitique dans St-Rémy
M	7	8.39	98.I3	I89 +/- 8	" "
M	8	8.02	82.3	I5.8 +/- 0.6	I5.4 phengite dans fente alpine
			84.3	I4.9 +/- 0.7	

a) biotite et muscovite / K-Ar  
muscovite / Rb-Sr

b) biotite / Rb-Sr

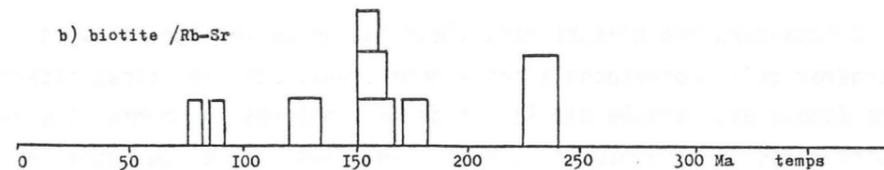


Figure n° 40. Histogramme des résultats sur les minéraux du massif de Belledonne, partie Nord (vallée Maurienne).

P. VIALON, 1974) accompagnée de recristallisation: les minéraux sont datés de 40 Ma (LEUTWEIN et coll., 1970). Un rejou des grands accidents du massif de Belledonne à cette époque est donc ainsi possible.

## 4.2.3.2. Le Nord du massif de Belledonne (vallée Maurienne)

Un résumé des résultats analytiques est présenté ci-contre (tableau n° 12).

a) Au vu des histogrammes (figures n° 40) les âges anciens sont principalement donnés par les muscovites (190 à 306 Ma/K-Ar; 367 Ma/Rb-Sr). Les âges sur biotite sont plus jeunes et la répartition est différente selon les méthodes:

.77 à 230 Ma (avec un pic à 159 ± 6 Ma) par la méthode Rb-Sr

.24 à 150 Ma par la méthode K-Ar

Les âges les plus jeunes (15,4 ± 0,5 Ma) sont donnés par les phengites de fentes alpines.

D'après les cartes d'isovaleurs (voir figure n° 19 et n° 20) la diminution (rajeunissement) des âges Rb-Sr et K-Ar se fait dans le même sens avec un léger décalage (200 à 70 Ma, Rb-Sr) et 150 à 25 Ma (K-Ar) du SE vers le NW. La carte de discordance entre les deux méthodes (fig. n° 21) indique une augmentation de l'écart entre les âges dans la même direction, c'est-à-dire lorsque l'on se rapproche de l'accident (ou "synclinal") médian.

b) A la figure n° 41, nous avons reporté les mesures radiométriques en fonction de la proximité de l'accident médian. La distance entre cet accident et l'emplacement de l'échantillon est mesurée perpendiculairement sur la carte par rapport à la direction principale du synclinal médian. Ces distances sont bien sûr sujettes à une erreur d'interprétation mais la différence des âges est telle que la distribution illustrée à la figure n° 41, n'est pas affectée.

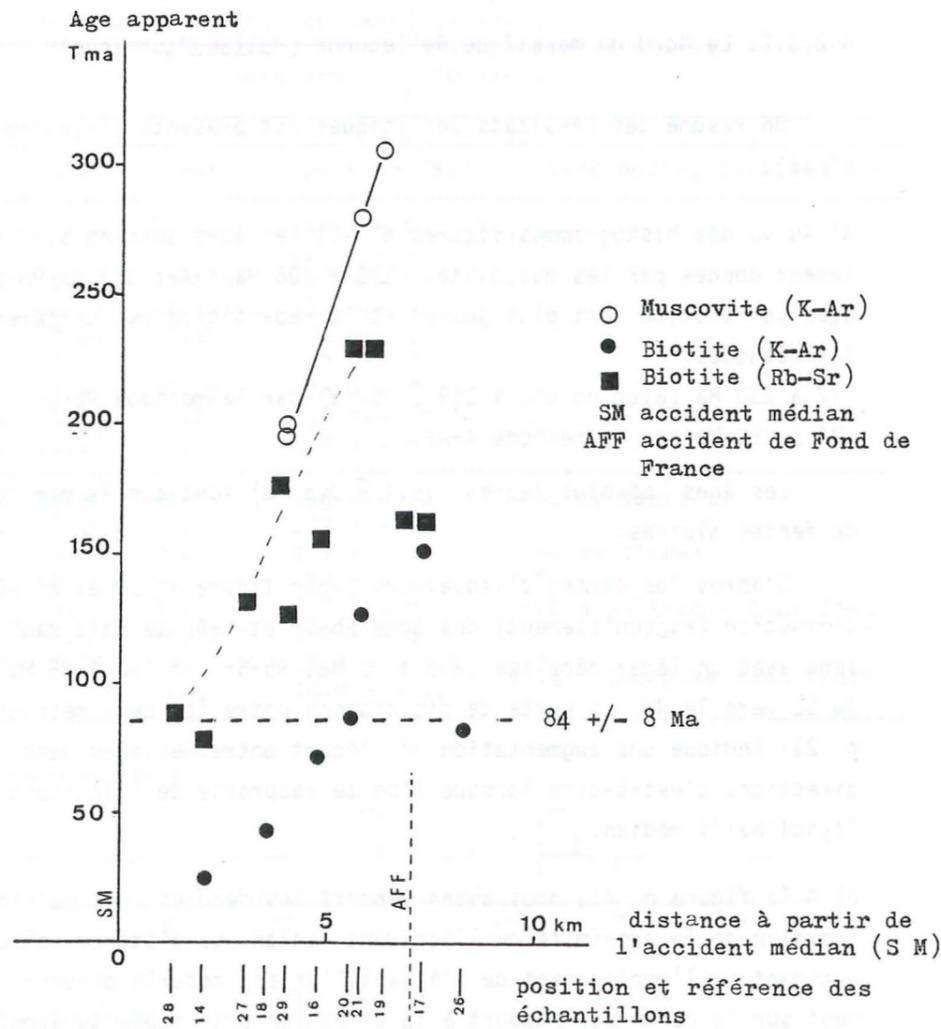


Figure n°. 41 . Distribution des âges apparents près de l'accident ("synclinal") médian, dans le massif de Belledonne.

. La figure n° 42 représente les datations sur biotite effectuées dans la galerie Arc-Isère. La diminution des âges Rb-Sr et K-Ar en direction de l'Ouest est très claire.

D'après les différents modèles que nous avons définis, nous sommes dans le cas B (5). Il y a ouverture des systèmes argon et strontium. Nous avons la combinaison des facteurs, température, déformation (accident médian) et phases fluides. D'autre part, l'hétérogénéité et la nature des

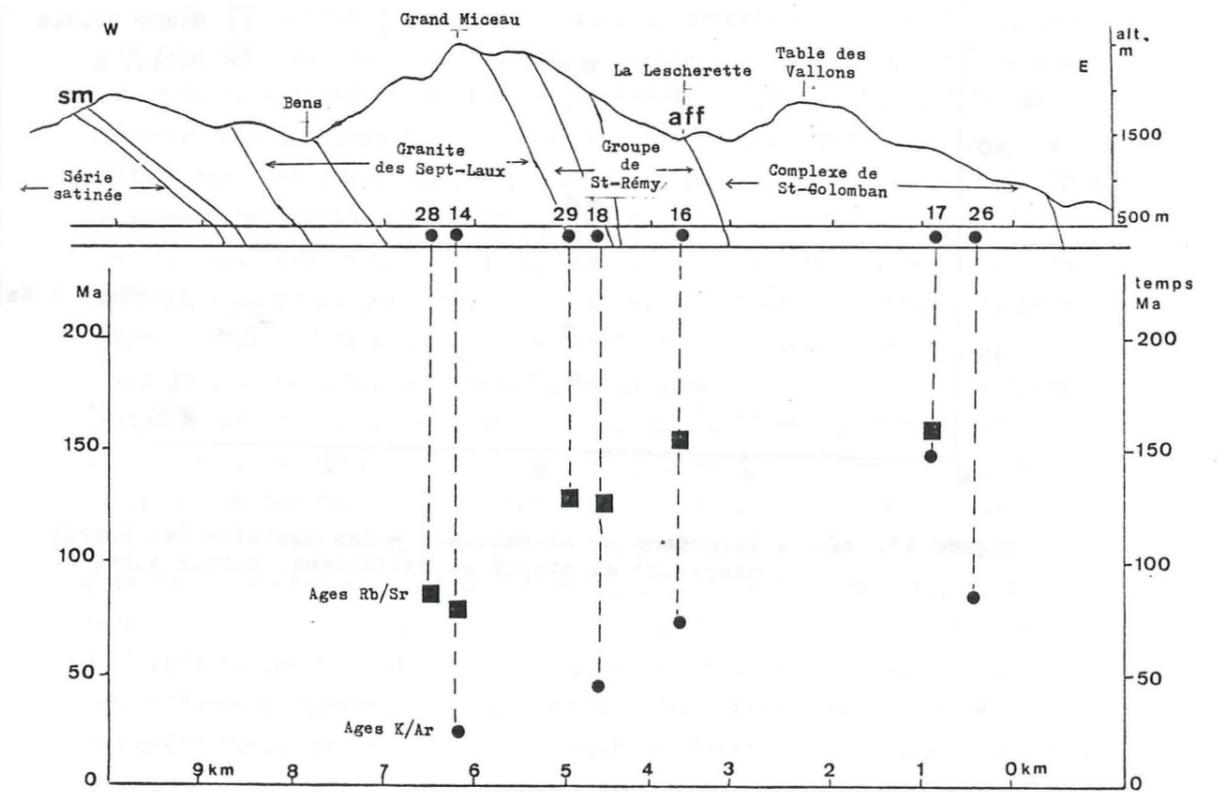


Figure n°. 42 . Distribution des âges apparents Rb-Sr et K-Ar des biotites prélevées dans la galerie Arc-Isère. ( Coupe géologique d'après D. GASQUET, 1979)

A F F : accident de Fond de France, S M : "synclinal" médian.

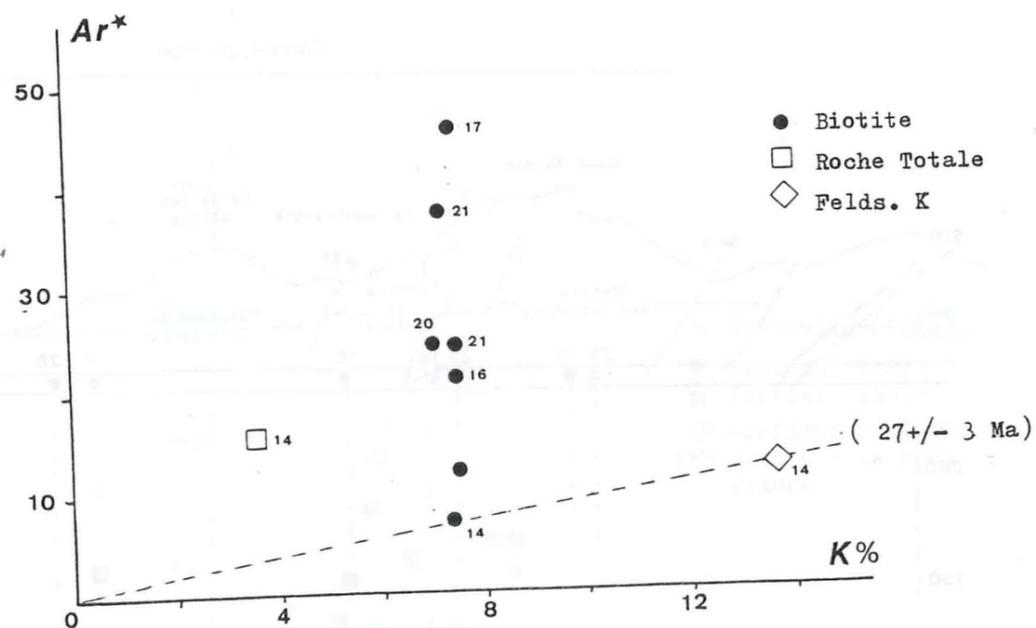


Figure n°. 43 . Diagramme 40 Ar rad. - K % des biotites (et autres minéraux) du massif de Belledonne, partie nord.

roches favorisent la mobilité des éléments, c'est le cas n° D (1) et (2).

Le diagramme 40 Ar radiogénique - K% de la figure n° 43 ne montre pas de corrélation entre l'argon radiogénique et le potassium. Il met en évidence une diffusion permanente ou perte partielle à une certaine époque. Les âges sur biotites sont des âges intermédiaires entre  $139 \pm 17$  Ma (RT 14, B 21, B 17) et  $27 \pm 6$  Ma (B 14, FK 14).

### c) Interprétation

La diminution des âges en direction du synclinal médian est à relier en partie à une augmentation des taux de déformation et de recristallisation. En effet, la mylonitisation affecte des masses de plus en plus importantes du socle, des gneiss de Saint-Rémy les plus orientaux en direction du granite près de l'accident. Le granite des Sept-Laux mylonitisé principalement sur sa bordure occidentale dans la galerie Arc-Isère (GASQUET, 1979) se présente sous son aspect le plus déformé et schistosé près d'Epière. Le contact avec les gneiss du groupe de Saint Rémy - Bois de Ravères (PONCERRY, 1981) est une épaisse zone mylonitique (éch. n° 27 et 29). Lorsque l'on s'en écarte, vers le SE, le passage se fait graduellement à des mylonitischistes à substrat gneissique, puis à des gneiss plus francs, à l'aspect rubané diffus (n° 16 et 18). On reconnaît dans ces gneiss des filons aplopegmatitiques, peu déformés, issus du granite. Dans la partie interne (est) du massif, la mylonitisation est plus localisée en bordure des accidents longitudinaux. Les gneiss biotitiques fins, orientés avec des lentilles de quartz, du col de Montjoie, sont sous forme de niveaux décimétriques et correspondent à des couloirs de déformation. Dans le granite de Saint-Colomban, au Sud de l'accident de Fond de France, la mylonitisation, plus froide, correspond à un diaclasage qui s'intensifie à l'approche des grandes fractures (voir GASQUET, 1979). Compte-tenu des différentes températures de fermeture des minéraux selon les méthodes radiométriques, les résultats isotopiques montrent clairement une variation des températures atteintes selon les points. Celles-ci ont été de 200 à 250 °c à l'est (cf. résultats K-Ar des biotites comparés à ceux des muscovites), mais au moins de  $350 \pm 50$ °c plus à l'Ouest, près de la terminaison septentrionale du granite des Sept Laux (résultats K-Ar et Rb-Sr sur biotite, muscovite). Ce gradient de température (du S-SE vers le NW) est en relation avec une augmentation de la schistosité mylonitique vers le NW.

## Massif de Belledonne

minéral	n°	type roche, localité	% K	% rad.	age K/Ar (Ma)	40 Ar rad. (10-6CC/g)
Amphibole	I2	Biomont, St-Rémy	0.251	88.9	853 +/- 34	10.41
A	5	St Rémy	0.326	93.4	771 +/- 30	11.92
A	8	" "	0.50	91.5	612 +/- 24	13.85
A	23	Cevins sur Isère	0.594	88.11	587 +/- 27	15.69
A	30	St-Rémy, route forest.	0.676	18.48	546 +/- 22	16.41
A	27	galerie Arc-Isère, A363	0.353	15.15	476 +/- 19	7.31
A	15	Gros Treu, Eau d'Olle	0.265	75.12	475 +/- 19	5.47
A	29	A 2980	0.439	85.49	467 +/- 22	8.89
A	25	A 4174	2.177	70.0	446 +/- 18	34.79
A	3	Le Solliet, Eau d'Olle	0.874	91.3	400 +/- 17	12.36
A	9	Croix cuchet	0.226	76.8	388 +/- 15	3.72
A	17	Cevins sur Isère	0.522	53.7	383 +/- 28	8.48
A	I	Les Roches, St-Colomban	0.459	88.79	372 +/- 12	7.19
A	II	A 3017	0.566	79.8	358 +/- 14	8.53
A	24	Lac de la Croix	0.720	91.2	337 +/- 15	10.16
A	6	Le Solliet, Eau d'Olle	0.603	49.8	317 +/- 15	7.96
A	28	Jarnalet	0.271	62.5	314 +/- 12	3.54
A	18	A 4127 A	0.348	15.0	303 +/- 12	4.37
A	2	Les Roches	0.429	78.8	285 +/- 11	5.03
A	26	St Etienne de Cuines	0.341	69.9	284 +/- 13	3.73
A	21	Montgellafrey	0.398	74.9	279 +/- 15	4.56

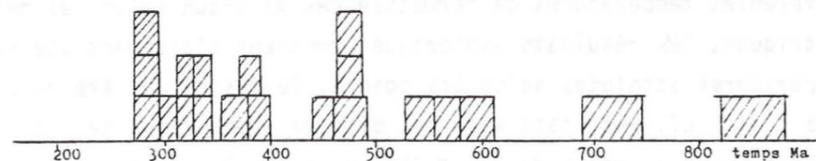


Figure n°. 44. Histogramme des résultats K-Ar sur les amphiboles du massif de Belledonne.

Il est difficile de donner un âge exact à cet évènement. En effet, un rejeu des grands accidents du massif de Belledonne est possible à plusieurs époques:

- une phase crétacée est probable :  $84 \pm 8$  Ma (biotites n° 20, 26, 28 et roche totale n° 14);
- une phase éocène-oligocène: de  $40$  à  $27 \pm 3$  Ma (n° 14, biotite, FK).

L'âge de la phengite de fente alpine (M8 = A 1530) prélevée dans la galerie Arc-Isère, est de  $15,4 \pm 0,5$  Ma (2 mesures). Ils correspondent aux mouvements terminaux qui, lors de la surrection des massifs cristallins ont créé des fentes d'extension à remplissage de minéraux variés (ripilodite, pistachite, quartz, calcite, laumonite, phengite, +/- albite). Cet âge correspond parfaitement avec les données de LEUTWEIN et coll. (1970) sur l'âge des fentes alpines du massif du Mont Blanc. A partir de mesures Rb-Sr et K-Ar sur des muscovites et des adulaires, l'âge des fentes alpines serait compris entre  $13,4 \pm 2$  et  $18,3 \pm 2$  Ma, soit un âge miocène moyen.

L'âge de  $15,4 \pm 0,5$  Ma correspond à la manifestation la plus tardive reconnue dans cette partie des massifs cristallins externes.

#### 4.2.3.3. Les amphiboles dans le massif de Belledonne

D'après l'histogramme de la figure n° 44, les valeurs sont assez bien regroupées entre 280 et 370 Ma. Un pic moins important se situe à 470 Ma. De nombreuses amphiboles montrent des âges apparents élevés et variables. Ces âges aberrants nous laissent supposer la présence d'argon excédentaire.

La carte d'isovaleurs des âges K-Ar (figure n° 28) montre une augmentation régulière de l'âge apparent des amphiboles d'Est en Ouest, lorsque l'on se rapproche de la masse granitique des Sept Laux.

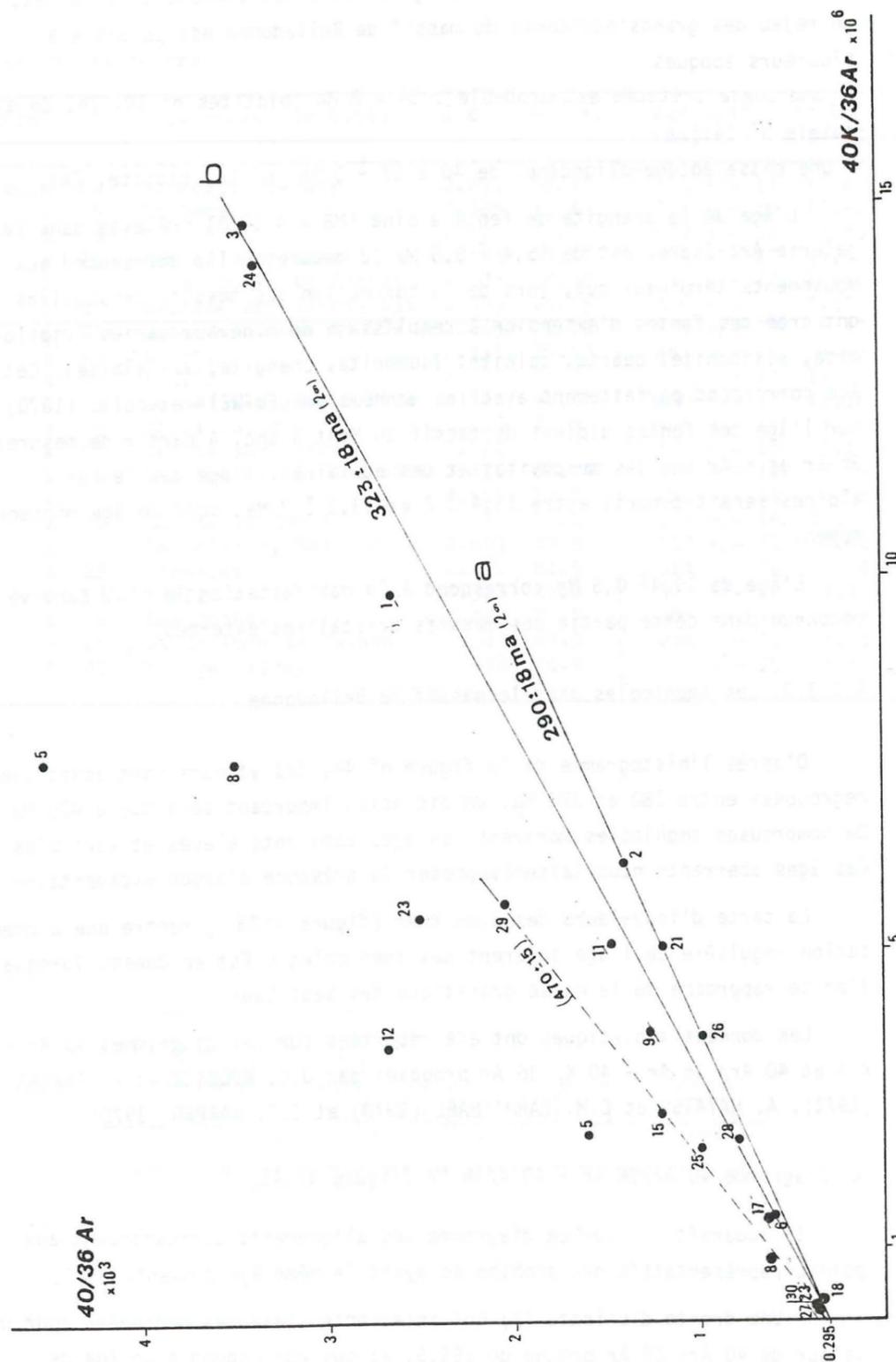
Les données analytiques ont été reportées sur les diagrammes 40 Ar - K % et 40 Ar/36 Ar - 40 K/36 Ar proposés par J.C. RODDICK et E. FARRAR (1971), A. HAYATSU et C.M. CARMICHAEL (1970) et C.T. HARPER (1970).

#### a) Diagramme 40 Ar/36 Ar - 40 K/36 Ar (figure n° 45)

Il apparaît sur ce diagramme des alignements correspondant aux points représentatifs des amphiboles ayant le même âge conventionnel.

- Une droite distincte (A) qui intersecte l'axe des ordonnées pour une valeur de 40 Ar/36 Ar proche de 295,5, et qui correspond à un âge de

Figure n°. 45 . Diagramme  $40\text{Ar}/36\text{Ar} - 40\text{K}/36\text{Ar}$  des amphiboles du massif de Belledonne.



$288 \pm 10$  Ma (échantillons 2, 18, 21, 26);

- une autre droite (B) qui donne un âge de  $323 \pm 18$  Ma avec un rapport initial peu différent de 300 (échantillons 3, 6, 24 et 28);

- un autre alignement peut être considéré avec les amphiboles n° 1, 8, 9, 11 et 25. La pente de la droite donne un âge de 320 Ma, mais la valeur du rapport  $40\text{Ar}/36\text{Ar}$ , de 450, correspond à un argon excédentaire (valeur approchée). Les autres points représentatifs des différentes amphiboles sont très dispersés, ce qui correspond à la variabilité des âges conventionnels: les pollutions en argon hérité et atmosphérique sont variables.

b) Diagramme  $40\text{Ar}$  radiogénique - K % (figure n° 46)

L'utilisation de ce diagramme permet d'approcher le problème de la contamination des échantillons par un argon autre que radiogénique, et, il permet, à partir de l'étude de plusieurs échantillons de déceler un argon excédentaire, sans toutefois connaître la composition isotopique de ce dernier.

Les deux droites (A) et (B) passent par l'origine, ce qui signifie qu'au moment de leur fermeture ces minéraux ne renfermaient pas d'argon 40 initial, et que depuis ce moment-là, ceux-ci n'ont pas subi de perte d'argon radiogénique. Les âges des différents échantillons sont concordants, et les âges conventionnels calculés sont justes.

Différents échantillons, provenant du même niveau amphibolique, et ayant des teneurs variables en potassium, s'alignent sur une droite qui ne passe pas par l'origine. L'intersection avec l'ordonnée est positive: il s'agit d'un excès d'argon que l'on peut mesurer graphiquement, soit  $7,2 \times 10^{-6}$  ccTPN/g d'argon.

Celui-ci représente 30 à 60 % de l'argon 40 mesuré sur les différents échantillons.

La pente de la droite isochrone (c) définit un âge de  $320 \pm 30$  Ma (avec les amphiboles n° 5, 8, 12, 23, 25 et 30) qui est semblable à celui de la droite (B) de 323 Ma. Ces différents échantillons proviennent d'un niveau amphibolique, situé au nord de l'Accident de Fond de France, près de Saint-Rémy de Maurienne, et proche de la masse granitique des Sept Laux.

c) Influence de la composition chimique des amphiboles

L'influence de la composition chimique des amphiboles sur la rétention de l'argon a été étudiée par R.K. O'NIONS et coll. (1969). Ces auteurs

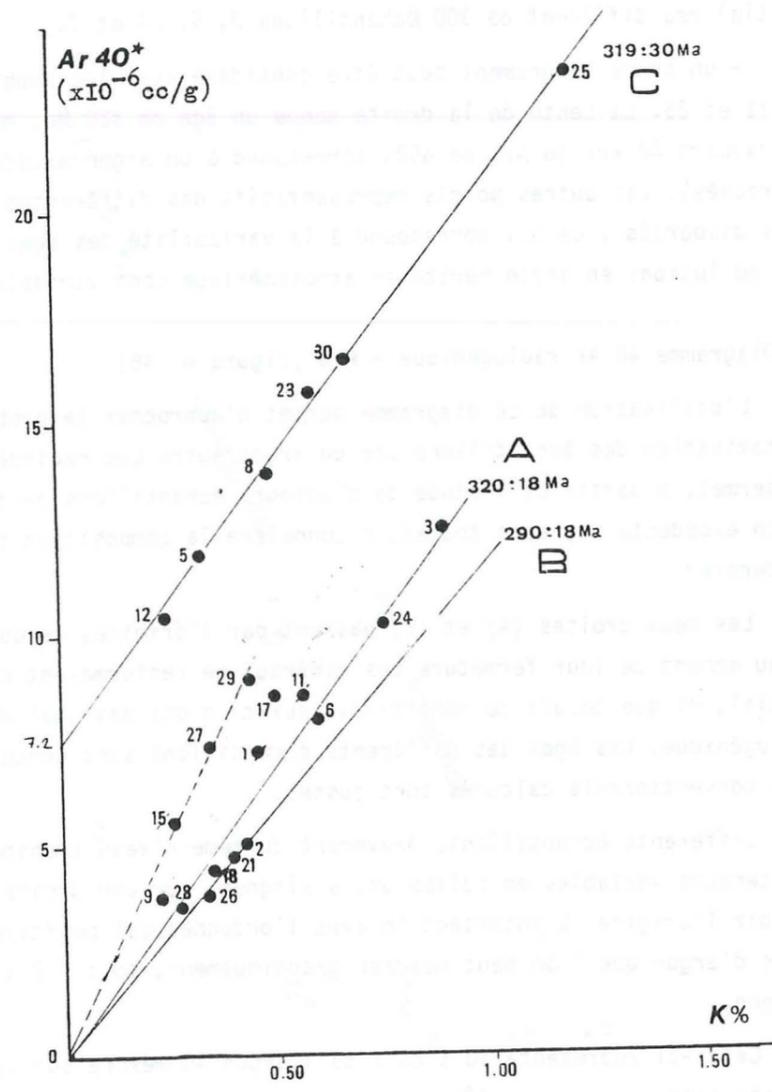
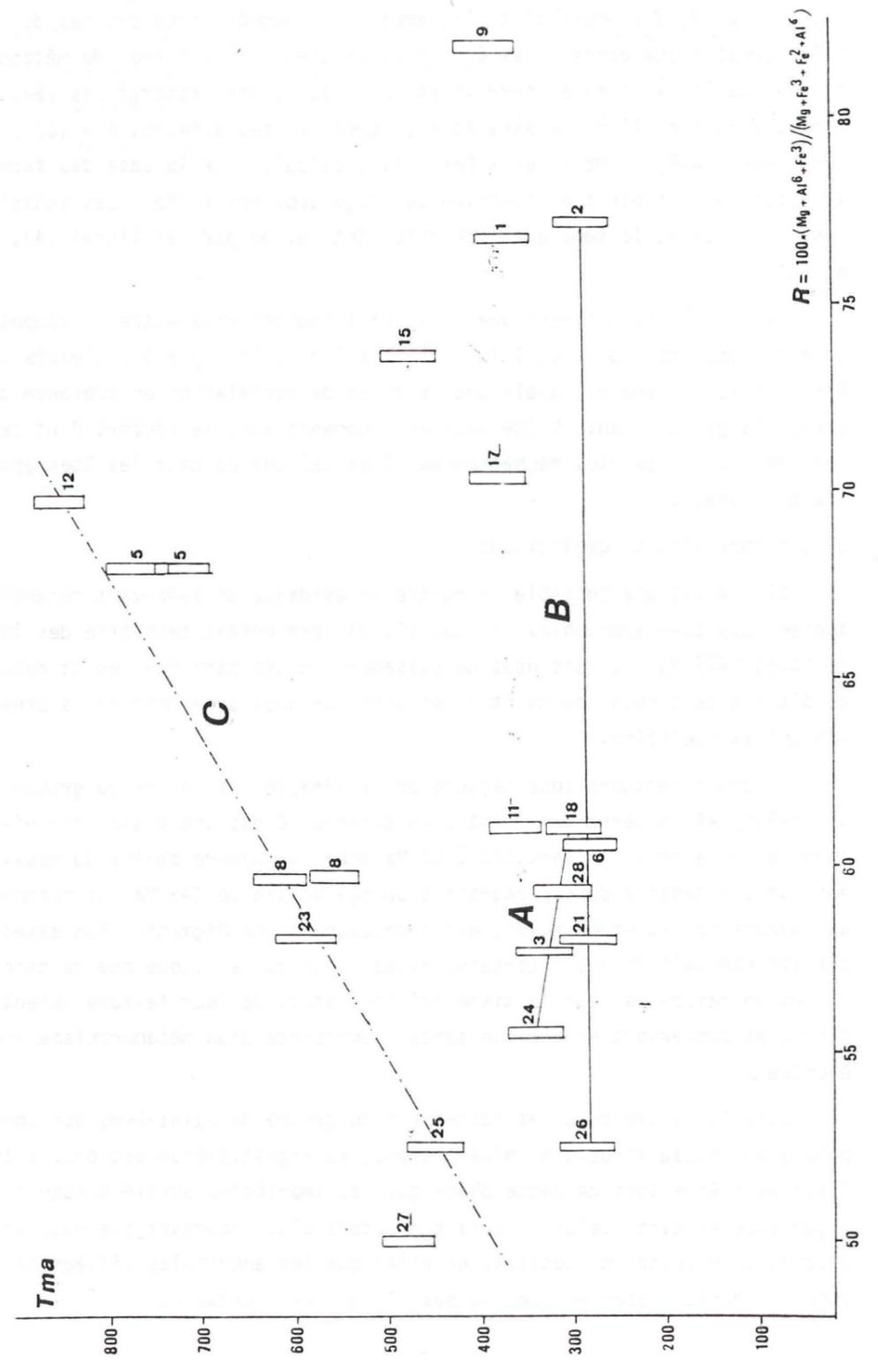


Figure n°. 46 . Diagramme 40 Ar rad. - K % des amphiboles du massif de Belledonne.

Figure n°. 47 . Age apparent T (en Ma) en fonction du paramètre  $R = 100(Mg+Fe_2+Al_6)/(Mg+Fe_2+Fe_3+Al_6)$  pour les amphiboles de Belledonne.



mettent en évidence une relation linéaire entre l'âge apparent et la richesse en Mg des amphiboles: les amphiboles magnésiennes proches du pôle pargasitique donnent des âges plus proches de l'âge réel du métamorphisme que les amphiboles ferrifères. Nous avons donc reporté les résultats sur la figure n° 47 où le paramètre proposé par ces auteurs,  $R = 100 \frac{(Mg + Fe^3 + Al^6)}{(Mg + Fe^2 + Fe^3 + Al^6)}$  calculé sur la base des formules structurales est porté en fonction de l'âge apparent  $t$  (Ma). Les échantillons ayant donné le même âge isochrone sont reliés par les lignes (A), (B) et (C).

Ces résultats montrent une relation d'indépendance entre la composition chimique des amphiboles et l'âge apparent lorsqu'il n'y a pas d'excès d'argon. Par contre, il semble y avoir une relation de corrélation en présence d'un excès d'argon constant. L'âge apparent augmente avec le rapport  $R$  et ce sont les amphiboles les plus magnésiennes (5 et 12) qui donnent les âges apparents les plus vieux.

#### d) Interprétations géologiques

Il n'a pas été possible de mettre en évidence un événement métamorphique ancien. Quelques amphiboles (n° 15, 27, 29) présentent peut-être des âges reliques (475 Ma ?), mais nous ne possédons d'une part que peu de mesures, et d'autre part nous devons être méfiants car nous avons montré la présence d'argon excédentaire.

La phase métamorphique majeure qui a affecté les séries du groupe de Saint-Rémy et la série verte est bien définie. C'est une phase hercynienne tardive qui a pris fin vers  $323 \pm 20$  Ma pour la majeure partie du massif. Son maximum d'intensité correspondrait à un âge voisin de 345 Ma. Ce métamorphisme qui appartient au stade moyen, est accompagné d'une migmatisation assez locale qui affecte sélectivement certains niveaux: ce qui explique que certains faciès en raison de leur chimisme originel et/ou de leur texture soient réfractaires et conservent en quelque sorte l'empreinte d'un métamorphisme ancien éventuel.

Dans la partie ouest et nord-ouest du groupe de Saint-Rémy qui correspond à un niveau structural plus profond, la migmatisation est plus intense. C'est peut-être lors de cette phase que les amphiboles auraient acquis un argon excédentaire. Celui-ci serait d'autant plus important que nous sommes proches du granite: on constate en effet que les amphiboles situées dans zones internes présentent peu ou pas d'argon excédentaire.

L'âge de  $288 \pm 10$  Ma (amphiboles n° 2, 18, 21, 26) intéresse une zone plus réduite du massif principalement l'est et le sud-est proche du massif des Grandes Rousses. Dans le secteur du Rochail, les biotites ont donné des âges semblables:  $288 \pm 10$  Ma (Bi n° 3, 4, 13 / Rb-Sr),  $286 \pm 10$  Ma (Bi n° 4, 12 et 13 / K-Ar).

---

## 5. ETUDE RADIOMETRIQUE DES GRANITOÏDES DES MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES (RESULTATS ET INTERPRETATIONS)

### 5.1. GÉNÉRALITÉS

#### 5.1.1. INTRODUCTION

#### 5.1.2. LES GRANITES ETUDIES

#### 5.1.3. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES GRANITES ETUDIES

### 5.2. RÉSULTATS

#### 5.2.1. LES GRANITES DU MASSIF DE BELLEDONNE

##### 5.2.1.1. Le granite des Sept-Laux

##### 5.2.1.2. Le granite de Saint-Colomban

##### 5.2.1.3. Le granite de La Lauzière

#### 5.2.2. LES GRANITES DU MASSIF DES GRANDES-ROUSSES ET NW DU PELVOUX

##### 5.2.2.1. Le granite du Rochail

##### 5.2.2.2. Les granites de Roche-Noire et de La Fare

### 5.2. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

#### 5.3.1. SIGNIFICATION DES ISOCHRONES

#### 5.3.2. LES GRANITES DU MASSIF DE BELLEDONNE

#### 5.3.3. LES GRANITES DU NW DU PELVOUX ET DES GRANDES-ROUSSES

### 5.4. GÉOCHIMIE DES GRANITOÏDES

#### 5.4.1. GEOCHIMIE DES ELEMENTS Rb, Sr, K et Ba

#### 5.4.2. DONNEES FOURNIES PAR LES RAPPORTS INITIAUX

## 5.1. GÉNÉRALITÉS

### 5.1.1. INTRODUCTION

Une grande partie des massifs cristallins externes est constituée par des granitoïdes dont deux grands types sont distingués: les granites anté-viséens et les granites viséens supérieurs ou carbonifères, appelés classiquement granites hercyniens.

Les "granites anciens" correspondent au granite porphyroïde de Saint-Colomban et du Col de Montjoie dans la chaîne de Belledonne, aux gneiss ocellés de Croupillouse dans le massif du Haut-Dauphiné et au granite porphyroïde de l'Alpetta dans le massif des Grandes Rousses. L'ensemble de ces "granites" sont orthogneissifiés et présentent la particularité d'avoir des mégacristaux de feldspaths potassiques.

Les granites dits hercyniens sont plus largement représentés, et ils forment, soit des gisements en masses indépendantes des grandes structures régionales (Haut-Dauphiné, Argentera-Mercantour) soit des amas lenticulaires parallèles à l'allongement des massifs (Aiguilles Rouges, Mont Blanc, Belledonne, Grandes Rousses).

Malgré les accordances tectoniques fréquentes postérieures à leur mise en place, les plus nombreux de ces granites sont post-tectoniques (Vallorcine, Mont Blanc, Sept-Laux, Rochail, Etages, etc.). D'autres sont considérés comme syntectoniques (Bans, Claphouse, etc.) (P. GIRAUD et G. VIVIER, 1980).

Dans le Haut Dauphiné, P. LE FORT (1971, 1981) répartit ces granites hercyniens en trois groupes:

- une lignée calco-alkaline monzonitique, montrant une évolution depuis des termes granodioritiques (Colle-Blanche) jusqu'à des termes granitiques (Les Etages), du Sud-Ouest au Nord-Est du massif;
- un groupe de granites à deux micas avec des granites albitiques de type La Bérarde, des granites porphyroïdes de type Pétarel ou Grun;
- le granite du Combeynot, très potassique.

Pour les autres massifs cristallins, la majeure partie des corps plutoniques ont une tendance monzogranitique (Mont Blanc, Sept-Laux, Argentera), par contre une tendance monzodioritique voire syénodioritique apparait dans le massif de la Lauzière.

La figure n° 48 représente ces différents granites dans le diagramme QF-BF de H. de LA ROCHE (1964).

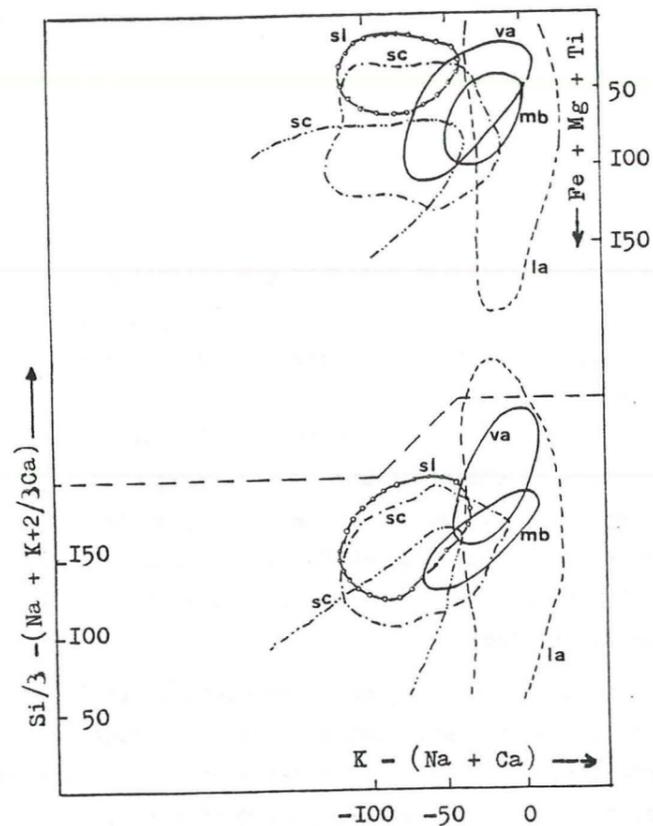


Figure n°. 48 .

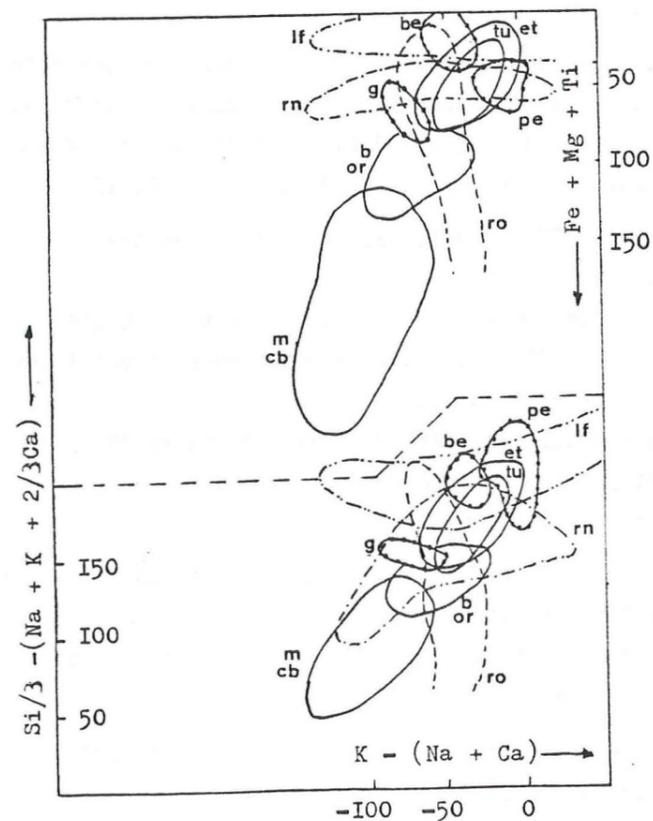
Les différents granites des  
Massifs Cristallins Externes,  
(diagramme  
H. de La Roche, 1964)

Mont-Blanc, Aiguilles-Rouges:

V A : Vallorcine  
M B : Mont-Blanc

Belledonne :

L A : Lauzière  
S L : Sept-Laux  
S C : Saint-Colomban



Grandes-Rousses :

L F : La-Fare  
R N : Roche-Noire  
R O : Rochail

Pelvoux :

M : Moutière et  
C B : Colle-Blanche  
B : Bourg et  
O R : Orgières  
T U : Turbat-Lauranoure  
E T : Etages  
B E : La Bérarde  
G : Grun - Saint Maurice  
P E : Pétarel

### 5.1.2. LES GRANITES ETUDIÉS

#### a) Dans le massif de Belledonne

La galerie Arc-Isère est une coupe transversale continue dans le massif de Belledonne. D. GASQUET (1979) définit les différentes formations et apporte de nombreux arguments géochimiques pour établir une différence entre le granite des Sept Laux, les faciès granitiques associés et les granites du complexe de Saint Colomban. De plus son étude tend à prouver l'ancienneté relative de ce dernier. Pour confirmer ou infirmer cette hypothèse, J.C. BAUBRON a entrepris l'étude géochronologique de ces deux granites. Les premiers résultats seront exposés dans ce mémoire.

Un peu plus au Nord, le complexe granitique de la Lauzière paraît le plus tardif des granites hercyniens. Nous avons poursuivi l'étude radiométrique Rb-Sr commencée par E. PONCERRY (1980).

#### b) Dans le massif des Grandes Rousses et au Nord Ouest du Pelvoux

Le granite du Rochail se situe à la jonction des massifs de Belledonne, des Grandes Rousses et du Haut Dauphiné. Il semble peu affecté par l'orogénèse alpine. La tectonique cassante y est modérée. Les âges Rb-Sr obtenus par M. BONHOMME et al. (1963) sur des biotites plus ou moins chloritisées semblent démontrer que le métamorphisme alpin ne l'a pas affecté. L'étude Rb-Sr sur roches totales devrait fournir l'âge de mise en place du granite et la valeur du strontium initial.

Les granites de Roche Noire et de La Fare sont intrusifs dans les formations à mégacristaux du massif des Grandes Rousses, et ils sont orthogneissifiés. Ils sont en position plus interne par rapport aux autres granitoïdes étudiés. Il était aussi intéressant, compte-tenu de cette position, de connaître le comportement du système Rb-Sr lors de l'orogénèse alpine.

### 5.1.3. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES GRANITES ETUDIÉS

Les études pétrographiques et géochimiques concernant les divers granites étudiés étant assez complètes, nous ne les reprendrons pas ici. Il suffira de se référer aux différents auteurs suivants: D. GASQUET (1979) pour les granites de Saint-Colomban et des Sept Laux, L. GIORGI (1979) pour les granites du Rochail, de Roche Noire et de La Fare, J.L. VERJAT (1980) pour le granite des Sept Laux, E. PONCERRY (1981) pour le granite de la Lauzière.

Tableau n° 14 . Composition chimique moyenne des granites étudiés.

massifs faciès	SEPT-LAUX		SAINT-COLOMBAN			ROCHAIL	ROCHE-NOIRE	LA-FARE	LAUZIERE	
	fin	grossier	1	2	3				granitique	monzosyén.
SiO2	70.78	70.68	66.73	67.38	66.32	66.79	72.11	74.08	74.23	65.40
Al2O3	15.41	15.28	15.89	16.03	16.06	15.60	14.97	14.37	14.12	16.0
Fe2O3t	1.65	1.64	3.08	2.80	2.69	3.02	1.43	0.98	1.26	3.19
MnO	0.02	0.03	0.03	0.05	0.04	0.07	0.02	0.01	0.02	0.04
MgO	0.73	0.78	1.47	1.40	1.52	1.62	0.84	0.48	0.51	2.01
CaO	1.31	1.36	2.38	2.32	1.44	0.85	0.62	0.35	0.41	1.36
Na2O	4.34	4.35	3.80	3.90	3.93	4.44	3.61	2.91	3.85	3.74
K2O	3.91	3.91	4.06	3.75	4.45	4.78	5.15	5.74	5.13	6.10
TiO2	0.29	0.26	0.47	0.37	0.48	0.40	0.29	0.26	0.21	0.65
P F	0.82	0.77	1.62	1.16	1.44	1.17	0.92	0.88	0.59	1.06
nombre d'échant.	21	26	5	13	18	7	5	12	9	6
référence analyse			D. GASQUET ( 1979 )			L. GIORGI (1979)		E. PONCERRY (1981)		

pour Saint-Colomban : 1) faciès porphyroïde sans amphibole, 2) idem, à trame granitique, 3) non porphyroïde à biotite.

Lors de la présentation des résultats, nous ferons cependant un bref rappel du contexte géologique pour chaque granite.

La figure n° 49 représente le diagramme Q-F, B-F de H. de LA ROCHE (1964), et le tableau n° 14 donne la composition chimique moyenne des différents granites. Les analyses chimiques des échantillons utilisés pour notre étude géochronologique sont données dans les annexes n° VI à X.

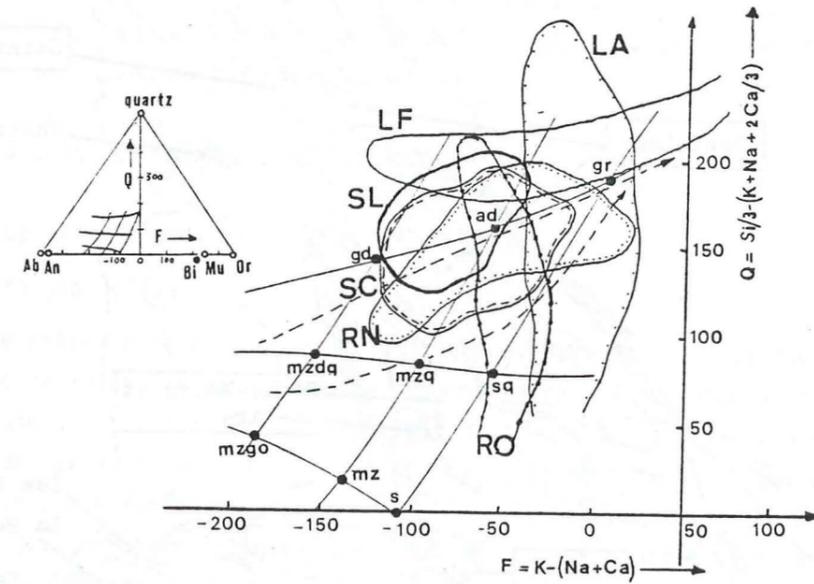
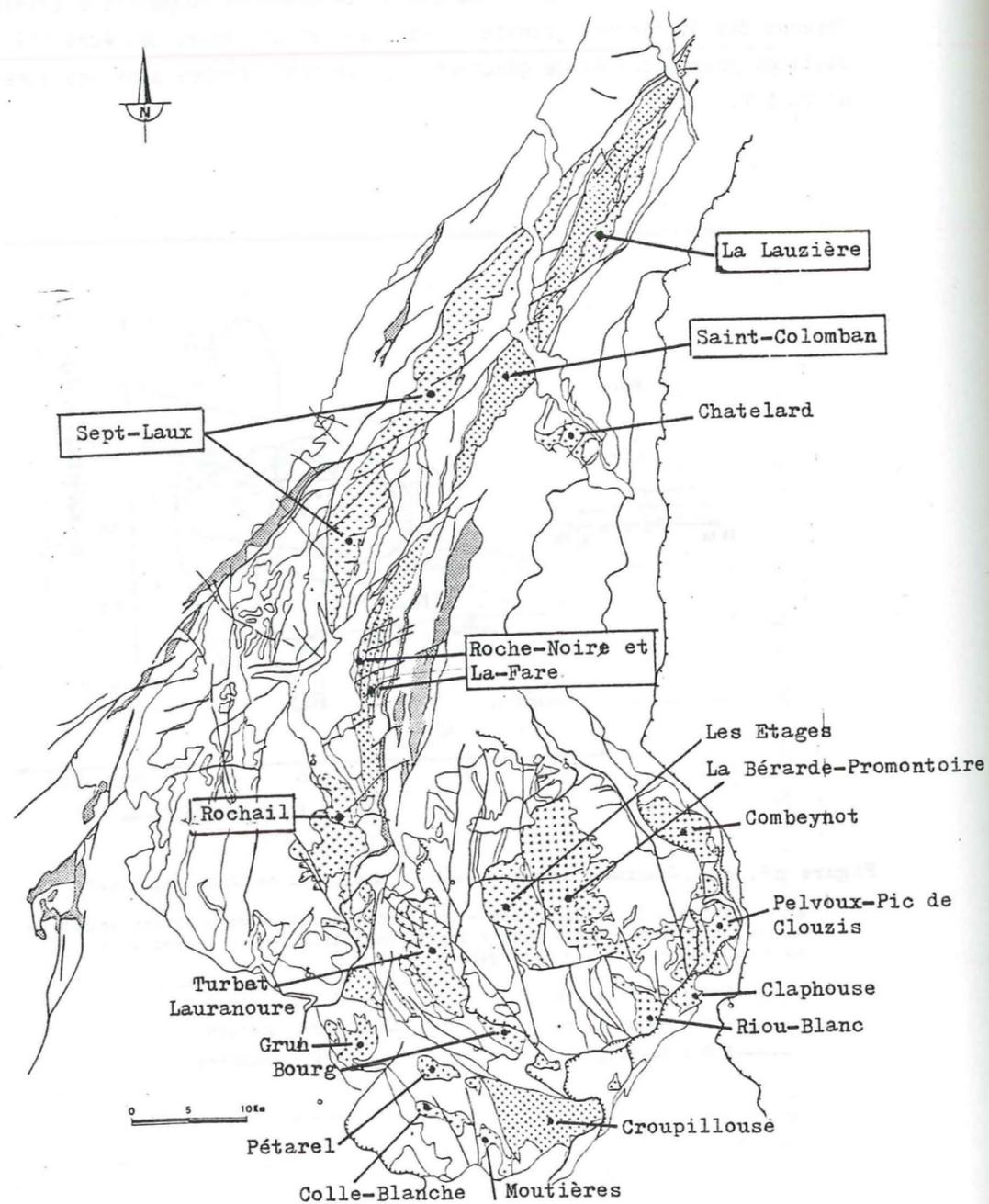


Figure n° 49 . Diagramme de nomenclature ( Q-F de H. de La Roche, 1964)

gr = granite - ad = adamellite - gd = granodiorite - sq = quartz syénite -  
mzq = quartz monzonite - mzda = quartz monzodiorite - s = syénite -  
mz = monzonite - mzgo = monzogabbro.

- S C : St Colomban
- ..... R N : Roche-Noire
- R O : Rochail
- S L : Sept-Laux
- L F : La-Fare
- L A : Lauzière

Figure N°. 50 . Carte schématique des granitoïdes des massifs externes des Alpes et localisation des granites étudiés.



## 5.2. RÉSULTATS

Les mesures ont été effectuées au Laboratoire de Clermont-Ferrand sur deux spectromètres de masse, l'un de type CAMECA pour l'étude des granites des Sept Laux et de Saint Colomban, l'autre de type CSF 400S pour les autres granites.

Les calculs ont été faits au Laboratoire d'étude isotopique du S.G.N. (B.R.G.M.) avec une erreur arbitraire de  $5 \times 10^{-4}$  ( $2\sigma$ ) sur le rapport  $87\text{ Sr} / 86\text{ Sr}$ , et une erreur de 2 % sur les rapports  $87\text{ Rb} / 86\text{ Sr}$ . La régression linéaire est calculée selon WILLIAMSON (1968), le "M.S.W.D." (Mean Square Weight Deviation) on indice des déviations pondérées, selon Mc INTYRE (1966) et le "cut-off" selon BROOKS (1972). La technique et les constantes utilisées sont données en annexe n° II.

### 5.2.1. LES GRANITES DU MASSIF DE BELLEDONNE

#### 5.2.1.1. Le granite des Sept Laux

##### a) Contexte géologique

Il se présente selon une bande continue de 50 km et il constitue l'ossature de la chaîne de Belledonne. Il est intrusif (post-tectonique) dans les gneiss à biotite et /ou amphibole du groupe de Saint-Rémy dont il renferme de larges panneaux sur ses bordures. L'étude pétrographique et géochimique a été faite d'une part par D. GASQUET (1979) dans la galerie Arc-Isère qui recoupe le granite sur 2 500 mètres, et d'autre part par J.L. VERJAT (1980) au Sud.

Le granite des Sept Laux est un monzogranite leucocrate à biotite homogène en grand. On trouve tous les intermédiaires entre des faciès à grain fin et des faciès à grain grossier, des faciès isogranulaires et et des faciès à tendance porphyroïde, des faciès équants et d'autres orientés ("granite liné" de F. CARME). Un exemple d'analyse modale est pris sur l'échantillon A6200, faciès fin typique du granite.

Quartz = 29 %, Felds.K = 24 %, Plagioclase = 31 %, Biotite = 10 % et divers (muscovite, apatite, zircon, sphène, séricite, chlorite, épidote 6 %).

\* l'erreur sur l'âge et le rapport  $87\text{ Sr} / 86\text{ Sr}$  initial sont donnés à  $2\sigma$ , ce qui correspond à un intervalle de confiance de 95 % quasi certitude du point de vue mathématique.

Dans la masse du granite on rencontre des schlierens ovoïdes surmicacés de taille centimétrique à métrique, à texture grenue plus ou moins orientée avec ou sans auréole réactionnelle.

Le granite est accompagné de tout un cortège filonien: matériel granitique injecté dans les séries gneissiques encaissantes, et en dernier lieu des filons hololeucocrates blancs et filonnets aplopegmatitiques généralement à feldspaths noirs dans le granite et l'encaissant.

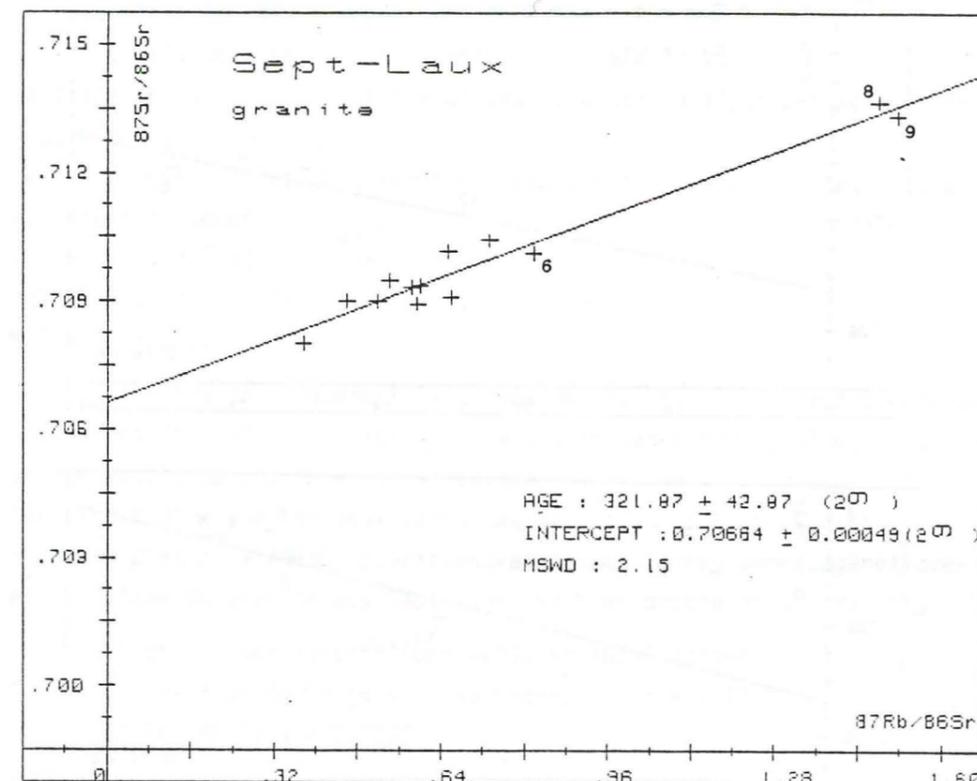
Le granite est très homogène quels que soient les faciès. Il ne présente pas de différence chimique importante entre les faciès à grain fin et ceux à grain grossier. Il s'agit d'un monzogranite, ou d'un granite leucocrate, sodipotassique, subalcalin. Les teneurs en Rb s'étalent entre 100 et 260 ppm, celles en Sr de 400 à 700 ppm et les teneurs en Ba de 500 à 1 500 ppm. D. GASQUET (1979) a montré que seule la mylonitisation perturbe les caractères géochimiques du granite par un départ de  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$  voire de  $\text{CaO}$ .

Sa mise en place tardihercynienne s'est sans doute faite à la faveur d'une zone de décompression dans un système décrochant. Ensuite, des mouvements de décrochement sénestre, évoluant en chevauchement vers le NW, provoquent un écaillage de la masse granitique. Les effets sont matérialisés par des couloirs mylonitiques d'épaisseur variable. Quant à la tectonique alpine, elle se matérialise par un diaclasage et des fentes ouvertes à remplissages variés. Ces "fentes alpines" ont pu jouer lors de plusieurs phases. On note que les épontes de ces fentes sont décolorées sur une faible épaisseur.

#### b) Etude géochronologique

La galerie E.D.F. Arc-Isère traverse le granite à une cote voisine de 500 m. L'épaisseur de la couverture granitique varie de 1 500 à 2 000 m. Les échantillons indemnes d'altération ont été prélevés loin de toute fente alpine, et dans des zones peu diaclasées. Ils représentent les deux faciès du granite:

- le faciès à grain fin (A6200, A6576, A6935) légèrement orienté (A6250, A7250);
- le faciès à grain grossier ou hétérogranulaire à tendance légèrement porphyroïde (A5398, A5650, A5756, A5952, A6029), légèrement orienté (A6755)
- un échantillon (A6470) à tendance porphyroïde mais contenant des petites schlierens biotitiques, une enclave surmicacée biotitique de type vaugnéritique (A6550), complètent l'échantillonnage.



	87Sr/86Sr	Erreur	87Rb/86Sr	Erreur
1	0.70908	0.00050	0.6580	0.0132
2	0.70949	0.00050	0.5400	0.0108
3	0.70900	0.00050	0.5170	0.0103
4	0.70933	0.00050	0.5840	0.0117
5	0.70937	0.00050	0.5990	0.0120
6	0.71011	0.00050	0.8160	0.0153
7	0.71042	0.00050	0.7320	0.0146
8	0.71366	0.00050	1.4790	0.0296
9	0.71332	0.00050	1.5140	0.0303
10	0.71017	0.00050	0.6520	0.0130
11	0.70802	0.00050	0.3750	0.0075
12	0.70902	0.00050	0.4600	0.0092
13	0.70895	0.00050	0.5950	0.0119

Isochrone statistiquement vraisemblable  
 Pente =  $.004581 \pm .000610$  (2 sigma)  
 Intercept =  $.706540 \pm .000488$  (2 sigma)  
 Age =  $321.87 \pm 42.87$  (2 sigma)  
 Indice déviations pondérées MSWD = 2.15

Calcul de la régression selon WILLIAMSON (1968)  
 du MSWD selon Mc INTYRE (1966)  
 et du cut-off selon BROOKS (1972)

Données numériques in:  
 J.C. Baubron

B.R.G.M.  
 Service Géologique National  
 F-45060 ORLEANS Cedex

Figure n°. 51 . Diagramme isochrone  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  -  $87\text{Rb}/86\text{Sr}$  pour le granite des Sept-Laux

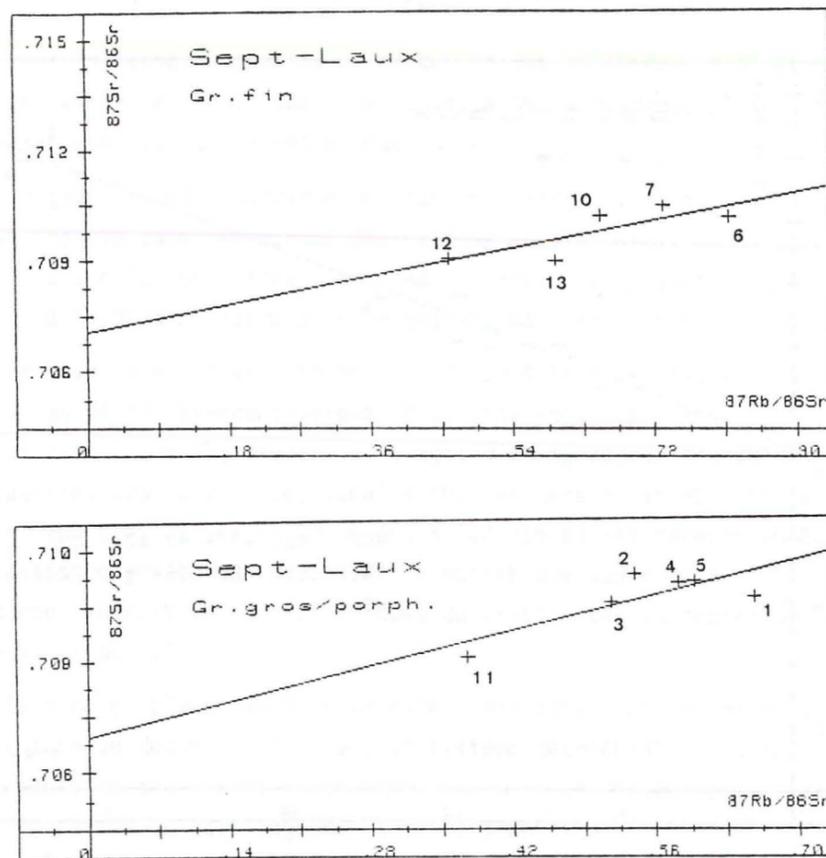


Figure n°. 52 . Diagramme isochrone pour les deux principaux faciès du granite des Sept-Laux.

échantillon n°	Rb ppm	Sr ppm	87Rb/86Sr	87Sr/86Sr
6 biotite A 6200	I004	43	68	0.7813
9 " " A 6550	II07	22.7	I44	0.8887

échant./milieu	% rad.	% K	âge t (Ma)	40 Ar rad. (10-6cc/g)
A 6200 Bi	87.15	7.39	24 +/- 1	6.845
A 6200 6 FK	21.52	13.67	23 +/- 5	11.99
A 6200 RT	80.10	2.77	I41 +/- 18	15.42

Résultats des biotites du granite des Sept-Laux

Le rapport 87 Rb/ 86 Sr moyen est de 0,956.

Les résultats de dosages sont donnés à l'annexe n° VI

Le tracé de la droite isochrone et les résultats analytiques sont donnés figure n° 51.

Les 13 roches totales ne déterminent pas une isochrone stricte, mais elle est statistiquement vraisemblable.

L'âge  $t = 322 \pm 43$  ( $2\sigma$ ) Ma

(87 Sr/ 86 Sr) initial =  $0,7066 \pm 0,0005$  ( $2\sigma$ )

M.S.W.D. = 2,15

Si l'on traite uniquement le groupe des points bas et de façon séparée les faciès fins et les faciès grossiers à tendance porphyroïde, on obtient un âge voisin de 300 Ma et un strontium initial de  $0,707 \pm 0,002$ . Cela tendrait à dire que les deux points du haut (faciès plus micacés: n° 8=A6470 et n° 9=A6550) pourraient être considérés comme cogénétiques et que l'âge du granite des Sept Laux est bien proche de 320 Ma (fig. n°52)

Les biotites des échantillons A6200 et A6550 donnent

$T = 75 \pm 2$  Ma pour A6200 (n°6), isochrone, biotite + RT  
et (87 Sr/ 86 Sr)<sub>i</sub> = 0,7092

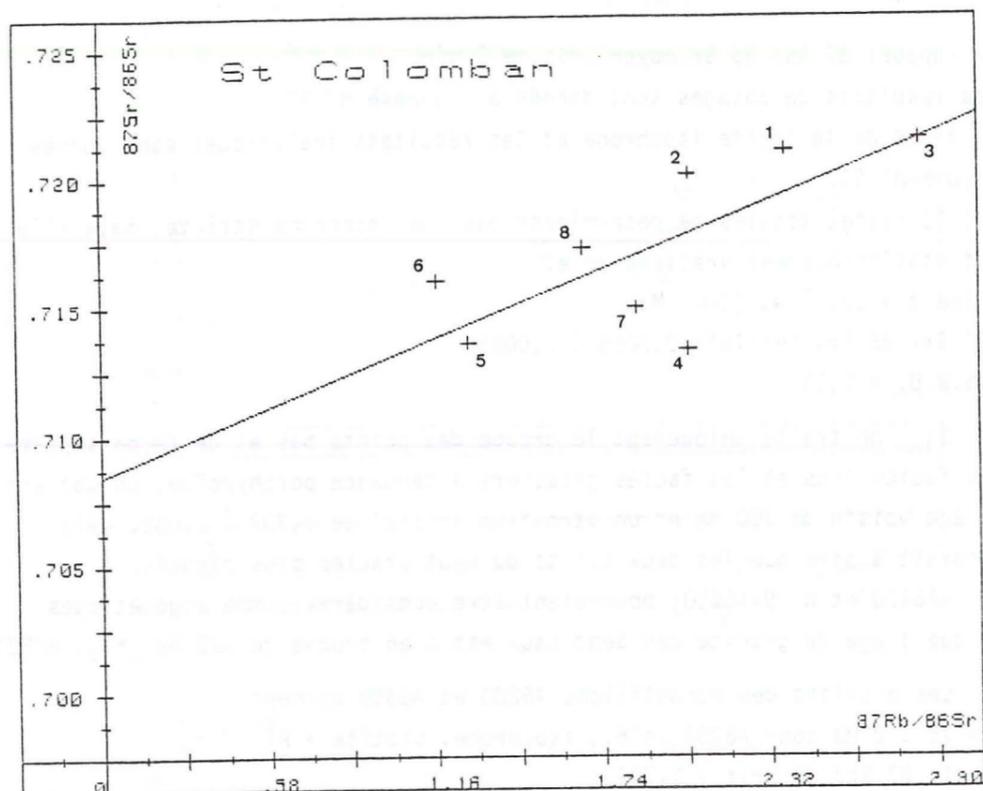
$T = 87 \pm 2$  Ma pour A6550 (n°9), isochrone biotite + RT  
et (87 Sr/86 Sr)<sub>i</sub> = 0,7114

#### 5.2.1.2. Le granite de Saint Colomban

##### a) Contexte géologique

Le granite de Saint Colomban ainsi dénommé par D. DONDEY (1960) et P.C. BORDET (1961-1963) a été appelé "complexe granito-gneissique" par F. CARME (1970). Il est usuel aujourd'hui, de parler du complexe de Saint-Colomban-les-Villard. Celui-ci forme le versant ouest de la vallée du Glandon, et il a été traversé par la galerie Arc-Isère à la cote 500 et à la latitude de Saint-Etienne de Cuines. Il est considéré comme un "granite ancien" anté-viséen (D. GASQUET, 1979).

Ce complexe très hétérogène est constitué par juxtaposition ou association de gneiss et de granitoïdes peu ou non porphyroïdes, avec des faciès basiques. Les granitoïdes sont à biotite et/ou amphibole, généralement à grain moyen, porphyroïdes ou non. A l'affleurement on observe du Sud vers le Nord, le passage progressif depuis des granitoïdes porphyroïdes à amphibole, de composition monzodioritique et à enclaves basiques vers



	87Sr/86Sr	Erreur	87Rb/86Sr	Erreur
1	0.72105	0.00050	2.3780	0.0476
2	0.72013	0.00050	2.0400	0.0408
3	0.72151	0.00050	2.8450	0.0569
4	0.71329	0.00050	2.0380	0.0408
5	0.71359	0.00050	1.2760	0.0255
6	0.71601	0.00050	1.1660	0.0233
7	0.71492	0.00050	1.8550	0.0371
8	0.71725	0.00050	1.6730	0.0335

Erreur chronométrique probable  
 Pente =  $.004582 \pm .003544$  (2 sigma)  
 Intercept =  $.708480 \pm .006900$  (2 sigma)  
 Age =  $321.97 \pm 249.02$  (2 sigma)  
 Indice de déviations pondérées MSWD = 93.35

Calcul de la régression selon WILLIAMSON (1968)  
 du MSWD selon Mc INTYRE (1966)  
 et du cut-off selon BROOKS (1972)

Données numériques in:  
 J.C. Baubron

B.R.G.M.  
 Service Géologique National  
 F-45060 ORLEANS Cedex

Figure n°. 53 . Diagramme isochrone du granite de Saint-Colomban.

des monzogranites. Ce sont ces derniers qui ont conduit les anciens auteurs à parler de granite de Saint-Colomban. Ces granitoïdes recoupent les gneiss mais on peut observer une association plus ou moins intime des granitoïdes avec les mobilisats des gneiss.

#### b) Etude géochronologique

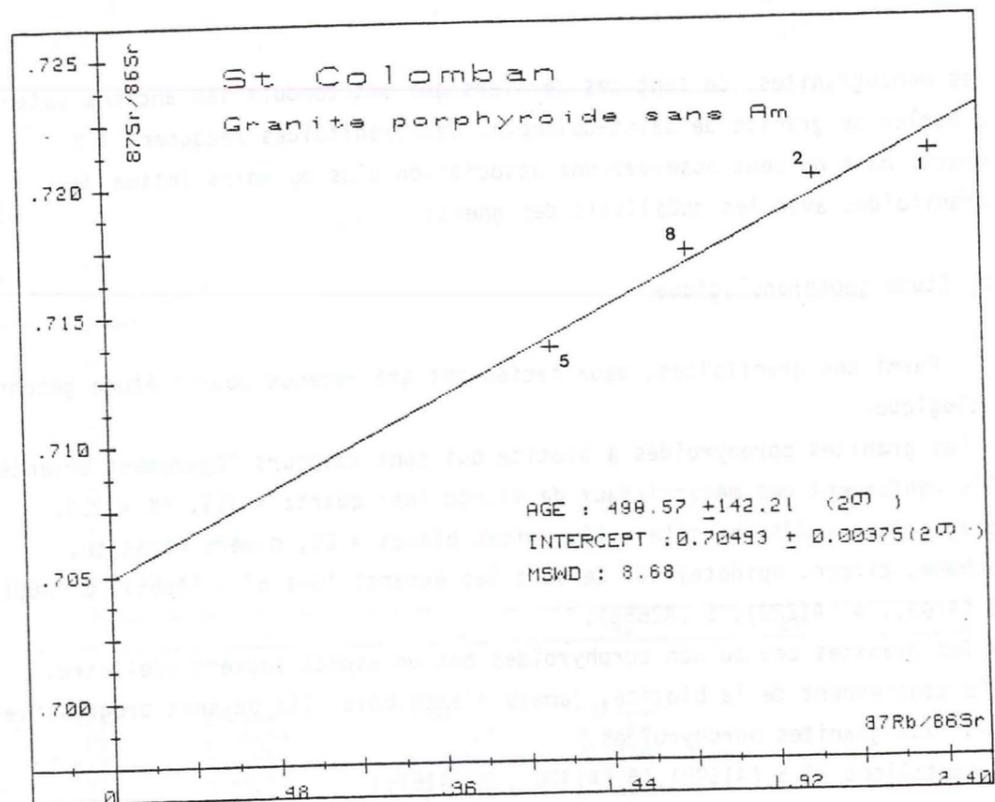
Parmi ces granitoïdes, deux faciès ont été retenus pour l'étude géochronologique:

- les granites porphyroïdes à biotite qui sont toujours légèrement orientés. Ils renferment des mégacristsaux de microcline: quartz = 31%, FK = 21%, plagioclase = 32%, biotite = 10%, micas blancs = 2%, divers (apatite, sphène, zircon, épidote) 4%. Ce sont les échantillons n° 1 (A665), 2 (A681) 3 (A703), 4 (A1229), 5 (A2658);
- les granites peu ou non porphyroïdes ont un aspect souvent ocellaire. Ils contiennent de la biotite, jamais d'amphibole. Ils passent progressivement aux granites porphyroïdes. Echantillons n° 5 (A1395), 6 (A1420), 7 (A1675).

Les teneurs en Rb de ces deux catégories de granitoïdes s'étalent de 100 à 300 ppm, les teneurs en Sr de 200 à 400 ppm, et de 500 à 3 500 ppm pour le Ba. Les rapports Rb/Sr vont de 0,40 à 0,98. Les analyses chimiques et résultats sont donnés à l'annexe n° VII.

Le rapport 87 Rb/ 86 Sr moyen est de 2.

Les huit roches totales donnent un nuage de points dans le diagramme 87 Rb/ 86 Sr (fig.n° 53). La droite statistique dessinée n'a aucun sens. Un examen plus approfondi de ces échantillons nous a permis d'écarter un certain nombre de points. Compte-tenu des différents facteurs pris en compte: chloritisation, intensité de l'orientation (schistosité fruste) et perte au feu supérieure à 1,18 %, nous n'avons retenu que quatre points valables : n°1 (A665), 2 (A681), 5 (A1395), 8 (A2658).



87Sr/86Sr	Erreur	87Rb/86Sr	Erreur
1 0.72105	0.00050	2.3780	0.0476
2 0.72013	0.00050	2.0400	0.0408
5 0.71359	0.00050	1.2760	0.0255
8 0.71725	0.00050	1.6730	0.0335

Isochrone statistiquement vraisemblable  
Pente = .007105 ± .002027 (2 sigma)  
Intercept = .704927 ± .003748 (2 sigma)  
Age = 498.57 ± 142.21 (2 sigma)  
Indice deviations ponderees MSWD = 8.68

Calcul de la regression selon WILLIAMSON (1968)  
du MSWD selon Mc INTYRE (1966)  
et du cut-off selon BROOKS (1972)

Donnees numeriques in:

B.R.G.M.  
Service Geologique National  
F-45060 ORLEANS Cedex

Figure n°. 54 . Diagramme isochrone du granite de Saint-Colomban

Ces quatre roches totales définissent une isochrone statistiquement vraisemblable, mais il n'y a pas assez de points pour préciser l'âge de mise en place (figure n° 54). Nous pouvons dire cependant que ces quatre roches totales semblent cogénétiques, et sont relativement alignées. L'âge de la mise en place est de l'ordre de 500 Ma. L'intercept (87 Sr/86 Sr) initial est voisin de 0,705 (2σ). Cet alignement devrait être confirmé par deux mesures en cours.

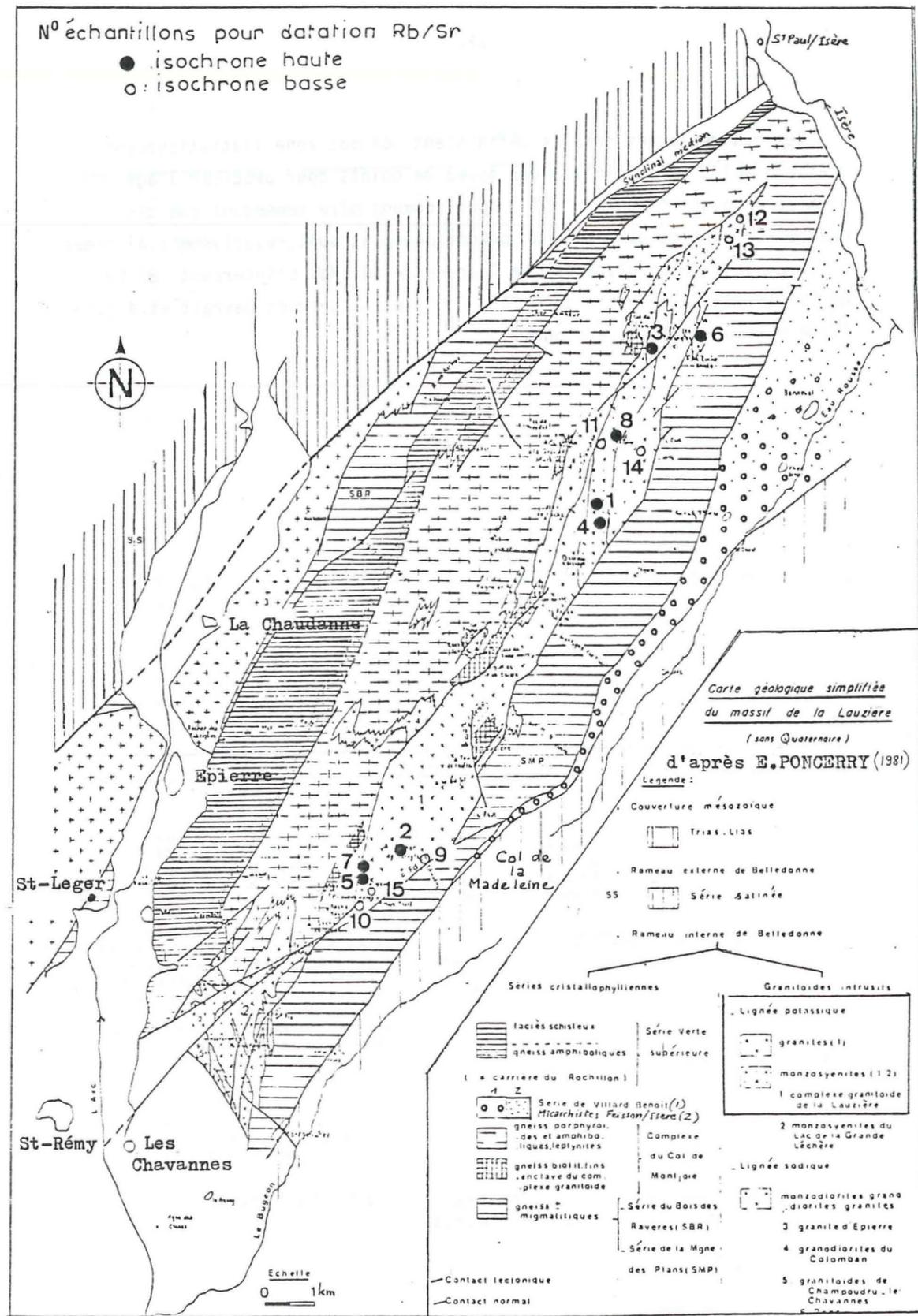


Figure n°. 55 . Localisation des échantillons et contexte géologique.  
Massif de la Lauzière, d'après E. PONCERRY 1981

5.2.1.3. Le granite de la Lauzière

a) Contexte géologique (fig. n°55)

La chaîne de la Lauzière s'étend entre les vallées de l'Arc au sud-ouest et de l'Isère au nord-est, et appartient au rameau interne du massif de Belledonne (s.s.)

Le complexe granitoïde qui en constitue une partie se suit depuis l'accident de Fond de France, au Sud, jusqu'au village de Pussy au Nord, où il se biseaute. Il forme la ligne de crête du massif jusqu'aux Aiguilles de Balme. Il est en contact tectonique avec les gneiss orientaux (série de la Montagne des Plans). De même le contact occidental est brutal, tectonique ou non, avec les gneiss du complexe du Col de Montjoie ou avec les granodiorites du Colomaban. La galerie E.D.F. de Randens, levée par C. BORDET, ne l'a pas recoupé à la cote 500, sous la pointe des Arangles. Il semble donc déraciné.

Le massif de la Lauzière a fait l'objet de nombreux travaux (BLAISE J., BORDET Cl., CARME F., SALVI M.) et son étude a été reprise récemment par E. PONCERRY (1980). En ce qui concerne le complexe granitoïde, cet auteur définit plusieurs faciès. Il considère que cela correspond à différents termes d'une lignée grano-syémitique et il distingue trois types pétrographiques :

- faciès monzosyémitique (au nord)
- faciès granitique
- faciès leucogranitique (au sud)

L'évolution est continue du Nord au Sud, et les passages sont progressifs entre les différents faciès.

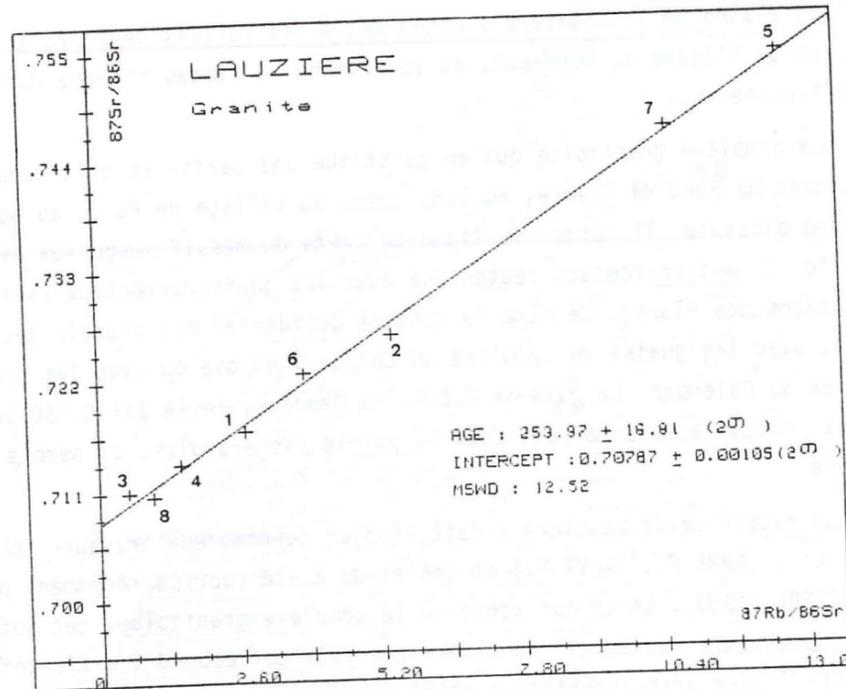
aa) les faciès monzosyémitique

Ils affleurent dans la partie septentrionale. Ce sont des roches à grain grossier, isogranulaires, riches en ferromagnésiens (biotite, amphibole, sphène) et en microcline.

En lame mince, on observe : quartz peu abondant, microcline subautomorphe perthitique poecilitique, plagioclase An 30 séricitisé, biotite brun verdâtre à sagénitique, hornblende subautomorphe peu colorée, sphène parfois plurimillimétrique, calcite, épidote, séricite et apatite.

ab) Les faciès granitiques

Ils forment la majeure partie du complexe granitique. Ils sont surtout développés dans sa partie méridionale. Ce sont des granites équants, un peu



87Sr/86Sr	Erreur	87Rb/86Sr	Erreur
1 0.71690	0.00050	2.7104	0.0542
2 0.72620	0.00050	5.4409	0.1088
3 0.71100	0.00050	0.5548	0.0111
4 0.71370	0.00050	1.5054	0.0301
5 0.75390	0.00050	12.6196	0.2524
6 0.72250	0.00050	3.8080	0.0762
7 0.74650	0.00050	10.5427	0.2109
8 0.71050	0.00050	0.9998	0.0200

Erreur chronologique probable  
Pente =  $0.003613 \pm 0.000239$  (2 sigma)  
Intercept =  $0.707872 \pm 0.001047$  (2 sigma)  
Age =  $253.97 \pm 16.81$  (2 sigma)  
Indice de déviations pondérées MSWD = 12.52

Calcul de la régression selon WILLIAMSON (1968)  
du MSWD selon Mc INTYRE (1966)  
et du cut-off selon BROOKS (1972)

Données numériques in:  
P. Deneuillemeester

Figure n° 56 a) diagramme isochrone du granite de la Lauzière (isochrone haute)

moins grossiers (4mm), de couleur blanche et à mouchetures millimétriques de biotite (granites leucocrates). Entre les faciès leucocrates et mésocrates il y a des faciès intermédiaires où les variations minéralogiques concernent la proportion variable des biotites plus ou moins chloritisées et des amphiboles, la plus ou moins grande richesse en feldspaths, les sphènes plus gros et plus abondants dans les faciès mésocrates.

En lame mince, à la différence du faciès précédent on note : plagioclase An 10 à 20 (au lieu de 30) à cœur séricitisé et bordures fraîches, microcline automorphe perthitique et poecilitique, myrmékite, biotite chlorisée en petits individus agglomérés, pauvreté relative en sphène mais apatite plus abondante.

Localement on observe des faciès particuliers (Pointe des Arangles, ruisseau de la Valette) : granites à grain légèrement plus fin (3 mm) en masses floues. Ils ne contrastent pas du point de vue géochimique avec le faciès granitique courant.

#### ac) Les faciès leucogranitiques.

Ils affleurent à l'extrémité méridionale du complexe granitoïde dont ils constituent les termes les plus évolués. Ce sont des roches très leucocrates, souvent hématitisées (Roc Rouge), caractérisées par une faible teneur en ferromagnésiens. La biotite est verdie, le sphène est entièrement épigénisé, les plagioclases An 10 subautomorphes.

En plus de ces trois faciès principaux qui constituent la lignée granosyénitique, il faut citer la présence de faciès basiques fins sur la bordure orientale ainsi que des faciès filoniens surtout visibles dans l'encaissant oriental et dans les granodiorites. Des filons aplitiques de faible puissance sont visibles près du Rocher de Sarvatan. Sur la bordure orientale près de l'accident de Fond de France, le granite de la Lauzière est mylonitisé sur une centaine de mètres. Enfin signalons la présence d'enclaves homogènes ovoïdes décimétriques et des enclaves enallogènes de grandes dimensions.

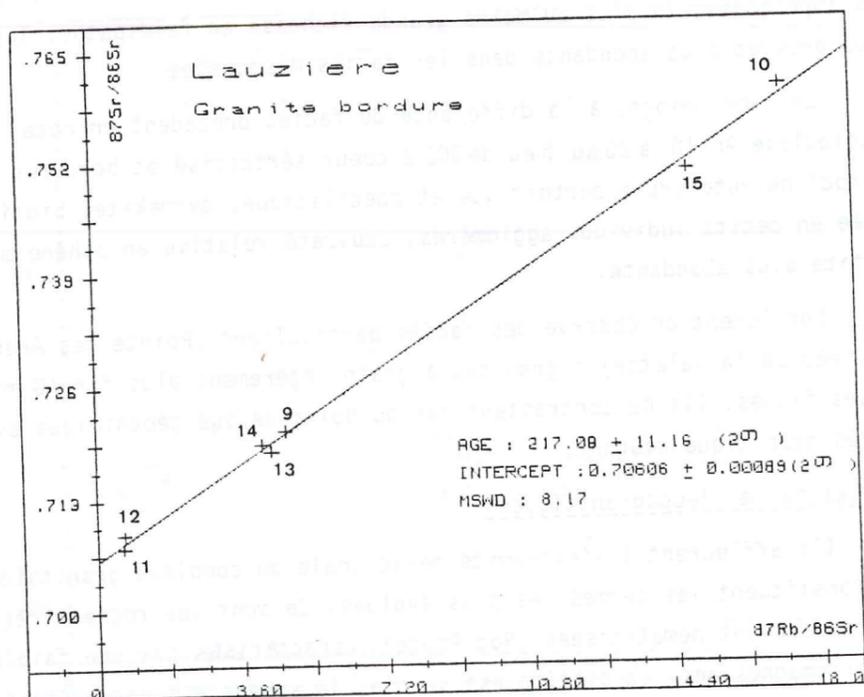
#### b) Etude géochronologique

Une étude préliminaire avait été entreprise par E. PONCERRY (1980) au laboratoire de Clermont-Ferrand sur 9 roches totales, il n'avait pas été possible d'obtenir une bonne isochrone, la dispersion étant importante. Les caractéristiques étaient :

$$T = 216 \pm 6 \text{ Ma (1}\sigma\text{)}$$

$$(87 \text{ Sr}/86 \text{ Sr})_i = 0,7075 \pm 0,0005 (1\sigma)$$

$$\text{M. S. W. D.} = 3,09$$



87Sr/86Sr	Erreur	87Rb/86Sr	Erreur
9 0,72080	0,00050	4,7006	0,0940
10 0,76040	0,00050	17,1643	0,3433
11 0,70750	0,00050	0,6567	0,0131
12 0,70890	0,00050	0,6626	0,0133
13 0,71850	0,00050	4,3470	0,0869
14 0,71930	0,00050	4,1262	0,0825
15 0,75080	0,00050	14,8412	0,2968

Enneuchrone probable  
Pente = 0,003087 ± 0,000159 (2 sigma)  
Intercept = 0,706062 ± 0,000895 (2 sigma)  
Age = 217,08 ± 11,16 (2 sigma)  
Indice déviations pondérées MSWD = 8,17

Calcul de la régression selon WILLIAMSON (1968)  
du MSWD selon Mc INTYRE (1966)  
et du cut-off selon BROOKS (1972)

Données numériques in:  
P. Demeulemeester

B.R.G.M.  
Service Géologique National  
F-45060 ORLEANS Cedex

Figure n° 56 b) diagramme isochrone du granite de la Lauzière (faciès de bordure)

Nous avons repris cette étude, à partir de nouveaux échantillons, pour essayer de mieux définir une éventuelle isochrone, les résultats de l'ensemble des dosages sont reportés à l'annexe n° VIII. Les teneurs en Rb s'étalent de 200 à 350 ppm, les teneurs en Sr de 70 à 199 ppm. Les rapports 87 Rb/ 86 Sr vont de 0,29 à 17,1.

Les points représentatifs des 15 échantillons de roche totale reportés sur le diagramme 87 Rb/86 Sr - 87 Sr/ 86 Sr, ne se disposent pas suivant un alignement mais permettent le calcul de deux droites de régression distinctes.

- La première droite comprenant 8 roches totales, appelée "isochrone hautes" a les caractéristiques suivantes : (Figure n° 56).

$$T = 254 \pm 17 \text{ Ma (2}\sigma\text{)}$$

$$(87 \text{ Sr}/86 \text{ Sr})_i = 0,7079 \pm 0,0010 (2\sigma)$$

$$M. S. W. D. = 12,52$$

Ces roches totales correspondent aux faciès monzosyémitiques. (n° 3,4), granitiques (n° 1,2,5 et 6) et leucogranitiques n° 7 et 8). Même si l'on ne tient pas compte des échantillons n° 5 et 7 qui présentent un rapport 87 Rb/86 Sr élevé (10,54 et 12,62), l'âge et le strontium initial sont toujours du même ordre de grandeur.

- Les points représentatifs des faciès proches de la bordure du complexe granitoïde et des filons, s'écartent de cet alignement mais se disposent de façon linéaire et permettent le calcul d'une autre droite de régression ("isochrone basse") : avec 7 roches totales :

$$T = 217 \pm 11 (26) \text{ Ma}$$

$$(87 \text{ Sr}/86 \text{ Sr})_i = 0,7061 \pm 0,0009 (26)$$

$$M. S. W. D. = 8,17$$

Bien qu'il y ait une tendance à un alignement des points de RT, les échantillons montrent une dispersion certaine. Le calcul des droites statistiques ne correspond pas à une isochrone stricte, comme le montrent les valeurs élevées de l'indice des déviations pondérées ou M.S.W.D. Dans le chapitre suivant, nous discuterons des différents facteurs qui peuvent être responsables de l'ouverture des systèmes de roche totale et de la signification de ces alignements.

Une étude sur phases minérales de l'échantillon n°2 (RT 8754) a été effectuée. Les résultats sont donnés à l'annexe n° VIII. Nous n'avons pas d'équilibre de phases minérales :

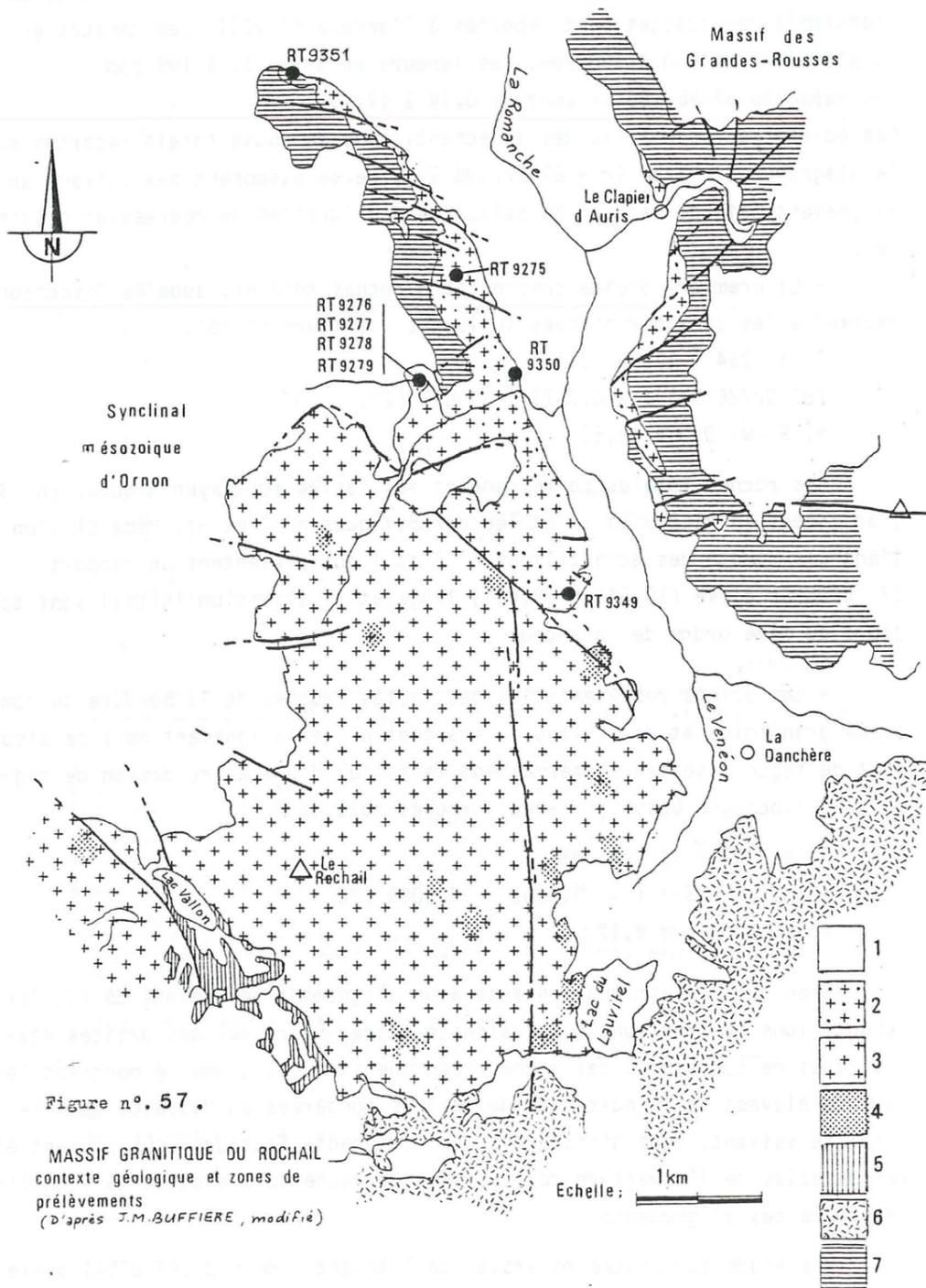


Figure n° 57.

MASSIF GRANITIQUE DU ROCHAIL  
contexte géologique et zones de  
prélèvements  
(D'après J.M. BUFFIERE, modifié)

1) couverture secondaire et quaternaire, 2) granite du Clapier, 3) granite du Rochail, 4) enclavestype syénite du Lauvitel, 5) gneiss du Vallon, 6) formation cristallophyllienne indifférenciée du Pelvoux, 7) gneiss de Bourg d'Oisans

- La biotite donne un âge de  $162 \pm 3$  Ma (couple biotite + RT).

Le feldspath K donne un âge de  $70 \pm 2$  Ma (couple FK + RT).

Le plagioclase ne s'aligne pas avec la biotite ou le feldspath potassique. Il présente un âge apparent vieilli.

## 5.2.2. LES GRANITES DU MASSIF DES GRANDES-ROUSSES ET NW DU PELVOUX

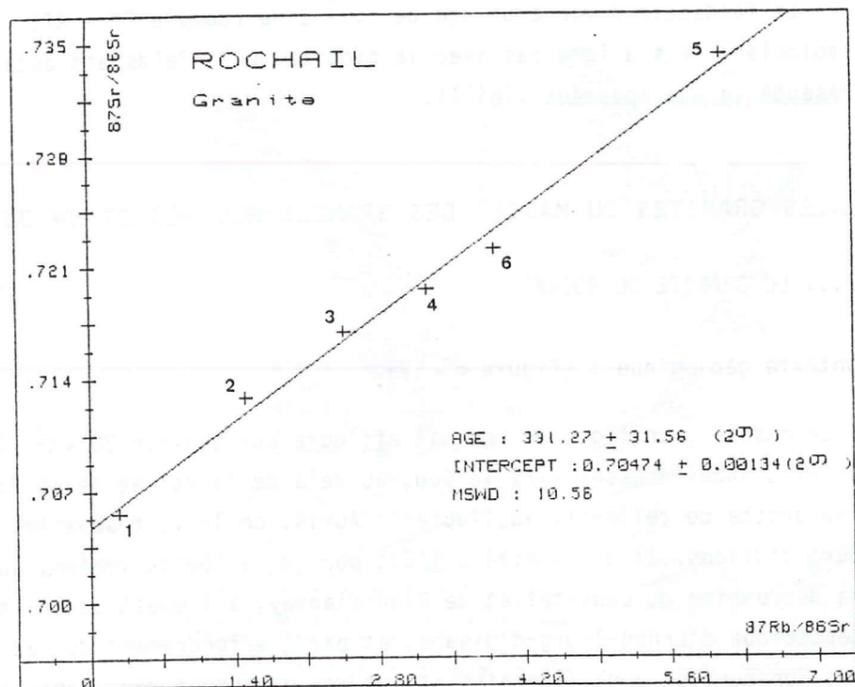
### 5.2.2.1. LE GRANITE DU ROCHAIL

a) Contexte géologique : (Figure n° 57).

Le massif granitique du Rochail affleure sur environ  $30 \text{ km}^2$ . Il prolonge les Grandes-Rousses vers le Sud, au delà de la vallée de la Romanche. En rive droite de celle-ci, au Clapier d'Auris, on le voit sous les gneiss de Bourg d'Oisans. Il est limité à l'Est par la vallée du Vénéon, au Sud par la dépression du Lauvitel et de Plan-Vianney, à l'Ouest par le synclinal mésozoïque d'Ornon-Bourg-d'Oisans, et par l'effondrement du lac du Vallon. Son contact avec l'encaissant est très nettement recoupant, sans aucun passage progressif. Malgré les accordances tectoniques postérieures à la mise en place du granite, c'est à dire fini-hercyniennes et/ou alpines, le granite du Rochail est post tectonique.

Ce granite a fait l'objet d'études pétrographiques (J.M. BUFFIERE, 1964). L'auteur a distingué deux faciès bien différents : l'un est gris, leucocrate (granite du Rochail, s.s), l'autre est rose légèrement vert (granite du Clapier). A ces deux faciès il faut ajouter certains filons aplitiques observés dans le granite lui-même et dans son encaissant. Des enclaves basiques (syénite du Lauvitel) sont réparties de façon quelconque dans le massif.

Des travaux récents (L. GIORGI, 1979) ont précisé et complété ces données par une approche géochimique. L'auteur montre que ce granite calco alcalin monzonitique s'individualise assez nettement de l'ensemble des granites étudiés par P. LEFORT, 1973. Il se dissocie de l'association monzonitique occidentale des granites de Colle Blanche, du Bourg de Turbat-Lauranoure et des Etages. Il se rapprocherait géochimiquement du groupe des trois massifs de Grun, de Pétarel et de la Bérarde-Promontoire avec un enracinement plus net dans certains faciès relativement plus basiques.



$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Erreur	Rb	Sr	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	Erreur
2 0.71280	0.00050	203.90	391.20	1.5094	0.0302
3 0.71690	0.00050	322.30	379.70	2.4590	0.0492
4 0.71950	0.00050	268.10	238.50	3.2574	0.0651
5 0.73420	0.00050	312.60	148.80	6.0953	0.1219
6 0.72200	0.00050	268.10	199.00	3.9049	0.0781
1 0.70560	0.00050	.35	3.61	0.2806	0.0056

a) avec le point complémentaire n°I (RT 9349)

pente =  $.004715 \pm .000449$  ( $2\sigma$ )  
 intercept =  $.704741 \pm .001345$   
 âge =  $331.27 \pm 31.56$  Ma  
 indice de déviations pondérées MSWD = 10.56

b) sans le point n° I (RT 9349)

pente =  $.004557 \pm .000323$   
 intercept =  $.7054 \pm .0013$   
 âge =  $320 \pm 23$  Ma

Figure n°. 58 . Diagramme isochrone du granite du Rochail

aa) Le granite du Rochail s.s.

Gris clair, de grain moyen, relativement homogène, ses variations minéralogiques sont mineures : proportion variable de la biotite, apparition locale de hornblende (près des ams basiques du Lauvitel).

En lame mince, on constate notamment une légère chloritisation des biotites, des plagioclases subautomorphes à séricitisation sporadique et souvent myrmékitisées, du microcline finement perthitique. Les valeurs des paramètres C.I.P.W. sont caractéristiques d'un granite hololeucocrate calco-alcalin monzonitique.

En direction du Nord Est, le passage à l'autre faciès est progressif.

ab) Le granite du Clavier. (défini par P. GIRAUD, 1952)

Il se distingue du précédent par son grain généralement plus grossier, avec une tendance légèrement porphyroïde, et surtout par sa coloration due à la présence de microcline ros, de plagioclase verdi et de biotite chloritisée.

La composition minéralogique est identique à celle du granite du Rochail s.s. Il s'en distingue par une chloritisation plus avancée et quasi-générale de la biotite, et par une saussuritisation commençante des plagioclases. Il présente souvent des traces de structure cataclastique.

b) Etude géochronologique

Il faut signaler que l'ensemble de l'échantillonnage s'est effectué dans la partie nord du massif, zone très accessible certes, mais qui ne constitue pas la masse principale du massif. Elle présente une transition progressive et diffuse entre les deux faciès principaux du granite.

Les résultats analytiques et la description des échantillons sont donnés à l'annexe n° IX.

Les teneurs en Rb vont de 200 à 350 ppm, celles du Sr de 30 à 400 ppm, et pour le Ba de 100 à 1500 ppm.

Le rapport  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  moyen est de 3,19.

Les 5 points de roche totale : n° 2 RT 9275, n° 3 9276, n° 4 9277, n° 5 9278 et n° 6 (9279) sont assez bien alignés, le calcul de la droite statistique donne les caractéristiques suivantes (figure n° 58).

$$T = 320 \pm 23 \text{ Ma}$$

$$(87 \text{ Sr}/86 \text{ Sr})_i = 0,7054 \pm 0,0011$$

Avec le point n° 1 RT 9349 (6RT), les caractéristiques deviennent :

$$T = 331 \pm 31 \text{ Ma } (2\sigma)$$

$$(87 \text{ Sr}/86 \text{ Sr})_i = 0,70474 \pm 0,0013 (2\sigma) - \text{M.S.W.D.} = 10,56$$

L'alignement n'est pas parfait et ne correspond pas à la définition d'une très bonne isochrone, comme l'indique la valeur élevée de l'indice de déviation pondérée (M S W D). L'échantillon complémentaire RT 9349 présente  $10^3$  fois moins de Rb et de Sr que l'ensemble des autres roches totales. Son comportement géochimique est différent et il semble que, du point de vue géochronologique il ne soit pas équivalent des autres roches totales. Cet échantillon a été prélevé à proximité d'un accident majeur qui fait chevaucher la partie sud sur la partie nord du massif (Figure n°57). Cet accident serait sans doute responsable du comportement différent de cet échantillon. Il y aurait eu, à ce niveau, un lessivage important du Rb et du Sr (?).

La roche totale RT 9351, n'a pas été prise en compte pour l'isochrone. Elle correspond à un matériel aplitique en filon très fréquent dans cette partie nord du granite. A titre indicatif avec un strontium initial de 0,706, l'âge serait de  $290 \pm 10 \text{ Ma } (2\sigma)$ . L'échantillon RT 9350 n'a pas été considéré.

Sans tenir compte des valeurs extrêmes, nous remarquons que l'ensemble des 4 RT (9275, 9276, 9277 et 9279) définit une isochrone statistiquement vraisemblable de caractéristiques :  $T = 267 \pm 22 \text{ Ma}$ , avec un rapport initial de  $0,7072 \pm 0,0009 (2\sigma)$  et un M.S.W.D. de 1,05.

Plusieurs mesures sur biotites ont été effectuées par la méthode au strontium mais aussi à l'argon.

La biotite de l'échantillon RT 9275, donne âge :

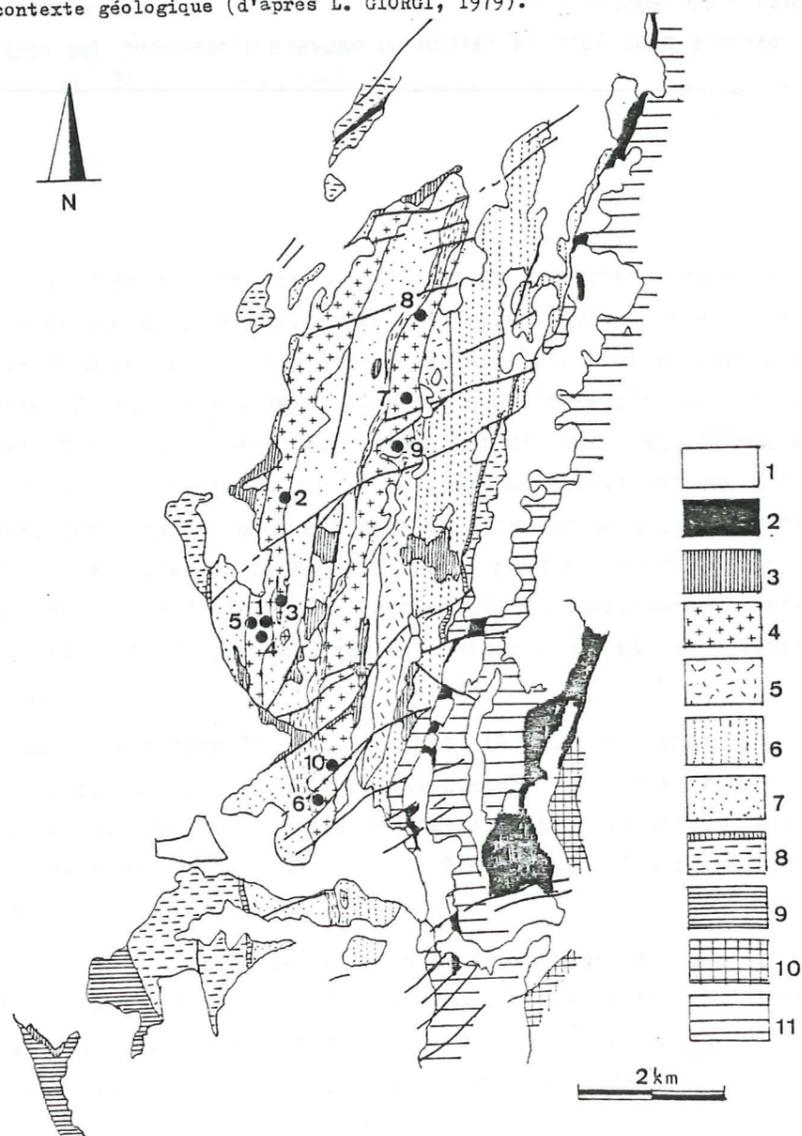
$$T = 308 \pm \text{(couple biotite + RT). avec un rapport initial de } 0,7062.$$

Par la méthode à l'argon, l'âge conventionnel est de  $293 \pm 13 \text{ Ma}$ .

Les âges sont concordants et peu différents de l'âge Rb-Sr des roches totales. ( $331 \pm 31 \text{ Ma}$ ).

Nous verrons plus loin la raison du mauvais alignement des roches totales.

Figure n°. 59 . Carte de localisation des échantillons analysés et le contexte géologique (d'après L. GIORGI, 1979).



I) couverture secondaire et quaternaire, 2) houiller, 3) trias, 4) granites de Roche-Noire et de La-Fare (à l'est), 5) métavolcanites du Dôme des Petites-Rousses, 6) unité volcanosédimentaire du Lac Blanc, 7) unité de l'Alpetta, 8) schistes d'Huez-Vaujany avec niveau repère, 9) gneiss de Bourg d'Oisans, 10) gneiss du groupe du Sauvage, 11) micaschistes de la Haute-Sarrenne.

#### 5.2.2.2. LES GRANITES DE ROCHE-NOIRE ET DE LA-FARE

##### a) Contexte géologique (figure 59)

Dans l'ensemble occidental des Grandes Rousses, les gneiss porphyroïdes de l'Alpetta et les formations schisteuses du Lac Blanc constituent la partie orientale d'un vaste complexe volcano-sédimentaire métamorphique.

Les granites de Roche-Noire et de La-Fare recoupent ces deux dernières unités. Ils forment deux bandes parallèles distinctes que l'on ne peut dissocier pétrographiquement. Cependant, il existe une différenciation depuis le granite de Roche-Noire (faciès le plus profond, situé actuellement le plus à l'Ouest et topographiquement le plus bas) vers le granite de La-Fare (plus superficiel car ce dernier possède des faciès microgrenus et rhyolitiques dont la répartition suggère assez clairement le caractère subvolcanique de cette bande orientale). L. GIORGI (1979) présente une étude pétrographique et géochimique complète de ces deux granites. Nous y faisons référence pour cette étude géochronologique.

##### aa) Le granite de Roche-Noire.

Pétrographiquement homogène, c'est un granite rose clair et vert, grenu et parfois à tendance porphyroïde (cristaux de feldspath alcalin). La biotite peu abondante, est chloritisée. Il est presque toujours orienté. La déformation se caractérise par des zones où le quartz, à structure engrenée, est plus finement recristallisé et moule des zones plus compétentes (dites "granitiques") dans lesquelles les plagioclases plus compétents sont cassés ou présentent des macles tordues. Les feldspaths K, lorsqu'ils sont à tendance subautorphe, soulignent nettement cette déformation (porphyroclastes). Des recristallisations de chlorite ou de séricite dans ces "zones déformées" sont fréquentes et délimitent des amas lenticulaires de zones granitiques. Les fractures des minéraux sont cicatrisées par de la séricite et des épidotes.

Les teneurs en Rb s'étalent de 120 à 260 ppm, celles en Sr de 220 à 300 ppm et celles en Ba de 1500 à 2200 ppm. Les rapports Rb/Sr varient de 0,24 à 0,86 (moyenne de 0,55).

##### ab) Le granite de La-Fare.

Plus hétérogène que le précédent, il est soit rosé, assez pauvre en ferromagnésiens et alors semblable au granite de Roche-Noire, soit gris avec

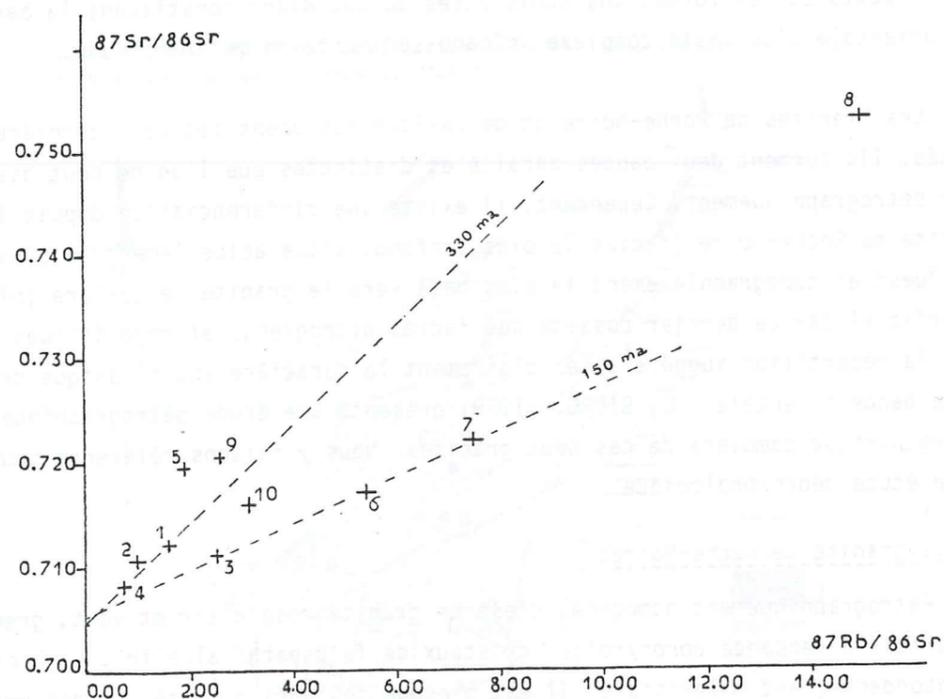


Figure n°. 60 . Diagramme  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  -  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  pour les granites de Roche-Noire et de La-Fare.

une structure grenue plus ou moins orientée. En bordure on observe un passage progressif de granite à grain fin à un faciès rhyolitique. La déformation semble y être plus énergique que dans celui de Roche-Noire (?) :

- très nombreuses zones de quartz déformés et d'aspect lenticulaire à structure imbriquée ou engrenée et recristallisée,
- rares reliques granitiques dans lesquelles les feldspaths sont affectés de micro-fissures remplies ou non de séricite et/ou de muscovite,
- le feutrage de séricite et de muscovite tapissant une multitude de petites discontinuités confère à la roche un aspect "bréché". Cette déformation s'observe mal dans les faciès rhyolitiques.

Les teneurs en Rb s'étalent de 120 à 350 ppm, celles en Sr de 20 à 450 ppm, et de 250 à 2800 ppm en Ba. Les rapports Rb/Sr varient de 0,90 à 5 (moyenne de 2,95).

#### b) Etude géochronologique.

L'étude isotopique a porté sur 10 roches totales : 5 échantillons du granite de Roche-Noire (n° 1 à 5) et 5 échantillons du granite de La-Fare (n° 6 à 10).

Pour Roche-Noire, les faciès granitiques roses sont légèrement porphyroïdes et peu orientés. Les rapports  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  varient de 0,69 à 2,50 (moyenne de 1,59).

Pour La-Fare, les échantillons n° 7 et 9 sont des faciès roses semblables à Roche-Noire. Le faciès gris, de granulométrie variable est représenté par les RT n° 8 et 10. Un faciès de bordure, la RT n° 6, représente un granite gris à grain fin. Les rapports  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  s'étalent de 2,60 à 14,50 (moyenne de 8,54).

L'ensemble des résultats analytiques et la description des échantillons sont donnés à l'annexe n° X.

Le report des points analytiques des roches totales dans le diagramme de NICOLAYSEN montre qu'il n'est pas possible de tracer une isochrone (figure 60). Cette dispersion des points représentatifs de roches totales montre, soit que les différents systèmes ne sont pas congénétiques et n'ont pas le même  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  initial tout en étant synchrones, soit que les systèmes sont ou ont été ouverts. Nous verrons dans le chapitre suivant la

cause de l'ouverture du système de roche totale et notamment l'influence de la mylonitisation.

### 5.3. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

#### 5.3.1. SIGNIFICATION DES "ISOCHRONES".

L'étude radiométrique Rb/Sr par la méthode des isochrones n'est pas très satisfaisante en ce qui concerne la précision sur l'âge de mise en place des granites. Il est même probable que certains alignements de RT n'aient pas de réelle signification en terme d'âge de cristallisation ou de mise en place du granite.

La dispersion des points de roche totale, variable d'un granite à l'autre, n'a pas permis d'obtenir de très bonnes isochrones de RT. Cela signifie que les systèmes ont été partiellement ouverts depuis la dernière homogénéisation isotopique qui est l'époque de la cristallisation du bain magmatique (ou l'âge de mise en place des granites).

Plusieurs facteurs sont susceptibles d'entraîner des migrations des éléments Rb, Sr ou plus particulièrement le  $^{87}\text{Sr}$  radiogénique, et sont donc responsables de l'ouverture des systèmes. Nous avons considéré les différents cas dans un chapitre précédent et nous nous y reporterons (3ème partie). Parmi ceux-ci, l'influence de la tectonique sous l'effet de la mylonitisation (cas n° 9) nous semble l'un des facteurs principaux de la réouverture partielle et hétérogène des RT (Lauzière, Roche-Noire et La-Fare). La température (métamorphisme, cas n°2) intervient dans une moindre mesure mais peut être déterminante (cas n° 4 pour Saint Colomban).

Pour les différents granites étudiés, nous allons brièvement discuter de la signification et de la validité des alignements obtenus.

#### 5.3.2. Les granites du massif de Belledonne.

##### a) Le granite de Saint-Colomban.

La dispersion des 8 RT qui donne un nuage de points dans le diagramme de Nicolaysen, peut être attribuée principalement à un métamorphisme intense (cas n° 5). L'ouverture des système RT est certainement accentuée par les événements tectoniques tardi-hercyniens et/ou alpins. Ils sont responsables de la déstabilisation des minéraux (comme la chloritisation des biotites) et de la déformation (structure orientée). Ces facteurs pris en considération nous permettent d'isoler des échantillons relativement sains et épargnés pour

avoir un âge proche de celui de la mise en place du granite, environ 500 Ma.

Nous ne pouvons pas affirmer actuellement que le granite de Saint Colomban n'est pas hercynien. Cependant, le rapport initial bas (0,7049) laisse supposer qu'il est différent du granite des Sept-Laux. En tout cas il a subi des remobilisations importantes à l'hercynien mais aussi à l'alpin. Il n'est pas facile, compte tenu du peu de données que nous possédons d'évaluer leur intensité.

Ce type de granite se prêterait mieux à une étude sur zircon étant donné le faible rapport initial.

#### b) Le granite des Sept-Laux.

La faible variation des rapports Rb/Sr est une première difficulté pour obtenir une bonne définition de l'isochrone. Le granite des Sept-Laux est en effet très homogène du point de vue chimique. L'utilisation d'échantillons à fort rapport Rb/Sr, correspondant à des faciès surmicacés, est délicate, mais dans notre cas ils sont cogénétiques et complètement réhomogénéisés. Ils précisent un peu mieux l'isochrone.

Ce n'est pas un problème d'échantillonnage qui peut être responsable du mauvais alignement. En effet, celui-ci est effectué dans une galerie qui correspond à l'échantillonnage idéal : les échantillons sont frais, prélevés à peu de distance et en continu (on est sûr qu'ils sont cogénétiques). Cependant, la galerie Arc-Isère se situe dans une région de Belledonne particulièrement affectée lors des phases alpines crétacées et oligocène (cf. étude sur les biotites). C'est une zone comprise entre le "synclinal" médian, l'accident de Fond de France et la faille bordière orientale. Il n'a pas été fait d'étude sur toutes les phases minérales et nous ne pouvons pas dater l'âge exact du métamorphisme.

Le granite des Sept-Laux est un granite Viséen supérieur, mais nous ne pouvons mieux préciser son âge de mise en place qui est de  $322 \pm 43$  Ma. Une étude complémentaire serait souhaitable mais l'échantillonnage doit se faire dans la partie sud du massif de Belledonne (Cascade de l'Eau d'Olle) qui est moins affectée par des événements tectoniques postérieurs.

Ce granite tire son origine d'une région source caractérisée par un rapport Rb/Sr de l'ordre de 0,33. En raison du rapport à l'origine de 0,7066 il est peu probable d'obtenir un âge valable avec les zircons car certains de ceux-ci peuvent être hérités.

#### c) Le granite de la Lauzière.

Malgré le nombre important d'échantillons de RT, il n'a pas été possible d'obtenir une très bonne isochrone. Il nous a été cependant possible de mettre en évidence deux alignements distincts en fonction de l'échantillonnage. En effet, les échantillons prélevés à proximité de la bordure orientale du granite, de l'accident de Fond de France et à la terminaison septentrionale du complexe, s'écartent des autres roches totales prélevées au coeur du massif.

Il ressort de nos différentes observations que l'influence de la tectonique est évidente et qu'elle est moindre au coeur et à l'ouest du massif granitique. Sous l'effet de la mylonitisation (ici commençante) il y a une réouverture partielle des RT et même un réalignement grossier des points représentatifs. Cependant, il est peu probable, en l'absence d'études plus poussées (isotopes de l'oxygène en particulier, Sr des minéraux) que l'isochrone "basse" à  $217 \pm 11$  Ma corresponde à un âge ayant une réelle signification géologique. Quant à l'isochrone "haute" il subsiste un doute sur la signification de l'âge à  $254 \pm 17$  Ma.

Certes, il était apparu à divers auteurs que la mise en place du granite de la Lauzière était tardive par rapport à celle d'autres granites des massifs cristallins externes (Mont-Blanc, Sept-Laux, Rochail). Aussi, l'âge permien satisfierait au moins en partie cette hypothèse. On sait par ailleurs que le Permo-Trias a connu une certaine activité volcanique acide (rhyolites, dacites) et basique (spilites). Il ne serait donc pas déraisonnable de considérer le magmatisme acide à l'origine du granite de la Lauzière comme l'expression "profonde" de ce volcanisme.

Cependant, en ce qui concerne le mécanisme de l'intrusion, il a été démontré (E. PONCERRY, 1981) que celle-ci s'est effectuée dans des zones d'ouverture N 0 à N 30 d'un système en extension soumis à une contrainte maximale approximativement N - S. On sait par ailleurs, que ce régime est caractéristique des époques tardi-hercyniennes et alpines précoces, et qu'il est en partie responsable du découpage du socle (VIALON P. 1974; ARTHAUD et MATTE, 1975). Le rôle d'une intense tectonique cassante après la mise en place du granite est certainement importante ; l'isochrone "haute" à 254 Ma correspondrait pro-parte à un début de réhomogénéisation isotopique à l'échelle de la RT. Des rejeux, plus tardifs ou alpins, des accidents de Fond de France et de la bordure orientale du massif, n'affecteraient que les bordures du granite (isochrone "basse" à 217 Ma).

Lors de l'orogénèse alpine proprement dite, un métamorphisme de faible intensité (cas n° 2) agit uniquement sur les minéraux mais son âge ne peut pas être précisé.

### 5.3.3. Les granites du NW du Pelvoux et des Grandes Rousses.

#### a) Le granite du Rochail.

Il n'a pas été affecté par un métamorphisme alpin important : celui-ci paraît avoir même épargné ce secteur. Il ne peut donc pas être la cause du mauvais alignement des roches totales. Les âges sur biotites ( $308 \pm 6$  Ma /Rb-Sr ;  $293 \pm 13$  Ma/K-Ar) ne sont pas rajeunis et sont proches de l'âge des RT, soit  $331 \pm 31$  Ma.

Nous pouvons rapporter ce désalignement à un phénomène de remobilisation tardi-magmatique proche de l'âge de mise en place du granite. Une phase tardive d'autométamorphisme et de pneumatolyse (J.M. BUFFIERE, 1964) serait responsable des légères variations de faciès du granite (faciès du Clapier) par une légère diffusion ou même une recristallisation. Les âges sur biotite correspondraient à cette phase tardive responsable des transformations endogènes du granite.

Nous devons aussi attirer l'attention sur un problème d'échantillonnage qui est en partie responsable de la mauvaise isochrone. En effet, dans le choix des échantillons, nous avons seulement pris des faciès trop différenciés du point de vue pétrographique et il est normal de penser qu'avec une différence minéralogique importante, le comportement géochimique et donc isotopique peut aussi être différent, d'autant que certains échantillons peuvent apparaître comme des assimilations de faciès basique. D'autre part, des prélèvements trop éloignés les uns des autres ne nous assurent pas d'un réel cogénéisme des échantillons. C'est pourquoi, nous préconisons pour l'avenir, un échantillonnage dans un périmètre réduit (zone de moins de  $1 \text{ km}^2$ ) et une étude isotopique portant sur des faciès peu différenciés (faible variation de Rb/Sr). La partie sud du massif (Rochail) serait recommandée.

#### b) Les granites de Roche-Noire et de La-Fare .

L'étude en RT est inopérante pour dater l'âge de mise en place des granites.

Les deux granites donnent deux populations suivant le rapport  $^{87}\text{Rr} / ^{86}\text{Sr}$  : le granite de Roche-Noire, à faible rapport (inférieur à 2,60) et le granite de La-Fare qui montre une grande dispersion des rapports quels que soient les faciès.

Ces deux granites montrent des traces incontestables de déformation postérieure à leur mise en place. D'après L. GIORGI (1979) la déformation des granites et de l'encaissant est contemporaine du métamorphisme principal. Il nous semble que ce dernier, de faible intensité, ne peut pas constituer le facteur essentiel de l'ouverture des RT. L'influence de la mylonitisation, d'âge tardi-hercynienne et/ou alpin, est plus certaine.

Bien qu'il soit difficile de préciser le degré de leur déformation, il semble que l'intensité des recristallisations et des néominéralisations ne soit pas suffisante pour favoriser une réhomogénéisation totale du Sr au niveau de la RT. La diffusion du Sr n'est peut être effective qu'à l'échelle des minéraux, et il conviendrait donc d'étudier les phases minérales.

D'autre part, le granite de La-Fare, de tendance hypovolcanique avec ses faciès rhyolitiques associés, est plus particulièrement affecté par les migrations de  $^{87}\text{Sr}$  compte tenu de sa composition chimique (FAIRBAIRN et al., 1966 ; CHARLOT, 1974 ; PRIEM et al., 1973).

## 5.4. GÉOCHIMIE DES GRANITOÏDES

Notre but est de présenter seulement les caractéristiques géochimiques des granites et de visualiser celles-ci à l'aide de quelques diagrammes géochimiques. Les éléments Rb, Sr, K et Ba seront plus particulièrement pris en considération. Il va de soi que ce chapitre ne constitue qu'une approche de la géochimie de ces éléments traces.

## 5.4.1. GEOCHIMIE DES ELEMENTS RB, SR, K ET BA

L'utilisation et les propriétés de ces éléments traces ont fait l'objet de nombreuses études et synthèses. On se référera pour Rb et K à HEIER et BILLINGS (1970); pour Sr à PETERMAN et HEDGE (1974) et pour le Ba à PUCHELT (1972).

Rappelons que les teneurs moyennes en Rb sont de 190 à 196 ppm pour les granites, de 110 à 122 ppm pour les granodiorites (HURLEY et al., 1962). La moyenne des concentrations en Sr est de 450 ppm pour les granodiorites, de 250 ppm pour les granites (TAYLOR, 1965). Les concentrations en Ba varient considérablement; de 0 à 2000 ppm dans les granites (WEDEPOHL, 1969).

Nous avons résumé et reporté les teneurs moyennes en Rb, Sr, K et Ba des granites étudiés dans le tableau ci-dessous :

massif granitique	faciès	nbre échant.	Rb ppm	Sr ppm	K %	Ba ppm
Sept-Laux	fin	21	134	549	3.24	1156
	grossier	26	145	590	3.31	1166
Saint-Colomban	Granite por. à biotite	5	173	473	3.37	1042
	idem	13	191	308	3.11	609
	Non porph.	18	131	506	3.69	1272
Rochail	Clapier	5	275	271	4.12	822
Roche-Noire		6	173	330	4.13	1821
La-Fare		13	264	129	4.67	1114
Lauzière	granite	8	254	233	4.26	-
	monzosyénite	5	210	781	5.06	-
	total	17	234	499	4.74	-

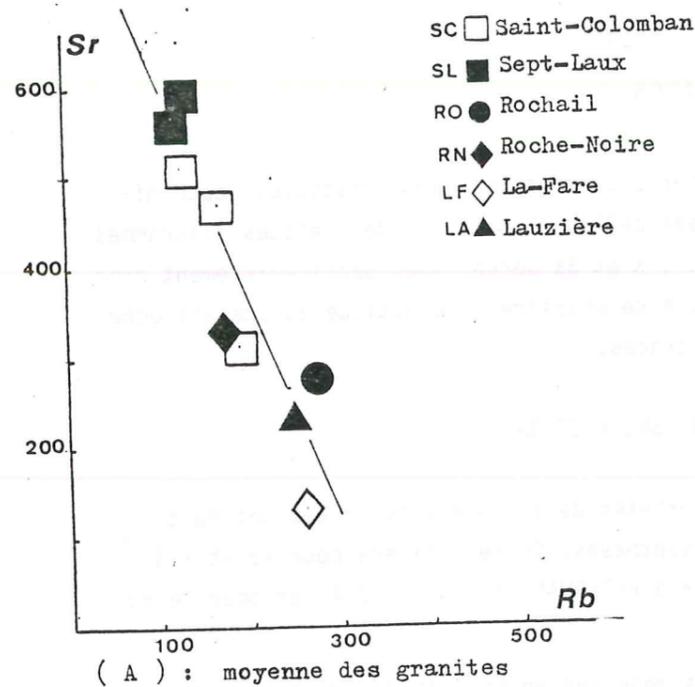
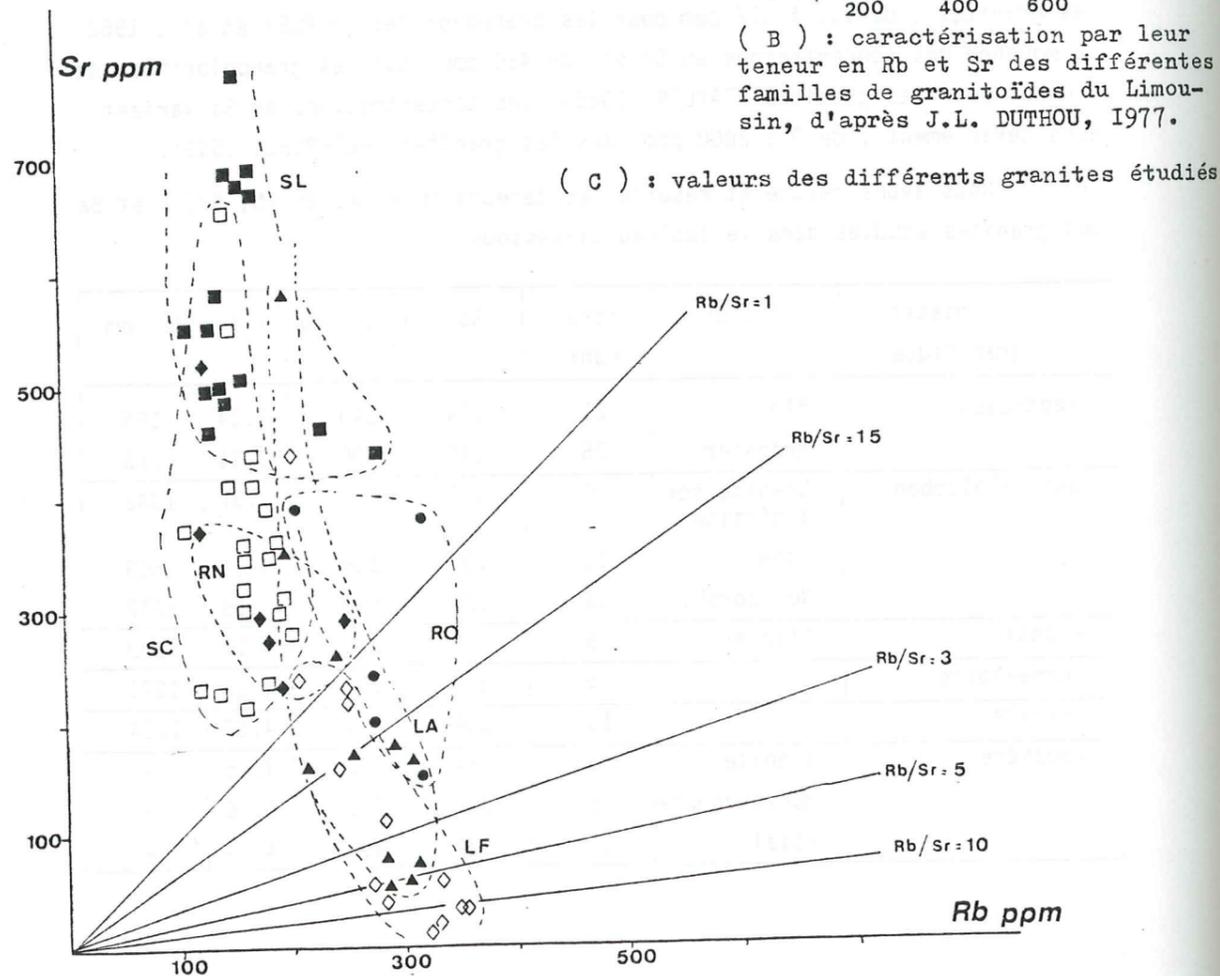
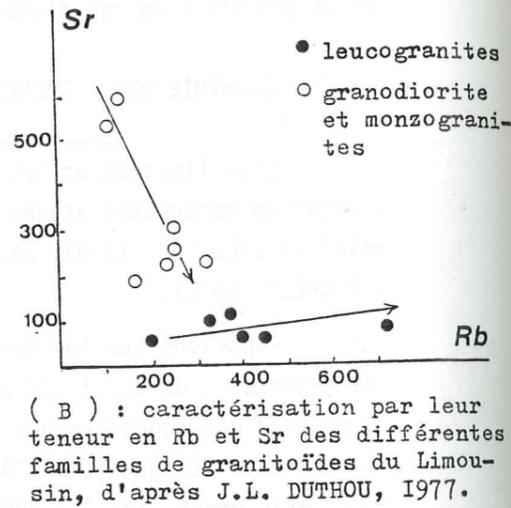


Figure n°. 61 .  
Diagramme Rb - Sr des granites étudiés et comparaison avec les granitoïdes du Limousin.



Les granites monzonitiques (Sept-Laux, Rochail, Roche-Noire et La-Fare) donnent une moyenne de :

$$Rb = 198 \text{ ppm} \quad Sr = 374 \text{ ppm} \quad K \% = 3.89 \quad Ba = 1216 \text{ ppm}$$

Quelques diagrammes vont nous permettre de mieux caractériser nos granites et nous ferons des comparaisons avec les différentes familles de granitoïdes du Massif Central Français (J.L. DUTHOU, 1977)

a) relation Rb - Sr.

Sur la figure 61 a sont reportés l'ensemble des points de chaque granite étudié. La figure 61 b ne tient compte que de la moyenne des teneurs en Rb et Sr pour les différents granites.

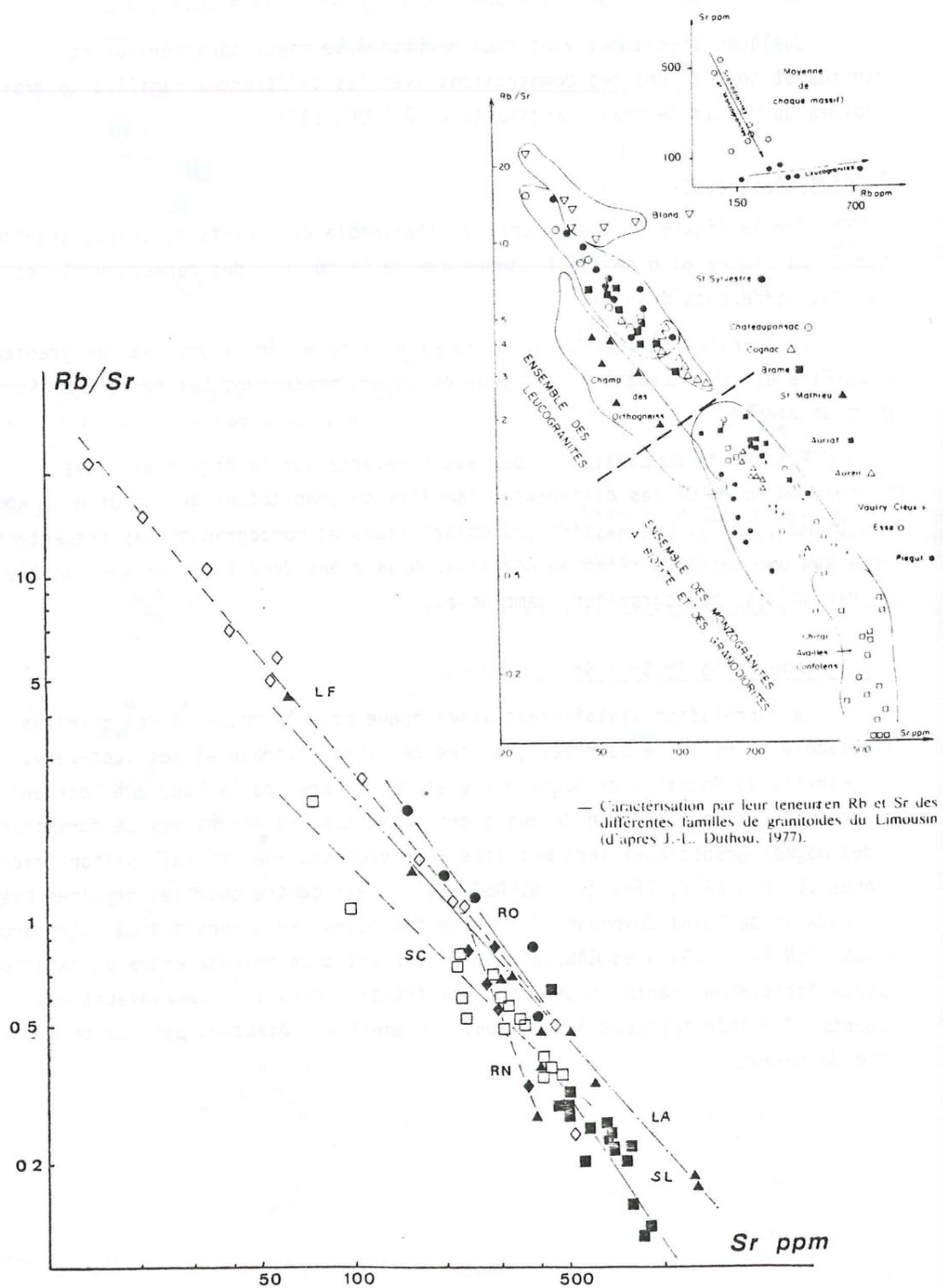
Le granite des Sept-Laux est le plus riche en Sr, alors que les granites de La-Fare et de la Lauzière plus pauvres en Sr, présentent les teneurs en Rb les plus élevées.

A titre de comparaison, nous avons reporté sur la figure 61 c les moyennes en Rb et Sr des différentes familles de granitoïdes du Limousin (d'après J.L. DUTHOU, 1977). Les massifs granodioritiques et monzogranitiques présentent entre eux une nette corrélation négative. Nous avons donc a priori une famille de granitoïdes (monzogranites) semblables.

b) diagramme bilog Rb/Sr - Sr. (figure 62)

La corrélation linéaire est assez bonne pour la majorité des granites mais semble moins nette pour les granites de Saint Colomban et des Sept-Laux. Les granites du Rochail, de Roche-Noire et de La-Fare, de la Lauzière, donnent des droites sur ce diagramme ce qui signifierait que les mécanismes de formation de ces magmas granitiques seraient liés à un processus de cristallisation fractionnée (E. PONCERRY, 1981 ; L. GIORGI, 1979). Par contre pour les granites des Sept-Laux et de Saint Colomban, l'origine des magmas résulterait d'un autre processus. PONCERRY (1981) et GASQUET (1979) parlent d'un mélange entre un matériel basique (précurseur mantellique) et d'une fraction crustale. Les valeurs des rapports  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  initiaux ne sont pas forcément en désaccord avec cette hypothèse de mélange.

Figure n°. 62 . Diagramme bilog Rb/Sr en fonction de Sr (ppm), et comparaison avec les granitoïdes du Limousin



c) diagramme K/Rb - Rb.

On observe que les roches s'enrichissent en Rb avec la différenciation. A la suite de AHRENS et al. (1952) et TAYLOR (1964), un rapport moyen de 230 a été adopté pour les roches ignées, avec une variation normale de 160 à 300. L'enrichissement en Rb se traduit par un abaissement du rapport K/Rb.

c1) Sur la figure 63 les nuages de points de tous les granites sont reportés. Les teneurs en Rb s'étalent de 100 à 320 ppm et les variations régulières du rapport K/Rb vont de 300 à 120. Nous avons figuré les courbes de différenciation du batholite de Californie du sud (a) et des granitoïdes de Corse (b). Le granite de Saint Colomban et des Sept-Laux sont sur une courbe sub-parallèle à (a), alors que le granite du Rochail possède un rapport K/Rb plus faible et dans le prolongement de (a). Par contre les granites de Roche-Noire et de La-Fare qui forment un ensemble différencié, sont subparallèles à la courbe de différenciation des granitoïdes de Corse (b). Le granite de la Lauzière est nettement décalé par rapport aux autres.

c2) Sur la figure 64 nous avons seulement représenté la différenciation de chaque granite et d'autre part, l'âge de la plupart de ces granites y a été figuré. Nous remarquons un décalage progressif (?) dû à l'augmentation relative du K. En fonction du temps il y aurait donc eu une variation de la teneur moyenne en K des différents granites hercyniens.

d) diagramme K - Na - Ca (figure 65)

Les granites hercyniens sont sur une courbe d'évolution parallèle aux droites d'évolution du chimisme des roches ignées d'Ecosse (a) et du batholite de Californie du sud (b). Le granite de Saint Colomban anté-hercynien s'en écarte nettement. Là encore nous remarquons une variation du chimisme des granites en fonction du temps. Les granites viséens supérieurs (Rochail, Sept-Laux) sont sodi-potassiques et légèrement calciques. Par contre les granites plus récents (Lauzière) montrent un enrichissement en K et une légère perte en calcium. Ceci laisse peut être entrevoir une évolution à l'échelle régionale de la composition chimique des magmas hercyniens. Si l'on regarde la composition chimique moyenne des faciès granitiques, l'évolution des teneurs en différents oxydes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  etc.) tend vers une composition rhyolitique. Mais nous ne possédons pas encore assez de données et de preuves pour pouvoir l'affirmer, et il faut considérer cette proposition avec une certaine prudence.

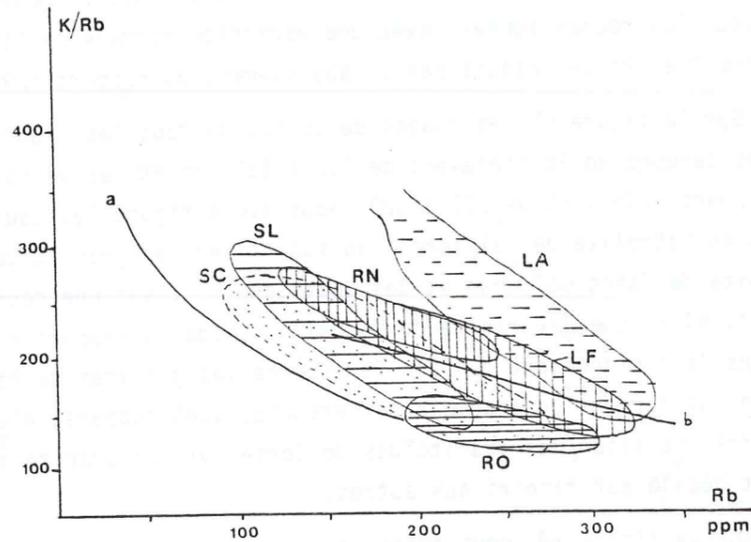


Figure n°. 63 . Diagramme K/Rb en fonction de Rb (ppm).  
 a) courbe de différenciation du batholite de Californie du Sud,  
 b) courbe des granitoïdes de Corse

Figure n°. 64 . K/Rb en fonction de Rb.  
 Lignée de différenciation de chaque granite et âge Rb-Sr approché

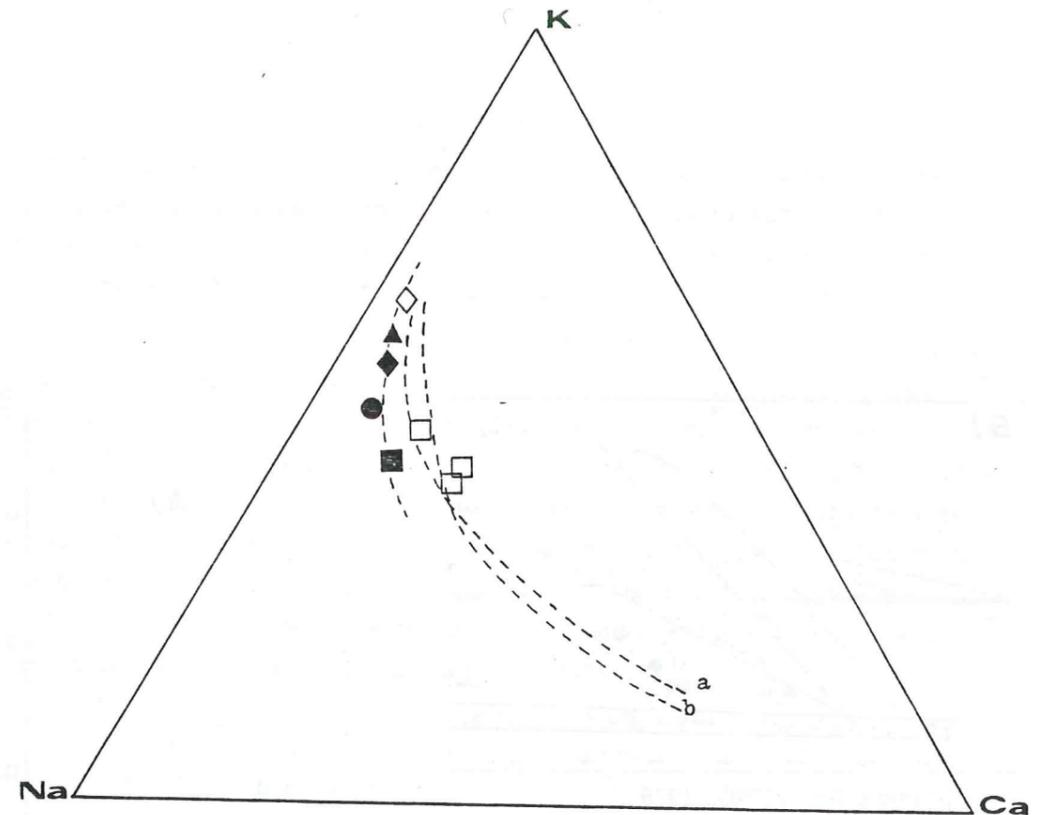
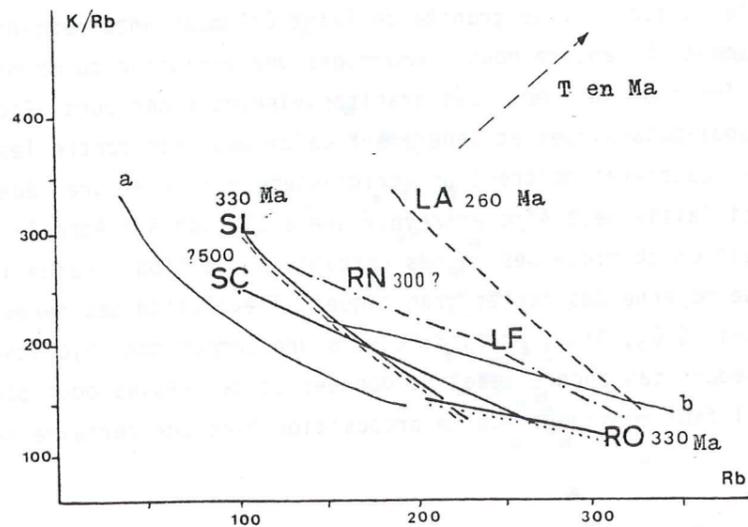


Figure n°. 65 . Diagramme Na, K, Ca pour les granites de Belledonne et des Grandes-Rousses.

D'après NOCKOLDS et ALLEN (1953)  
 a) évolution du chimisme des roches ignées d'Ecosse  
 b) évolution du chimisme du batholite de Californie du Sud

- Moyenne de chaque granite étudié :
- granites hercyniens :
    - . SL / Sept-Laux 320 Ma
    - . RO / Rochail 330 Ma
    - ◆ . RN / Roche-Noire 320 ?
    - ◇ . LF / La-Fare à 260 Ma
    - ▲ . LA / Lauzière 260 Ma
  - granite anté-hercynien :
    - . SC / St Colomban 500 Ma ?

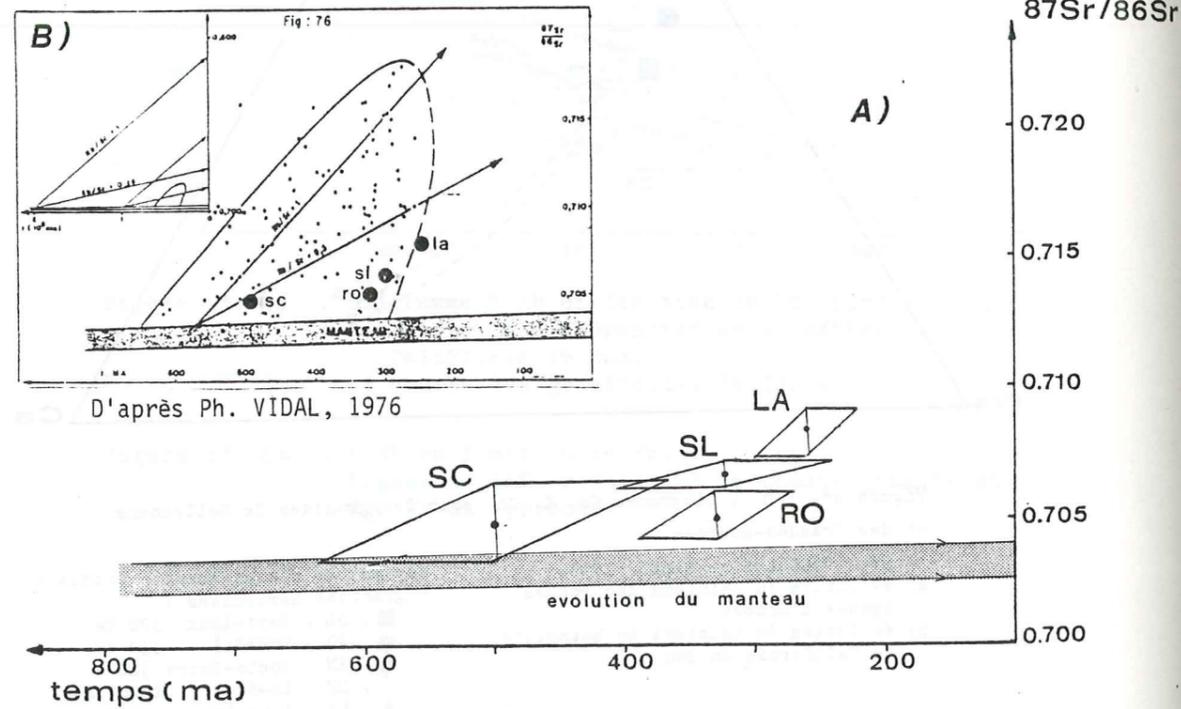


Figure n° 66. Diagramme d'évolution isotopique  $(87\text{Sr}/86\text{Sr})_{\text{initial}}$  en fonction du temps T(en Ma)

5.4.2. DONNEES FOURNIES PAR LES RAPPORTS  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  INITIAUX .

Il convient de se référer à FAURE et POWELL (1972) pour avoir un exposé complet de l'utilisation des isotopes du strontium comme des traceurs naturels de l'origine des magmas et des divers processus pétrogénétiques. Dans les travaux de VIDAL (1976) et de DUTHOU (1977) les rappels des fondements de la méthode sont clairement expliqués et nous y faisons référence.

La valeur du rapport isotopique initial  $(87\text{Sr}/86\text{Sr})_i$  obtenue, rappelons le, par l'ordonnée à l'origine de la droite isochrone dans un diagramme  $87\text{Rb}/86\text{Sr} - 87\text{Sr}/86\text{Sr}$  renseigne sur l'origine du magma initial (FAURE et HURLEY 1963 ; GAST, 1960) : celui-ci peut provenir, soit du manteau (0,702 - 0,704), soit de la croûte et alors l'origine crustale des magmas est caractérisée par des rapports  $(87\text{Sr}/86\text{Sr})_{\text{initial}}$  élevés. Il peut aussi résulter d'un mélange et dans ce cas on obtient des rapports isotopiques initiaux de 0,704 à 0,712 que l'on considère comme "intermédiaires" et pour lesquels il demeure une incertitude dans l'interprétation des résultats.

Dans les massifs de Belledonne, des Grandes Rousses et du Nord du Pelvoux, les valeurs des rapports  $(87\text{Sr}/86\text{Sr})_{\text{initial}}$  des granite sont les suivants :

granite	âge T (Ma) $\pm$ (2 $\sigma$ )	$(87\text{Sr}/86\text{Sr})_{\text{initial}}$ (2 $\sigma$ )
Saint Colomban	environ 500 Ma	0,70493 +/- 0,0037
Rochail	331 +/- 31 Ma	0,70474 +/- 0,0013
Sept-Laux	322 +/- 43 Ma	0,70664 +/- 0,0005
Lauzière	254 +/- 17 Ma	0,70787 +/- 0,0011

Il s'agit donc là de rapports initiaux "intermédiaires".

Sur le diagramme d'évolution isotopique  $(87\text{Sr}/86\text{Sr})_i = f(\text{temps})$  de la figure 66, ont été reportés les différents rapports initiaux des granites étudiés avec les erreurs correspondant aux âges maximal et minimal déterminés par isochrone (SANZ et WASSERBURG, 1969).

Tous ces granites présentent des rapports initiaux plus élevés que ceux des matériaux d'origine mantellique du même âge. Seul le granite de Saint Colomban en est très proche compte tenu de l'erreur analytique. Il faudrait donc admettre une contribution crustale dans la formation de ces granites.

En tout cas, bien que l'âge de certains granites ne soit pas très précis et qu'il s'agisse plutôt d'un ordre de grandeur (Saint Colomban, environ 500 Ma), on remarque une augmentation de la valeur des rapports initiaux du strontium en fonction du temps ; de 0,705 à 0,708 environ. La pente de la droite qui caractérise la tendance correspond à un rapport Rb/Sr de 0,25 à 1.

A ce stade de l'étude il conviendrait de fournir une explication plausible des valeurs des rapports initiaux obtenus et de proposer un schéma de l'origine des magmas. Mais il faudrait pouvoir disposer de données complémentaires, celles dont nous disposons étant trop fragmentaires.

-----

## 6. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

### 6.1. OBSERVATIONS GÉNÉRALES

### 6.2. CHRONOLOGIE DES ÉVÉNEMENTS

## 5 - CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Jusqu'à présent, malgré le développement des méthodes radiométriques nous possédions très peu de données dans la zone externe des Alpes occidentales. Nous nous étions donc fixé comme but d'effectuer un certain nombre de mesures radiométriques pour remédier à cette lacune et recueillir ainsi des données géochronologiques complémentaires pour retracer l'histoire géologique des massifs cristallins externes. Nous avons tout d'abord procédé à un échantillonnage systématique des amphiboles dans un secteur réduit du massif de Belledonne. Mais les renseignements donnés par ce minéral n'ayant pas été suffisants, en particulier sur l'intensité de la reprise du bâti "hercynien" par l'orogénèse alpine, une étude sur les biotites est apparue nécessaire. Nous avons alors effectué un échantillonnage systématique de ces dernières tant sur le massif de Belledonne que sur ceux des Grandes Rousses et du Pelvoux. Parallèlement une étude radiométrique Rb/Sr sur RT (plus de 50) a été effectuée sur plusieurs granites de ces massifs.

### 6.1. OBSERVATIONS GÉNÉRALES

L'étude radiométrique a été effectuée sur plus de 25 biotites (24 mesures K/Ar et 30 mesures Rb/Sr) et sur 30 amphiboles (méthode K/Ar). La distribution cartographique des âges obtenus sur les formations cristallophylliennes et granitiques des massifs cristallins externes a abouti à la présentation des cartes d'iso-valeurs des âges Rb/Sr et K/Ar sur biotites et sur amphiboles. Elles permettent d'intégrer du point de vue géographique les données radiométriques et d'apprécier la signification réelle d'une mesure isolée. Mais ce n'est pas leur seul intérêt. Ainsi, elles mettent en évidence une hétérogénéité générale des massifs affectés par un (des) événement(s) tectono-métamorphique(s).

- Le comportement des différents massifs cristallins n'a pas été le même vis-à-vis d'un même événement. De plus, les diverses parties d'un même massif n'ont pas réagi de façon semblable : par exemple, la bordure orientale du Pelvoux, proche des zones internes est très affectée par l'orogénèse alpine (75 à 52 Ma/K-Ar et 69 Ma/Rb-Sr sur des chlorites).

- Face à plusieurs événements successifs, dans l'ensemble des massifs, certaines zones sont préservées et donnent des âges calédoniens, hercyniens et/ou tardi-hercyniens. Elles permettent de retracer l'histoire anté-alpine du socle. Dans d'autres, les effets sont trop puissants et ont effacé toutes

traces d'événements antérieurs (Belledonne nord). Enfin, dans d'autres cas, on a des âges intermédiaires et il n'est pas possible de dater ni l'événement alpin, ni l'événement antérieur hercynien ou calédonien (Belledonne sud, Pelvoux).

De plus, si l'on considère un même massif, les mesures sur un même minéral montrent qu'il y a un comportement hétérogène des roches. Le fait que dans les massifs cristallins on puisse obtenir à la fois des âges calédoniens, hercyniens et alpins, c'est-à-dire que les événements les plus récents n'aient pas totalement oblitéré les âges anciens, peut se concevoir par un comportement différent des roches vis-à-vis des systèmes argon et strontium face à un événement tectonométamorphique. Ainsi, dans le massif de Belledonne (galerie Arc-Isère) pour le granite des Sept-Laux et son encaissant proche, les relations entre ces différents types de roches et les âges obtenus sont démonstratives : granite (80-77 Ma/Rb-Sr), gneiss (125-135 Ma/Rb-Sr) enclave (175 Ma/Rb-Sr sur biotites).

Compte tenu de ces diverses observations, on conçoit les difficultés d'interprétations des âges sur minéraux. Une seule mesure ne peut pas être significative. Ainsi, plusieurs amphiboles du groupe de Saint-Rémy ont été nécessaires pour s'affranchir d'un excès variable d'argon 40 ( $0 \text{ à } 7,2 \times 10^{-6}$  cc. TPN/g d'échantillon) et nous permettre de définir la phase du métamorphisme principal dans le massif de Belledonne ( $323 \pm 18$  Ma/K-Ar).

En outre, cette étude montre que le problème majeur est un contrôle général des massifs cristallins par la tectonique. Le rôle de cette dernière, surtout lorsqu'elle s'accompagne de mylonitisation, a été important. Les accidents majeurs, comme le "synclinal" médian de Belledonne ou l'accident de la Meije, induisent des variations sur les âges isotopiques (surtout par l'ouverture des minéraux à l'égard du système argon) avec ou non une modification des biotites (chlorites).

#### - Zone d'influence des accidents et leur datation

Les grands accidents qui découpent le socle en une mosaïque de blocs ont une "zone d'influence" qui dans certains cas (Meije) peut se chiffrer à plusieurs kilomètres. Elle peut être appréciée par la lecture de la carte de discordance des âges obtenus sur biotites entre les méthodes couplées Rb/Sr et K/Ar.

Ces accidents majeurs du socle ont joué à diverses reprises et selon des intensités variables lors des divers épisodes tectoniques alpins. Il n'est pas toujours possible de préciser l'âge de ces derniers. Seuls des ordres de grandeur peuvent actuellement être fournis : 130 à 80 Ma pour l'accident de la Meije, 120 à 80 Ma pour l'accident médian par exemple.

#### - Problème de la chloritisation

La plupart des pétrographes considèrent que les diverses altérations observées dans les formations cristallines sont liées au métamorphisme alpin (s.l.) En particulier la chloritisation des biotites est considérée comme un phénomène rétro-morphique alpin. Ce n'est pas toujours le cas comme le montre cette étude qui a permis de mettre en évidence trois chloritisations d'âges différents.

#### - Chloritisation tardihercynienne

Les datations effectuées sur les biotites fraîches du granite du Rochail (330 Ma) sont pratiquement identiques à celle de la mise en place de ce dernier ( $331 \pm 30$  Ma). Celles obtenues sur les biotites chloritisées ( $285 \pm 6$  Ma/Rb-Sr et  $293 \pm 13$  Ma/K-Ar) sont du même ordre de grandeur.

L'altération des biotites n'est pas "alpine", mais tardi-hercynienne. Elle est due dans ce cas à des phénomènes deutéritiques tardimagmatiques. Ce point avait d'ailleurs déjà été mis en évidence par BONHOMME et al. (1963).

De la sorte on peut avancer que, dans ce secteur, l'influence du métamorphisme alpin est pratiquement nulle.

#### - Chloritisation d'âge Crétacé supérieur

Sous l'accident de la Meije l'âge K-Ar de  $130 \pm 8$  Ma a été obtenu sur de véritables chlorites. Or quand on s'éloigne de cet accident, à plus de 5 km, les biotites ne sont pratiquement plus chloritisées et les âges K-Ar sont franchement hercyniens. Il nous semble donc que cette transformation minéralogique et les variations d'âges apparents sont essentiellement la conséquence de l'accident.

Dans d'autres cas, il n'est pas impossible que des circulations de fluides plus importantes, liées à des accidents aient joué un rôle dans cette altération et dans le rajeunissement de ces chlorites (bordure orientale du Pelvoux).

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS OBTENUS : Chronologie des événements.

Evénement	massifs cristallins externes de		PELVOUX
	BELLEDONNE	GRANDES-ROUSSES	
Evénements alpins			
Surrection des massifs cristallins	phase néo-alpine 15,4 +/- 1,2 Ma / K-Ar sur phengite	?	?
Métamorphisme faible, Influence des accidents majeurs du socle	phase méso-alpine 39 +/- 7 Ma / K-Ar à 27 +/- 5 Ma / K-Ar sur biotite	?	?
	phase éo-alpine (Crétacé sup. à Paléocène) 126 à 81 Ma / K-Ar sur biotites Rôle important du "synclinal" médian	?	Création des synclinaux liasiques Chevauchement de la Meije et de la bordure orientale du massif 130 à 52 Ma / K-Ar sur phyllites
	Ages Jurassique sup. à 152 +/- 12 Ma / K-Ar sur biotites		
Rejeu des accidents Trias (dépôt) Début du cycle alpin proprement dit	217 +/- 11 Ma / Rb-Sr sur RT, mylonitisation des bordures du granite de la Lauzière		Ages de 226 Ma / Rb-Sr sur micas et de 222 Ma / K-Ar sans signification réelle.
Jeu ou rejeu des grands accidents du socle Evénements tardi-hercyniens à Permien	Granite de la Lauzière : 254 +/- 17 Ma / Rb-Sr sur RT Age de mise en place ou âge de reprise. Si l'âge isochrone est contestable, mise en place entre 320 et 250 Ma.	Volcanisme Stéphanien: Les "orthophyres" 288 et 285 +/- 10 Ma / Rb-Sr et K-Ar sur micas (SW du massif)	274 Ma / Rb-Sr et 264 Ma / K-Ar sur biotites
Granitisation fini-hercynienne	Granite des Sept-Laux : 322 +/- 43 Ma / Rb-Sr, RT	Granites de Roche-Noire et de La-Fare (pas d'âge isochrone) environ 300 Ma (?) Granite du Rochail : 331 +/- 31 Ma / Rb-Sr sur RT	Granites du Pelvoux : Orgières, Les Utages et Turbat : 300 Ma (SONET, 1970 in LE FORT, 1973)
Métamorphisme hercynien tardif	323 +/- 18 Ma / K-Ar sur amphiboles. Excès d'Ar fréquent et variable selon les secteurs	-	339 à 336 Ma / Rb-Sr sur muscovite et biotites 323 à 290 +/- 10 Ma / K-Ar sur les biotites des granites et gneiss
Fin d'un métamorphisme calédonien ou hercynien	370 à 400 Ma / K-Ar (?) sur amphiboles	373 +/- 30 Ma / K-Ar sur amphiboles	?
Granitisation ancienne	Saint-Colomban : environ 500 Ma / Rb-Sr sur RT	?	?

NB : cette chronologie n'est pas complète. Elle présente uniquement les résultats obtenus.

- : événement peu à pas marqué  
? : " " non connu car secteur non étudié

- Chloritisation plus tardive qui est très différente des précédentes. Il s'agit de chlorites de néoformation liées à des fissures et microfissures (voir BARBIERI, 1970). Elles sont certainement contemporaines des phases alpines récentes, méso-alpines et néo-alpines (fentes alpines) mais elles n'ont pas été datées.

## 6.2. CHRONOLOGIE DES ÉVÉNEMENTS

Compte-tenu de toutes ces difficultés, nous avons pu préciser la chronologie des différents événements anté-alpin et alpins ayant affecté les massifs cristallins de la zone delphino-helvétique.

### (1) Les événements pré-hercyniens

Dans le massif de Belledonne, l'âge le plus ancien obtenu, 500 Ma / Rb-Sr sur RT, qui concerne le granite de Saint-Colomban doit être avancé avec une extrême prudence.

Des mesures complémentaires sur ce granite sont nécessaires pour en apprécier la validité, mais il est certain que leur interprétation sera rendue délicate du fait des influences tardi-hercyniennes et alpines.

Les traces d'un événement métamorphique ancien (âges de 370 à 400 Ma / K-Ar sur amphiboles) dans les formations du groupe de St Rémy sont incertaines. Il serait judicieux d'effectuer des mesures à l'argon sur les amphiboles des épaisses formations basiques du SW de Belledonne. Par leur chimisme et leur texture homogène, elles paraissent en effet constituer un milieu favorable, relativement réfractaire aux réouvertures des minéraux. En outre, elles occupent une position externe dans le massif de Belledonne qui est certainement moins affectée par les événements postérieurs.

Par contre, dans le massif des Grandes Rousses et le NW du Pelvoux, les amphiboles des séries métamorphiques permettent de mettre en évidence une phase hercynienne précoce, acadienne, à 373 +/- 30 Ma / K-Ar, qui correspond au métamorphisme principal ayant affecté cette région. Il faut noter, en ce qui concerne les schistes d'Huez-Vaujany, que c'est très certainement en raison d'une part de leur hétérogénéité, d'autre part de métamorphismes postérieurs peu importants que l'on a pu retrouver des restes d'organismes (Reitlingéréllides) qui ont permis de dater leur dépôt du Cambrien.

Dans le massif du Pelvoux, il existe certainement des traces d'événement ancien (gneiss ocellé de Crupillouse par exemple) mais nous n'avons pas effectué de mesures.

### (2) L'orogénèse hercynienne

Elle est bien marquée dans le massif de Belledonne. L'âge de  $323 \pm 18$  Ma/K-Ar sur amphiboles (phase sudète), donné par les formations basiques du groupe de Saint-Rémy, date le métamorphisme principal hercynien tardif de cette région. Une remarque s'impose. De l'argon excédentaire a été mis en évidence dans les amphiboles. Cet excès est variable selon les différents points du massif. Les valeurs maximales ont été observées dans les formations basiques les plus externes du massif, à proximité du granite. Par contre, les niveaux amphiboliques situés à l'est, présentent peu ou pas d'argon excédentaire. Il peut s'agir pro-parte d'un argon acquis lors du dégazage du vieux socle pendant le métamorphisme principal tardif, mais il serait nécessaire d'aborder plus en détail ce problème.

Dans le massif du Pelvoux, comme le montrent les cartes d'iso-valeurs des âges sur biotites, les âges caractéristiques de l'Hercynien sont situés en bordure occidentale (Chaillol, Valjouffrey, Rochail) et au centre (Goberney) du massif. Les âges suivants ont été obtenus : 339 à 319 Ma/Rb-Sr sur muscovites, 336 à 302 Ma/Rb-Sr sur biotites, 323 à 290 Ma/K-Ar sur biotites, pour les minéraux des granites et des gneiss. Il n'a pas été effectué de mesures sur amphiboles.

### (3) La granitisation fini-hercynienne

Elle est importante. L'âge de mise en place de quelques granites est précisé. Ainsi, celui du granite du Rochail, au nord-ouest du Pelvoux est-il de  $331 \pm 31$  Ma/Rb-Sr sur RT. Cette granitisation hercynienne tardive a partiellement épargné la roche hôte. Cet événement essentiellement thermique provoque des ouvertures partielles des amphiboles vis-à-vis de l'argon, en fonction de l'environnement lithologique. Sa zone d'influence correspond approximativement à la partie la plus orientale des schistes d'Huez. Quant à l'âge de l'intrusion du granite des Sept-Laux, il est de  $322 \pm 43$  Ma/Rb-Sr sur RT.

### (4) Les événements tardi-hercyniens à permien

Ils sont nettement perceptibles dans l'ensemble des massifs cristallins. Tout d'abord on sait que le Westphalien C et le Stéphanien ont été pincés en "synclinaux" le long d'accidents avant le Permien. Ensuite, dans la partie nord-ouest du Pelvoux on a des âges sur les biotites des gneiss et des granites de  $288 \pm 10$  Ma/Rb-Sr et de  $286 \pm 10$  Ma/K-Ar. Ils sont équivalents à ceux trouvés sur les amphiboles dans la partie sud-est du massif de Belledonne. Dans ce secteur, proche de l'accident du Col du Glandon, on a des âges sur amphiboles de  $288 \pm 10$  Ma/K-Ar (phase asturienne).

Le nord-est du massif des Grandes Rousses est lui aussi intensément affecté par des événements tectoniques intenses tardi-hercynien :  $284 \pm 12$  Ma/K-Ar et  $265 \pm 8$  Ma/Rb-Sr sur biotites. La déformation des granites de Roche-Noire et de La-Fare, pour lesquels il n'a pas été possible de déterminer l'âge de mise en place, est significative de cette tectonique.

Le granite de la Lauzière dans le massif de Belledonne est peu déformé en son centre. L'âge isochrone de  $254 \pm 17$  Ma/Rb-Sr sur RT est discutable. Nous pensons qu'il s'agit d'un âge de reprise lors de cette phase tardi-hercynienne. L'âge de  $217 \pm 11$  Ma/Rb-Sr sur RT des échantillons proches de la bordure du granite, est sans doute en relation avec le rejeu de la Faille de Fond-de-France et de ses satellites.

### (5) L'orogénèse alpine

Pendant le cycle alpin, la reprise du bâti s'est faite de façon très inégale selon les époques considérées mais aussi selon la position de chaque massif dans la chaîne alpine. Et, dans un contexte de métamorphisme faible l'influence des accidents majeurs du socle est déterminante.

#### a) Phases alpines précoces

Tout d'abord nous devons signaler les âges du Jurassique supérieur obtenus dans le massif de Belledonne sur plusieurs biotites :  $152 \pm 12$  Ma/K-Ar (moyenne de 8 échantillons). Leur signification actuelle n'est pas précisée et ils sont considérés comme des âges intermédiaires. Le nombre et le groupement de ces âges n'est sans doute pas fortuit.

Au Crétacé supérieur et dans les zones externes, se produisent les plissements transverses du domaine vocontien ; les plis est-ouest bien visibles en Diois et Dévoluy sont associés à une émergence presque générale des chaînes subalpines du Nord. Le massif de l'Argentera est affecté d'un

soulèvement (âges de  $76 \pm 2$  et  $82 \pm 3$  Ma sur zircons/traces de fission, BOGDANOFF et CARPENA, 1982). Dans les autres massifs cristallins externes (Belledonne, Pelvoux) cette phase éo-alpine est bien marquée. Ils sont au moins localement affectés par un écaillage du socle. L'influence des accidents majeurs est plus ou moins bien marquée en certains endroits.

- Dans le massif du Pelvoux, l'influence de l'accident de la Meije se fait sentir uniquement sur les âges K-Ar des phyllites qui sont rajeunies. Il y a une augmentation de la discordance entre les deux méthodes Rb-Sr et K-Ar à l'approche de cet accident. Une chloritisation lui est associée et la limite maximale ou front de chloritisation est décelable. L'âge de cet accident n'est pas fixé mais probablement compris entre 130 et 80 Ma. Il est en tout cas anténummulitique. Les rejeux tardifs sont de moindre importance et les effets sont plus localisés.

- La bordure orientale du Massif du Pelvoux est une zone particulièrement affectée par l'Alpin. Les accidents chevauchants modifient les âges de Rb-Sr et K-Ar. Les âges minimaux observés de 69 Ma/Rb-Sr est de 75 et 52 Ma/K-Ar sur chlorites (moyenne de 65 Ma), semblent démontrer que la tectonique anté-nummulitique, mise en évidence de longue date, et dont le rôle a été souvent minimisé dans le socle, a été plus importante que la tectonique post-nummulitique.

- Dans le massif de Belledonne, l'accident ou "synclinal" médian, linéairement majeur ancien, a joué périodiquement durant le cycle alpin et a eu un rôle important. Dans le rameau interne du massif, au niveau de la vallée de la Maurienne, il est en grande partie responsable de la variation des âges apparents sur minéraux : il provoque un rajeunissement général et graduel des âges Rb-Sr et K-Ar des minéraux quand on s'en approche.

L'intensité du rejeu de cet accident et d'autres tels que ceux de Fond de France, col du Glandon, Belle-Etoile est maximale pendant les phases alpines précoces (crétacé supérieur à Paléocène) et moindre pour la plupart des accidents, lors des phases plus récentes.

Ainsi, comme en témoigne un grand nombre de mesures radiométriques, une phase éo-alpine est certaine, mais elle mériterait d'être précisée. Les âges

\* BOGDANOFF S. et CARPENA J. (1982) : Premiers âges traces de fission sur le couple Apatite-Zircon dans le NW de l'Argentera-Mercantour (Alpes Maritimes) 9è R.A.S.T. Paris.

de  $126 \pm 5$  Ma/K-Ar sur biotites et de  $86 \pm 16$  Ma/K-Ar sur biotites dans le massif de Belledonne sont comparables avec les données de J. BOCQUET et al. (1974) et J.C. HUNZIKER (1974). Signalons que les mesures d'une phlogopite verte dans la dolomie triasique à Combe de Champ, près de Vizille, ont donné des âges K-Ar de  $103 \pm 4$  Ma et Rb-Sr de 85 ou  $90 \pm 4$  Ma (BOCQUET et al., 1974).

#### b) Phase méso-alpine

Après cette phase précoce intense (tectonique anténummulitique) il est difficile, compte tenu du peu de données que nous avons, de définir des phases distinctes. Toutefois dans le massif de Belledonne, nous pouvons rattacher les âges à  $39 \pm 7$  Ma/K-Ar sur les minéraux du granite des Sept-Laux (Belledonne sud) et de 42 à  $27 \pm 5$  Ma/K-Ar sur biotite, à une étape méso-alpine peu marquée (Eocène-Oligocène). Les âges obtenus ne sont pas surprenants. En effet la méthode K-Ar a donné un âge éocène moyen ( $41 \pm 1$  Ma) pour un microcline du Mont-Blanc (KRUMMENACHER et EVERNDEN, 1960). Datées par la méthode Rb-Sr, des biotites de la partie italienne du tunnel du Mont-Blanc ont donné des âges allant de 18 à 36 Ma, Oligocène-Miocène (BAGGIO et al. 1967). En d'autres termes cela signifie que le Massif de Belledonne tout comme le Massif du Mont-Blanc a été affecté dans l'orogénèse alpine, essentiellement lors des reprises par les grands accidents. Les âges trouvés sont du même ordre de grandeur que ceux affectés sur les granites centraux du massif de l'Aar (WUTHRICH N., 1965 ; JAGER E., 1962, 1965 ; JAGER et NIGGLI, 1967).

Les âges sur biotite les plus jeunes ont été trouvés dans la partie occidentale des massifs de l'Aar et du Gothard, et en partie dans les nappes Penniques. Dans la région où règne un métamorphisme alpin de haut degré, les âges sur biotites varient de 11 à 25 Ma. L'âge de la dernière phase métamorphique est au moins deux fois plus élevé que celui des biotites les plus jeunes. Les âges sur muscovite sont plus grands (différence 8 Ma) que ceux des biotites (JAGER, 1965).

#### c) Phase néo-alpine

Dans le massif de Belledonne, la phase néo-alpine très nette à  $15,4 \pm 1,2$  Ma/K-Ar sur phengite (Miocène moyen), correspond à la surrection des massifs cristallins, et représente l'événement le plus récent décelable dans cette partie des Alpes Occidentales.

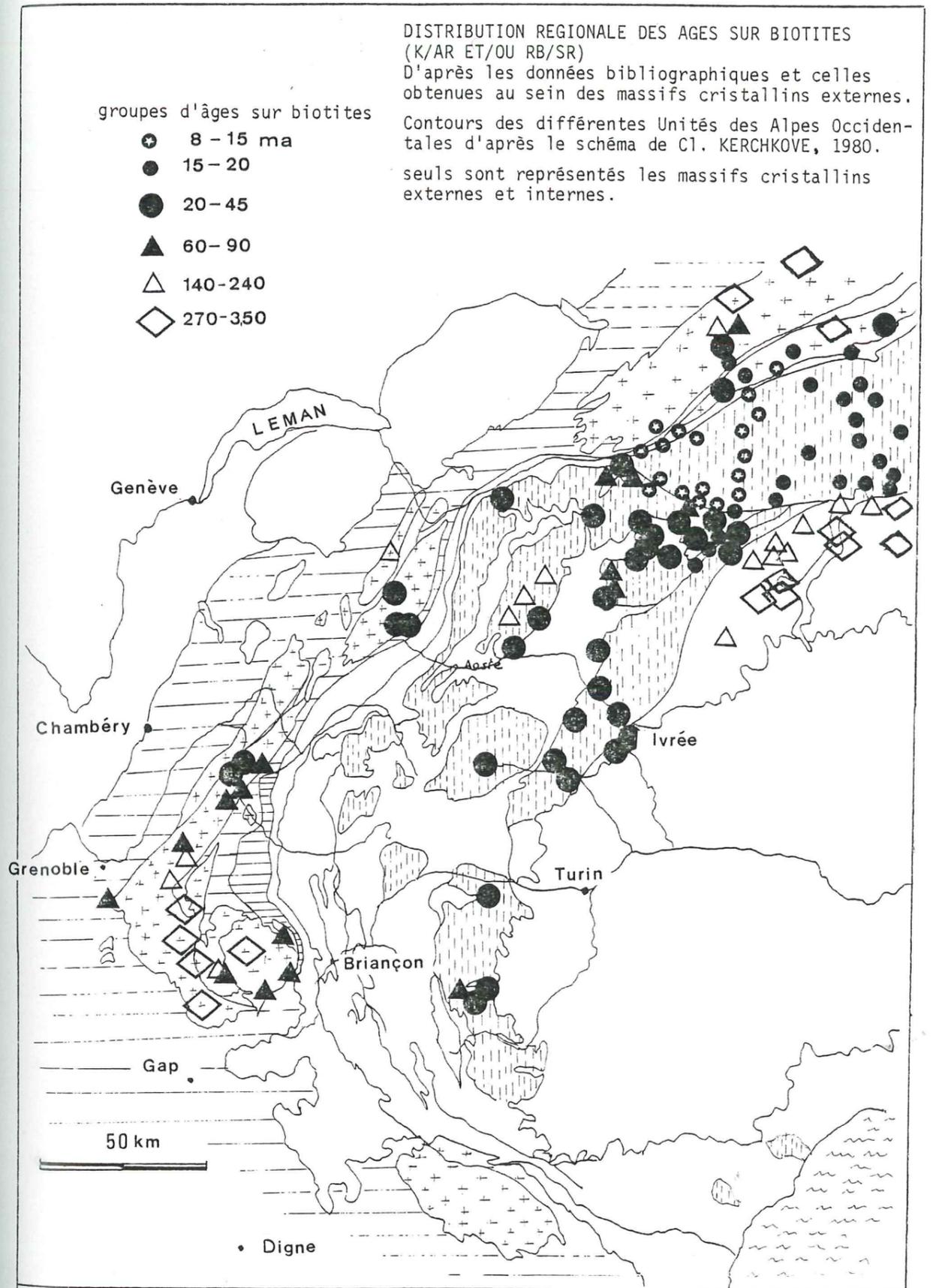
IN FINE

Les quelques données radiométriques que nous apportons et plus particulièrement les âges Rb/Sr et K/Ar sur minéraux, sont complémentaires des résultats antérieurs. Ils confirment notamment le même comportement hétérogène des différents massifs cristallins externes (de l'Aar-Gotthard jusqu'au Pelvoux).

Comme le montre cette dernière carte, le nombre et la dispersion des données sur minéraux (par exemple les biotites) permet déjà d'avoir une idée générale du comportement des différentes unités de la chaîne.

Cette étude mérite d'être complétée et, elle devrait constituer l'ébauche d'un travail plus exhaustif portant sur l'ensemble des Alpes Occidentales.

-----



## ANNEXE I

## TECHNIQUE DE LA DÉTERMINATION DES AGES PAR LA METHODE A L'ARGON

1. PRELEVEMENT ET PREPARATION DES ECHANTILLONS
2. DOSAGE DU POTASSIUM
3. DOSAGE DE L'ARGON RADIOGENIQUE
4. CALCUL DE L'AGE
5. LES CONSTANTES UTILISEES

Dans cette annexe sont brièvement décrits et rappelés : la méthode de préparation des échantillons, la technique du dosage du potassium, la technique d'extraction et de dosage de l'argon radiogénique, le calcul de l'âge et celui de l'erreur dont il est affecté.

## I - PRÉLÈVEMENT ET PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons prélevés sont frais et dépourvus d'altération. Un examen de lames minces est effectué.

Les mesures en roche totale sont faites sur une fraction de la roche broyée, tamisée et lavée. Nous utilisons généralement la fraction 0,315 - 0,400 mm. Une partie destinée au dosage du potassium est broyée plus finement.

La préparation des concentrés des minéraux (hornblende, micas, feldspaths) se fait par les méthodes classiques ; liqueurs denses, séparateur magnétique Frantz. La pureté obtenue est toujours supérieure à 97 %. Les fractions analysées sont : 0,125 - 0,160 mm (AFNOR).

## II - DOSAGE DU POTASSIUM

Suivant les échantillons, le dosage est effectué par spectrophotométrie d'adsorption atomique (sur appareil type PERKIN ELMER, 303 à Clermont-Ferrand.) Quelques dosages ont été effectués par fluorescence X à l'Institut Dolomieu spectromètre CGR Alpha 2020 automatique, type Rh).

## III - DOSAGE DE L'ARGON RADIOGÉNIQUE

Les différentes méthodes et techniques ont été décrites de nombreuses fois. Pour avoir un aperçu complet sur cette question se référer à SCHAEFFER A.O. et ZHRINGER J. (1966), DALRYMPLE G.B. et al. (1969).

Nous décrivons ici sommairement la technique que nous avons utilisée au laboratoire de l'Institut Dolomieu à Grenoble.

### III.a) Extraction et purification de l'argon

Le schéma de principe de la rampe d'extraction et de purification, mise en oeuvre durant l'année 1980, est donné sur la figure ci-après.

Cette installation, de volume réduit, est entièrement étuvable. Elle est constituée de verre pyrex soudé. Le pompage est assuré par une pompe à palettes (type Edwards, ED50) et une pompe à diffusion d'huile (type Diffstak, Edwards). La pression lors de l'isolement du pompage est de l'ordre de  $1 \times 10^{-7}$  à  $5 \times 10^{-8}$  torr (1 torr = 1,3332 millibar = 133,332 Pascal =  $1,3158 \times 10^{-3}$  atmosph.).

La fusion (1100-1600°C) est réalisée dans un creuset en molybdène chauffé par induction au moyen d'un générateur HF. Ce creuset est placé dans un four en quartz, refroidi par une circulation d'eau. Le poids d'échantillon fondu varie, suivant les cas, de 100 à 200 mg.

La purification des gaz se fait par l'action d'un piège à mousse de titane (chauffé à 850°C puis refroidi à 350°C), d'un piège à Cu et CuO (chauffé à 450°C), d'un piège à azote liquide et d'un piège Al-Zr ("getters" SAES type AP 10 GP) : la récupération des gaz se fait classiquement sur charbons actifs

à la température de l'azote liquide. Il y a une possibilité de stockage des échantillons.

### III.b) Utilisation et calibration du traceur $^{38}\text{Ar}$

Les gaz extraits de l'échantillon sont ensuite mélangés avec le traceur  $^{38}\text{Ar}$  au niveau d'une rampe d'introduction (voir la figure ) avant les mesures au spectromètre de masse. En effet, la méthode de dilution isotopique, nécessite l'addition, à chaque échantillon, d'une quantité connue avec précision d'un gaz étalon de composition isotopique différente de celle d'un élément naturel. Le traceur argon utilisé provient de SCHUMAKER, Berne. C'est de l'argon fortement enrichi en isotope  $^{38}$  (pureté de 99,9997 %).

Nous utilisons le système du ballon réservoir et du petit volume jaugé ou pipette Heidelberg ("bulb system") pour préparer les doses individuelles nécessaires pour chacun de nos échantillons. Pour les détails concernant cette technique voir : LANPHERE M.A., DALRYMPLE G.R. (1966) ; BIERI R.H. et KOIDE (1967).

La calibration du traceur  $^{38}\text{Ar}$  se fait par comparaison avec un minéral de volume d'argon radiogénique connu (minéraux étalons) : cette valeur d'argon  $^{40}$  radiogénique est utilisée pour calculer la quantité d'argon  $^{38}$  donnée par le système du petit volume jaugé. Des manipulations de contrôle sont donc fréquemment effectuées sur les minéraux étalons intra ou interlaboratoires suivants : glauconite G1-0 ; Muscovite de Berne, Ms 4B ; phonolite du Mont-Mezenc (Velay) Mz.

### III.c) Analyse au spectromètre de masse

Nous avons utilisé un spectromètre de masse, type Micromass 603 : rayon de courbure 6,2 cm et  $90^\circ$  de déflexion magnétique. Tension d'accélération 3 KV ; émission : énergie d'électron 70 volts courant de trap 100  $\mu\text{A}$  ; repousseur d'ion à 69 volts, collecteur d'ions : multiplicateur d'électron à 17 étages de dynode Be Cu, gain  $10^4$  à 2 KV. Pouvoir de résolution de 76 sur la masse 40.

Toutes nos mesures ont été effectuées en régime statique. Le schéma à la figure A montre la disposition des groupes de pompage et le système d'introduction de l'échantillon spike.

Pour davantage de détails concernant les spectromètres de masse se reporter à NIER (1947) , DUCKWORTH (1960), HINTENBERGER (1962), FARRAR et coll. (1964) , KISER (1965) et REX (1970).

Avec la méthode de dilution isotopique, le spectromètre de masse nous permet de mesurer des rapports isotopiques du mélange formé (spike+échantillon). Et, connaissant la composition isotopique de l'argon atmosphérique et de l'étalon, il nous permet de déterminer la quantité d'argon radiogénique ( $^{40}\text{Ar}$  radiogénique) extrait de l'échantillon. L'argon analysé est constitué des 3 isotopes  $^{40}$ ,  $^{38}$  et  $^{36}$ . Sur le spectre enregistré on mesure les hauteurs des trois pics,  $^{40}\text{H}$ ,  $^{38}\text{H}$  et  $^{36}\text{H}$ , proportionnelles aux quantités des différents isotopes du gaz. On en déduit les rapports  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  et  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ . Plusieurs corrections sont effectuées sur ces rapports bruts mesurés.

- une correction due au multiplicateur d'électron
- une correction pour l'enregistrement statique : lors de l'enregistrement, on observe souvent une variation régulière de la hauteur des pics, en raison de l'absorption fractionnée par la paroi du spectromètre. Pour effectuer cette correction, on trace la variation de hauteur des pics dans le temps et on extrapole la valeur au temps de l'introduction ( $t=0$ ) du gaz dans le spectromètre de masse.

- une correction due au fractionnement ("discrimination correction") doit être déterminée périodiquement. Le rapport  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  de l'air atmosphérique mesuré au spectromètre de masse est comparé au  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  théorique

de l'air, égal à 295,5 (NIER, 1950). Après ces corrections, la teneur en argon  $^{40}$  radiogénique de l'échantillon est déduite et il est possible de calculer l'âge.

## IV - CALCUL DE L'ÂGE

En utilisant les constantes recommandées par STEIGER et JAGER (1977) l'équation pour le calcul de l'âge est la suivante :

$$t = 1,804 \times 10^9 \ln \left( 1 + 9,541 \frac{^{40}\text{Ar rad}}{^{40}\text{K}} \right) \text{ ans}$$

où  $^{40}\text{Ar}$  radiogénique et  $^{40}\text{K}$  sont exprimés en mole. A l'Institut Dolomieu, l' $^{40}\text{Ar}$  est exprimé en  $10^{-6}$  cc TPN/g et  $^{40}\text{K}$  en  $\% \text{K}_2\text{O}$ . La formule devient

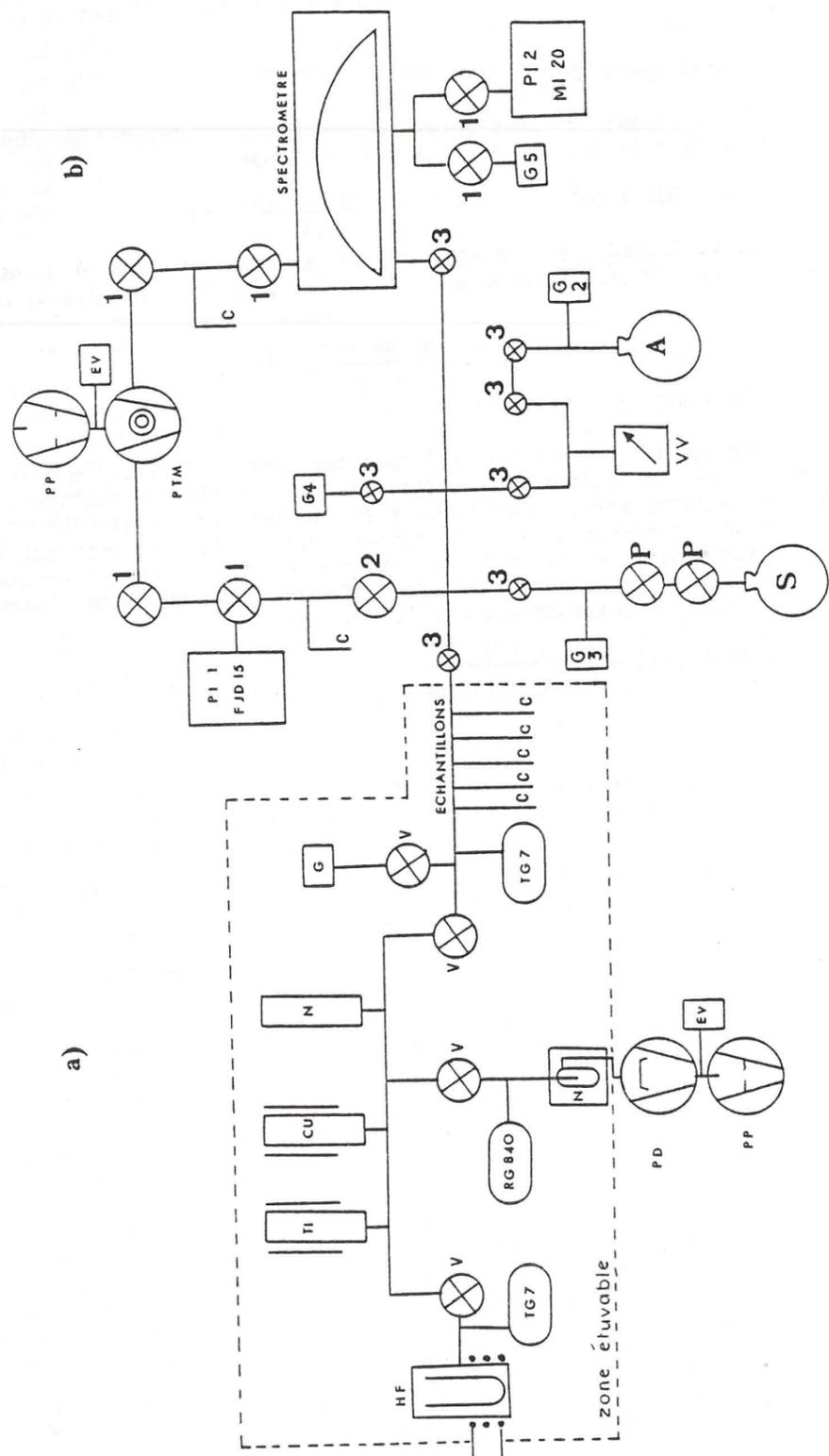
$$t = 1804 \ln \left( 1 + 0,017566 \frac{^{40}\text{Ar rad}}{\text{K } 20} \right) \text{ Ma}$$

(Ma = million d'années)

Cet âge dit "conventionnel" se situe dans un intervalle d'erreur donné, dépendant, en particulier de la façon dont sont dosés les isotopes. Une estimation de cette erreur analytique a été donnée par COX et DALRYMPLE (1967). En pratique une erreur de 4 % est donnée pour une faible contribution de l'argon atmosphérique (si le % radiogénique = 100 %, l'erreur minimale est de 4 %). Lorsque la pollution en argon atmosphérique augmente, l'erreur augmente. La formule suivante est utilisée :

$$\text{Erreur (Ma)} = \frac{\text{age} \times 4 \%}{\% \text{ radiogénique}}$$

Fig. A  
 ligne d'extraction de l'argon  
 SCHEMA DE PRINCIPE



A. Rampe d'extraction et de purification :

- HF : four à induction (générateur Haute Fréquence pour chauffage induction type GHF. 5AP Cérés)
- PP : pompe à palette type Edwards (modèle ED50, 531/sec.)
- PD : pompe à diffusion Edwards "Diffstak" modèle 63/I5Q, I351/sec.
- EV : électro-vanne
- N : piège à azote liquide (tube en U)  $t^{\circ} -190^{\circ}\text{C}$
- G : getters Al-Zr (type AP-IOGP, SAES)
- Cu : four à Cu-CuO (mélange I/I). A  $t^{\circ} 450-550^{\circ}\text{C}$ , l' $\text{H}_2$  et l' $\text{O}_2$  réagissent pour former de l'eau :  
 $\text{CuO} + \text{H}_2 = \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$   
 $\text{CuO oxyde CO en CO}_2 \quad \text{Cu} + \text{I}/2\text{O}_2 = \text{CuO}$   
 $\text{H}_2 + \text{I}/2 \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$  qui est pris par le piège N
- Ti : four à mousse de titane (très universel). IL réagit pratiquement avec tous les gaz non rares présents ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ )  
 $t^{\circ} 850^{\circ}\text{C}$  pendant une heure, et après réaction la  $t^{\circ}$  est diminuée à  $350^{\circ}\text{C}$  -  $450^{\circ}\text{C}$  (à cette  $t^{\circ}$  l' $\text{H}_2$  réagit avec le titane)
- V : vannes de type UHV Balzers (UV - 8H) qui supportent  $450^{\circ}\text{C}$  et ont une conductance de 0,51/sec
- RG 840 : jauge à ionisation (Veeco inst. modèle RG 840)
- TG 7 : jauge à thermocouple (Veeco Inst. modèle TG 7)
- l'ensemble est étuvable (environ  $200^{\circ}\text{C}$ , le charbon à  $350^{\circ}\text{C}$ )

B. Système d'introduction de l'argon pour la mesure au spectromètre de masse :

- PP : pompe à palette type Leybolt Heraus, modèle D4/A
- EV : électro-vanne
- TMP : pompe turbomoléculaire, Turbotronik NT I20, Leybolt
- PI 1 : pompe ionique FJD I5 Ferranti, type diode (I5 l/sec.)
- PI 2 : " " MI 20, type triode (20 l/sec.)
- G(I/4) getters Al-Zr (AP IO-GP)
- G 5 : getter Al-Zr Sorbac
- C : charbon actif
- I : vannes VG Instr. type CR 38 (étuvables à  $450^{\circ}\text{C}$ , conductance 3 l/sec)
- 2 : " " CRT 38
- 3 : " " CR 97
- P-P : pipette Heidelberg (volume jaugé)
- S : ballon réservoir du spike (étalon)
- A : réserve d'air
- VV : volume variable

Teneurs moyennes en Potassium (% de masse) :  
 . Pour les principaux types de roches et pour la lithosphère

lithosphère	2.5	sch. sédimentaire	2.9
granite	4.5	Roches magmatiques	2.6
diorite	1.1	Roches sédimentaire	2.4
gabbro	0.45	Grès	1.1
péridotite	0.20	Roches calcaires	0.25
pyroxénite	0.15		

. Pour les minéraux

Leucite	15 à 17	Muscovite	6.5 à 10
Néphéline	2.5 à 8	Biotite	5.5 à 8
Feldspath K	8 à 10	Glauconie	3 à 6
Plagio. acide	.10 à 1.5	Amphiboles	.1 à .8
Plagio. basique	.05 à .5	Pyroxènes	inf. à .1
		Chlorites	.01 à .25

En 1976, la sous commission I.U.G.S. de Géochronologie a proposé d'utiliser de nouvelles constantes de désintégration et rapports isotopiques. La compilation a été effectuée par STEIGER R.H. et JAGER E. (1977). Nous indiquons aussi les anciennes constantes proposées par WETHERILL G.W. (1966). Pour la conversion des âges K/Ar obtenus d'après les anciennes constantes en âge K/Ar avec les nouvelles constantes, se reporter aux tables de conversion de DALRYMPLE G.B. (1979).

Constantes de désintégration :

	nouvelles constantes	anciennes constantes
$\lambda_{40K}$	$5.543 \times 10^{-10}/\text{an}$	$5.305 \times 10^{-10}/\text{an}$
$\lambda_{40K^e} + \lambda_{40K^{\beta^-}}$	$0.581 \times 10^{-10}/\text{an}$	$0.585 \times 10^{-10}/\text{an}$
$\lambda_{40K^{\beta^-}}$	$4.962 \times 10^{-10}/\text{an}$	$4.72 \times 10^{-10}/\text{an}$
temps de 1/2 vie	$1.2505 \times 10^9 \text{ ans}$	$1.31 \times 10^9 \text{ ans}$
"branching ratio" $R = \lambda_e / \lambda_{\beta^-}$	0.11709	0.124

Masses atomiques et abondances isotopiques (en atome %) :

élément	masse atomique	abondance isotopique (atome %)	
		nouvelles valeurs	anciennes valeurs
39K	38.964	93.2581	93.08
40K	39.975	0.01167	0.0119
41K	40.962	6.7302	6.91
K	39.967	99.99997	
40K/ Ktotal = $1.167 \times 10^{-4} \text{ mol/molK}$			
= $1.193 \times 10^{-4} \text{ g/g}$			
40Ar	39.9623	99.600	Argon atmosphérique. valeurs dérivée de NIER A.O. (1950p792)
38Ar	37.963	0.063	
36Ar	35.968	0.337	
Ar	39.948	100.000	

40/36 atmosphérique = 295.5

40/38 = 1581

38/36 = 0.1869

36/38 = 5.35

Composition de l'air :		He 6 ppm	
N2	78.084 %	Ne	18
O2	20.946	Hé	0.5
CO2	0.030	Kr	1.14
Ar	0.934	Xe	0.08

## ANNEXE II

## TECHNIQUE UTILISÉE POUR LA DÉTERMINATION DES ÂGES PAR LA MÉTHODE AU STRONTIUM

1. PRELEVEMENT ET PREPARATION DES ECHANTILLONS
2. PREPARATION ET CONTROLE DES SOLUTIONS ETALONS
3. DILUTION ISOTOPIQUE. EXTRACTION DU Rb et du Sr
4. SPECTROMETRIE DE MASSE
5. LES CALCULS
6. LES CONSTANTES UTILISEES

## I - PRÉLÈVEMENT ET PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Prélèvement de façon à obtenir des échantillons sains, dépourvus de trace d'altération, suffisamment conséquents (5-10 kg) et homogènes.

Pour l'échantillon de roche totale, le broyage s'effectue dans des broyeurs à mâchoires. Après quartage, la partie représentative obtenue est passée dans un broyeur à agate (poudre inférieure à  $40\mu$ ).

Les minéraux sont extraits par les méthodes classiques (voir annexe 1).

Un prédosage du Rb et du Sr (par absorption atomique) permet de sélectionner les échantillons d'une même formation dont les rapports Rb/Sr sont les plus distincts et différents possible comme il est nécessaire à la bonne définition d'une éventuelle isochrone.

## II - PRÉPARATION ET CONTRÔLE DES SOLUTIONS ÉTALONS

La détermination des teneurs en Rb et Sr par spectrométrie de masse nécessite l'utilisation de la dilution isotopique. Cette méthode consiste à ajouter une quantité connue d'étalon à une quantité connue d'échantillon. Les étalons utilisés (spike) sont des solutions de Rb ou de Sr de composition isotopique anormale. La solution étalon de Rb s'effectue à partir de Cl Rb enrichi en Rb 87 (fournie par Oak Ridge, USA, lot PP. 190101) dont la composition isotopique est de 87 Rb = 98,05 %, 85 Rb = 1,95 %

La solution étalon de Sr se fait à partir d'un sel  $(NO_3)_2$  Sr enrichi en 84 Sr (fourni par Oak Ridge, série R et D n° 000102) dont la composition isotopique est de 84 Sr = 99,783 %, 86 Sr = 0,109 % ; 87 Sr = 0,019 % ; 88 Sr = 0,088 % .

La solution étalon utilisée actuellement au laboratoire de Clermont-Ferrand contient à la fois Sr 84 et Rb 87, ce qui permet de doser le Rb et le Sr en faisant une seule dilution (solution étalon à  $3\mu\text{g/ml}$  pour le Rb et  $0,4\mu\text{g/ml}$  pour le Sr). Les concentrations exactes de cette solution étalon en Rb et Sr sont déterminées par spectrométrie de masse au moyen de solutions standards de Rb et de Sr normaux dont les concentrations sont connues avec précision. Pour plus de détail voir BERNARD-GRIFFITHS 1975, (p. 221-231), DUTHOU 1977 (p. 265-270).

## III - DILUTION ISOTOPIQUE. EXTRACTION DU RB ET DU SR

Le Rb et le Sr sont extraits après attaque des échantillons par un mélange d'acide perchlorique et d'acide ferrohydrique en capsule de platine. L'étalon est ajouté après évaporation à sec.

Le Rb est extrait par précipitation des perchlorates alcalins à froid. Le Sr est séparé sur colonne de résines échangeuses d'ions par élution fractionnée.

## IV - SPECTROMÉTRIE DE MASSE

L'appareil utilisé au cours de ce travail est un spectromètre de masse C.S.F. type SM 400 S : rayon de courbure de 22 cm, électroaimant à angle de  $90^\circ$ . Source pour solide avec simple filament.

Les filaments utilisés sont pour le Rb et le Sr un simple filament de Tantale qui est dégazé et oxydé avant emploi.

Les spectres pour le Rb et le Sr sont enregistrés par balayage symétrique (variations instantanées du champ magnétique). Pour les enregistrements

un voltmètre digital permet de mesurer directement l'intensité de chaque pic avec une erreur 2 à 3 fois plus faible que les mesures à la règle.

#### V - LES CALCULS

Tous les calculs sont effectués sur ordinateur Wang, type 700, sont calculés :

- les rapports  $^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb}$  et  $^{86}\text{Sr}/^{84}\text{Sr}$  ;  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ;  $^{88}\text{Sr}/^{84}\text{Sr}$  . Les rapports dont la valeur s'écarte de plus de 2 fois l'écart-type de la moyenne sont éliminés.
- . on calcule ensuite les teneurs en ppm en Rb et en Sr.
- . calcul du rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  normalisé à  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,1194$
- . calcul du pourcentage de Sr radiogénique conventionnel dans le Sr moderne
- . calcul d'un âge conventionnel s'il s'agit d'un milieu riche (les micas). On admet que le Sr primaire du milieu était de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,712$
- . calcul de l'âge par l'isochrone

Selon la méthode des moindres carrés. Le calcul et sa discussion sont donnés par YORK (1966).

A ce calcul est ajouté le calcul de l'indice des déviations pondérées de Mc INTYRE et al. (1966) appelé M.S.W.D. ("Mean Square weight deviation").

#### VI - CONSTANTES UTILISÉES

Méthode Rb-Sr : valeurs utilisées et recommandées par E. JAGER, Sydney 1976

##### Rubidium (CATANZARO et al, 1969)

élément	masse atomique	composition isotopique
$^{85}\text{Rb}$	84.9118	72.1654 + 0.0132 %
$^{87}\text{Rb}$	86.9092	27.8346 + 0.0132

$$^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb} = 2.59265 + 0.00170$$

$$\lambda(^{87}\text{Rb}) = 1.42 \times 10^{-11} \text{ an}^{-1}$$

$$\text{période } (t_{1/2}) = 48.8 \times 10^9 \text{ ans}$$

(NEUMAN et HUSTER, 1972)

##### Strontium (Handbook, 1977-78)

élément	masse atomique	composition isotopique
$^{84}\text{Sr}$	83.9134	0.55 %
$^{86}\text{Sr}$	85.9094	9.84
$^{87}\text{Sr}$	86.9089	6.98
$^{88}\text{Sr}$	87.9056	82.63

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

$$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.056584$$

Le rapport  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  est une constante quel que soit le milieu et l'âge. Ce rapport permet de déterminer le coefficient de fractionnement du spectromètre de masse et d'effectuer les corrections pour avoir un rapport normalisé.

### ANNEXE III

#### LES BIOTITES

1. LOCALISATION ET DESCRIPTION SOMMAIRE DES ECHANTILLONS (ref. faciès et/ou ref. auteur)
2. TABLEAUX DES RESULTATS ANALYTIQUES Rb/ Sr et K/ Ar
3. ANALYSES CHIMIQUES

I. LOCALISATION ET DESCRIPTION, SOMMAIRE DES ÉCHANTILLONS  
(N° REF. BIOTITE / N° GÉOLOGUE / RÉFÉRENCE FACIÈS ET AUTEUR  
AYANT DÉFINI CE FACIÈS)

- B1(DP91) : granite du Pétarel (référence faciès in P. LE FORT, 1973, p. 216)  
x ÷ 902,34 ; y ÷ 287,27 alt. 1 039 m. Près des Les Andrieux,  
200 m en amont du Pont sur la Severaisse.  
Carte : Orcières 1/50 000è  
granite gris bleuté porphyroïde, à biotite chloritisée, quartz  
microcline, plagioclase, biotite chloritisée (7 à 12 %), muscovite,  
apatite.
- B2(DP92-VJ2): granite du Turbat. Lauranoure. Granite leucocrate porphyroïde  
à grain grossier.  
L ÷ E6° 09' 49" , l : N44° 52' 21" - alt. 1 850 m  
Carte St Christophe en Oisans 1/50 000è  
Biotite chloritisée (5 à 12 % de la roche), quartz, microcline,  
plagioclase, muscovite, apatite, zircon, sphène, opaques.
- B3 (DP93-R 17- B 9275 : granite du Rochail (faciès du Clapier) équant, rose et  
vert. Biotite chloritisée, plagioclase verdi et microcline rose.  
L : 6° 2' 27" , l : 45° 1' 30" - alt. 1 240 m, sur la D 219 de  
Bourg d'Oisans à Villard Notre-Dame, lieu dit "le Creux"  
Carte Vizille 1/50 000è
- B4(DP 94- R 20) : granite du Rochail rose et vert (même faciès que DP 93)  
L : 6° 2' 57" ; l : 45° 1' 28" - alt : 1 250 m  
Carte Vizille 1/50 000è  
Quartz, plagioclases séricitisés, biotites chloritisée, microcline  
perthitique, apatite, sphène, épidote.
- B5 (DP 95) : gneiss du Pigeonnier (Référence faciès in P. LE FORT, 1973, p. 120).  
granitoïdes, leucocrates à lits de biotites peu chloritisées  
x : 912,60 ; y : 291,10 ; alt. 1 900 m. Au NE du Gieberney  
Carte St Christophe en Oisans 1/50 000è  
Quartz, oligoclase, feldspath potassique, biotite chloritisée  
et accessoires (muscovite, apatite, zircon, sphènes, épidote,  
grenat).
- B6 (DP 96 - VJ1-89) : gneiss du Valjouffrey (ou de La Lavey) à biotite et grenat  
(éch. Vivier)  
Carte La Mure 1/50 000è  
Biotite fraîche
- B7 (DP 97 - VJ3) (DS 3159): granite d'Orgières (faciès défini in P. LE FORT,  
1973, p. 212). équigranulaire, gris verdâtre.  
L : E6° 7' 24" ; l : N44° 52' 57" ; alt. 1 400 m  
Carte St Christophe en Oisans 1/50 000è  
Quartz 26 %, plagioclase 40 %, biotite chloritisée (20 %), felds-  
path K 9 %, apatite, zircon, allanite. Biotite pléochroïque dans  
les bruns - brun jaune.
- B8 DP98 - SC4-J4-1 : granite du Bourg (défini par P. LE FORT, 1973, p. 212)  
x : 908,65 ; y : 288,22 ; alt. 1 380 m. 30 m en aval de la cascade  
de La Muande.  
Carte St Christophe en Oisans  
Plagioclases abondants 38 %, quartz 30 %, biotite altérée 13 %,  
feldspath K 18 %.

- B9 (DP99-Gr.4)-(DS 3159) : Granite porphyroïde du Riou Blanc (faciès défini par A. BARBIERI, 1970). Faciès de bordure du massif Pelvoux - Pic de Clouzis. Référence A. BARBIERI, 1970.  
Quartz 29 %, FK (24 %), porphyroblastiques, plagioclase An 10-18 41 %, biotite entièrement chloritisée 6 %. Sur diagramme de rayons X il s'agit de thuringite (chlorites normales).
- B10 (DP 100-Gr 8) (DS -3162) : granite à gros grain du Tabuc (Ref BARBIERI, 1970) à l'Est du massif du Combeynot.  
Quartz sbautomorphe ou globulaire 36 %, feldspath potassique 34 %; plagioclase An 5-20 (27 %), biotite très chloritisée 3 %, apatite, zircon, sphène, épidote, quelques amphiboles.  
Rayons X : chlorites normales : thuringite (+ ripidolite)
- B 11 (OK 51): Filon de minette N 50-70° SE d'épaisseur métrique dans la série leptyno-amphibolique de Petit Chaillol (Référence G. BUFFET, non publié).  
Carte : Orcière 1/50 000 è. Combe Jus du Jarretier près de Molinard-Champsaur.
- B 12 (GR 59) : Enclave de type vauugnérinite dans le granite de Roche-Noire (ref. faciès L. GIORGI, 1979). Unité de l'Alpetta.  
L : E6° 04' 46" ; l : N45° 07' 17" ; alt. 2 035 m au SW du Lac Noir, à l'Est du point 1912.  
Carte Vizille 1/50 000è  
Biotite, peu à pas chloritisée, sphène abondant amphibole.
- B 13 (DP 87) : gneiss biotitique dans les gneiss migmatitiques de Bourg d'Oisans (faciès défini in thèse L. GIORGI, 1979, p. 11).  
L : E6° 04' 30" ; l : N45° 01' 53" ; alt. 740 m, au niveau de la future usine de la galerie de St Guillaume II, au Clapier d'Auris (Grandes Rousses).  
Quartz, plagioclase An 15, séricitisé, biotite peu chloritisée, grenat microcline, épidote, sphène.
- B 14 ( A 6200): granite à biotite des Sept-Laux (description complète in thèse de GASQUET, 1979 et J.L. VERJAT, 1980). Galerie Arc Isère.  
L : E6° 12' 23" ; l : N45° 22' 19" .  
Carte La Rochette 1/50 000è  
Biotite brune ou bistre si chloritisée 10 % de la roche. Granite faciès fin, 29 % de quartz, 24 % de feldspath K, 31 % de plagioclase An 7 à 25, 6 % de divers.
- B15 (EOC1) (B 9426) : granite des Sept-Laux du "défilé de Maupas". Même faciès que l'échantillon A 6200 (Ref G. VIVIER, non publié). Sur la D 526, cascade de l'Eau d'Oille.  
L : E6° 03' 58" ; l : N45° 12' 41" ; alt. 1 280 m  
Carte : Domène 1/50 000è  
Biotite chloritisée.
- B16 ( A 3676) : gneiss biotitique peu à pas migmatitique du groupe de St Rémy (ref. Thèse GASQUET, 1979).  
Galerie Arc Isère  
L : E6° 14' 11" ; l = N45° 21' 50" ; alt. 475 m  
Carte La Rochette 1/50 000è

- B 17 (A 933) : gneiss de St Colomban (Ref Thèse GASQUET, 1979) Galerie Arc-Isère  
L : E6° 16' 05" ; l : N45° 21' 17" ; alt. 475 m.  
Carte St Jean de Maurienne 1/50 000è.
- B 18 (DP 26) (B 9428) : Restite de gneiss rubané biotitique du groupe de St Rémy, peu migmatitique.  
Sur la route forestière au sud de St Rémy  
L : E6° 14' 15" ; l : N45° 23' 58" ; alt. 1 230 m  
Carte La Rochette 1/50 000è  
Biotite non chloritisée brun clair à marron foncée
- B 19 (AGL 1) (Bi 8754) : granite de La Lauzière, faciès leucocrate à grain grossier ( faciès défini par E. PONCERRY, 1981).  
Au pied de la barre rocheuse du Rocher de Sarvatan,  
L : E6° 21' 09" ; l : N45° 26' 34" ; alt. 2 340 m  
Biotite brune à reflets verdâtres 5 %, quartz, plagioclases peu séricitisé, orthose perthitique.
- B 20 (DP 78) (B 9427) : gneiss à deux micas du Col de Montjoie, en passées dans les gneiss à mégacristaux.  
Après le Col de Montjoie, près des ruines  
L : E6° 20' 08" ; l : N45° 26' 09" ; alt. 2 250 m.  
Carte La Rochette 1/50 000è
- B21 (PAL) (B 9429) : gneiss du Col de Montjoie (idem que n° 20) (ref. E. PONCERRY, 1981).  
L : E6° 20' 08" ; l : N45° 26' 04" ; alt. 2 250 m. Après le col de Montjoie.  
Carte La Rochette 1/50 000è.
- B22 (DP 101) (B 9497) : micaschistes du Rivier (faciès défini in J.L. VERJAT, 1980) muscovite, peu de biotite chloritisée, plagioclase abondante légèrement altérée, peu de quartz, parfois de la Tourmaline.  
L : E6° 02' 26" ; l : N45° 10' 13" ; alt. 930 m. Sur la D526 au Nord du Molard, près du pt 929.  
Carte Vizille 1/50 000è.
- B 23 (DP 102) (B9498): gneiss de Grand'Maison, aspect rubané, assez leucocrate (ref. Thèse JL. VERJAT, 1980, p. 112 pour les faciès).  
L : E6° 07' 18" ; l: N45° 12' 35" ; alt. 1 730 m. Sur la nouvelle route allant au col du Glandon, à l'aplomb du barrage .  
Carte St Jean de Maurienne  
Quartz et plagioclases abondants, biotite plus ou moins chloritisée, apatite.
- B 24 (DP 10) (B 9499) : gneiss amphibolique du Gros Treu, plus ou moins migmatitique. (ref. thèse JL. VERJAT, 1980, p. 92). Paléosome non amphibolique.  
L : E6° 06' 15" ; l : N 45° 12' 22" ; alt. 1 550 m. Sur la D 526, en face du petit captage de l'Eau d'Oille.  
Carte Domène 1/50 000è.  
Biotite abondante, chloritisée, plagioclase An 35, chlorite, hornblende verte, quelques bandes de quartz, épidote, apatite abondante, sphène.

- B 25 (DP 105) (B9500) : gneiss du Rissiou-Rocher Blanc, gris et fin (Ref. JL VERJAT, 1980, p. 113).  
L : E6° 05' 18" ; l : N45° 12' 14" ; alt. 1 460 m. Sur la D 526, un peu avant le point coté 1 463.  
Carte Domène 1/50 000e  
Plagioclases altérés, quartz abondant, biotite ± chloritisée, apatite.
- B 26 (A 388) : gneiss biotitique peu migmatitique du groupe de St Remy (in D. GASQUET, 1979, p. 43) rubanés.  
Galerie Arc-Isère  
Carte St Jean de Maurienne 1/50 000e  
Quartz microcline, plagioclase séricitisé, biotite plus ou moins chloritisée, rare muscovite, calcite, séricite, épidote, sphène.
- B 27 (DP 16.A) (B 9501) : mic-aschistes de St Léger (faciès décrit par E. PONCERRY, 1981, p. 104) à muscovite et biotite avec grenat et tourmaline.  
L : E6° 16' 39" ; l : N45° 26' 05" ; alt. 500m. à St Leger, sur la D 74, 50 m au sud de l'Usine.  
Carte La Rochette 1/50 000e
- B 28 (A 6550) (B 9503) : enclave surmicacée, à biotite grenue de type vaugnérétique dans le granite des Sept-Laux (Ref D. GASQUET, 1979).  
Galerie Arc-Isère.  
Biotite peu chloritisée, quelques amphiboles (Hb verte).
- B 29 (A 4593 B) (B 9 504) : gneiss biotitique du groupe de St Rémy. Peu à pas migmatitique (GASQUET 1979).  
Galerie Arc-Isère.
- B 30 (DP 113) (B 9502) : granite de La Bérarde-Promontoire (faciès décrit par P. LE FORT, 1973, p. 242) équiant, très leucocrate.  
L  
quartz 32 %, microcline 25 %, albite 40 %, biotite chloritisée 2 % et divers (muscovite, épidote, apatite, zircons).
- B 31 (DP 115) (B 9565) gneiss migmatitique à biotite de La Lavey (description faciès in P. LE FORT, 1973, p. 153) aspect légèrement cataclasitique. Vallée de la Romanche, sur le N 91 galerie du Grand Clot.  
L : E6° 15' 00" ; l : N45° 02' 23" ; alt. 1 275 m.  
Carte de La Grave 1/500 000e  
Biotite en lits plus ou moins continus, légèrement chloritisée.
- B 32 (B 181) (DS 275) : granite du Rochail, faciès du Clapier (granite vert et rose). Référence échantillon J.M. BUFFIERE (1963) publié dans C.R.A.S., t. 256, p. 2649-2651.  
Cascade de la Pisse, à l'Est de Bourg d'Oisans.  
x : 893,10 ; y : 308,63  
Biotites plus ou moins chloritisées.
- B 33 (B 182) (DS 276) : granite du Rochail, faciès gris clair à biotites fraîches. Ref. échantillon J.M. BUFFIERE (1963) publié dans C.R.A.S., t. 256, p. 2649-2651.  
Falaise située à l'Ouest des gauchois, vallée du Vénéon.  
x : 893,90 ; y = 306,0.

- B 34 (B 184) (DS 277) : gneiss d'Allemont. Ref. échantillon J.M. BUFFIERE, 1963, non publié.
- B 35 (B 183) (DS 166) : gneiss de Rochetaillée biotitique fin. Ref. échantillon J.M. BUFFIERE, 1963, non publié.
- B 36 (DS 3165) (Gn°1) : enclave biotitique dans granite à gros grain, près d'Ailefroide dans granite du Pelvoux. Pic de Clouzis  
Ref. échantillon A. BARBIERI, 1970, et faciès décrit p. 23-25.  
Granite rose et vert clair, 36 % de quartz, 24 % de feldspath K, plagioclase An 5-20, 27 % de biotite très chloritisée 3%, apatite, zircon, sphène, épidote.
- B 37 (DS 3122) : granite à grain moyen de Claphouse. Référence échantillon A. BARBIERI, 1970, faciès décrit p. 23-25. Rayon X : chlorites normales : thuringite + (pennine) + clinocllore.
- B 38 (DS 3156) : migmatite de Béassac  
Référence échantillon A. BARBIERI, 1970.
- B 39 : micaschistes de Champoléon : ref. SONET, 1970, inédit in thèse de PL LE FORT, 1973. Faciès décrit p. 103. Micaschistes à biotite peu chloritisée et grenat.
- B 40 : gneiss ocellé de Crupillouse : référence SONET, 1970, inédit in thèse de P. LE FORT, 1973. Faciès décrit p. 95.
- B 41 (DS 3125) : granite de la Montagne des Bans.  
Référence échantillon A. BARBIERI, 1970.

## BIOTITES

	* DP101 *	* DP102 *	* DP104 *	* DP105 *	* VJI/89* A388	* A933	* EOC1 *	
	22	23	24	25	6	26	17	15
	* C395 *	* C396 *	* C397 *	* C398 *	89	81	80	74 *
SI02	* 33.27*	33.27*	36.58*	33.45*	36.57*	36.67*	40.31*	36.70*
AL203	* 21.31*	20.28*	16.74*	19.40*	18.82*	16.78*	14.97*	16.63*
FE203	* 23.93*	22.32*	17.00*	24.27*	22.56*	23.55*	11.85*	23.77*
MNO	* 0.26*	0.21*	0.11*	0.32*	0.01*	1.12*	0.11*	0.50*
MGO	* 6.83*	9.40*	14.99*	7.03*	9.30*	8.80*	19.76*	8.29*
CAO	* 0.00*	0.19*	1.07*	0.36*	0.03*	0.78*	0.09*	0.95*
NA20	* 0.08*	0.00*	0.10*	0.14*	0.15*	0.12*	0.00*	0.17*
K20	* 8.35*	7.24*	8.59*	9.35*	8.53*	9.08*	9.12*	8.91*
TI02	* 2.39*	1.89*	2.45*	3.11*	1.93*	2.63*	0.82*	3.18*
F205	* 0.05*	0.06*	0.02*	0.07*	0.06*	0.06*	0.02*	0.07*
H20	* 2.38*	3.01*	2.21*	1.57*	1.88*	1.17*	2.15*	1.38*
T	* 98.85*	97.88*	99.88*	99.07*	99.84*	100.76*	99.20*	100.55*

Résultats analytiques Rb-Sr des biotites

N° N'échant.	N° Clermont	Localité, type de roche	Minéral	Rb ppm	Sr ppm	% 87Sr	87Rb/86Sr	87Sr/86Sr	Age t (ma) (0,712)	Age isochr.	Ref.
1	DP 91	granite de Pétarel	Bchl	883,8	13,8	52,24	199 ± 6	1,491 ± 1	274 ± 8		
2	DP 52-VJ 2	granite de Turbat	Bchl	1045	37,5	31,34	83 ± 3	1,037	274 ± 8	313 ± 9	
3	DP 93-BI7 RT 9275	granite du Rochail	Bchl RT	625	97,4	-	18,7 ± 6	0,7881 ± 7	286 ± 8		
4	DP 94-R20	granite du Rochail	Bchl	950,6	43,3	26,94	65 ± 3	0,9745 ± 6	283 ± 8	290 ± 8	
5	DP 95	gneiss du Pigeonnier	B	489,5	12,5	40,36	118 ± 3	1,194 ± 3	286 ± 8		
6	DP 96-VJ 1	gneiss du Valjouffrey	B	466	6	60,34	252 ± 7	1,795 ± 2	302 ± 9		
7	DP 97-VJ 3	granite d'Orglière	Bchl	598,4	24	23,64	74 ± 2	0,9325 ± 9	210 ± 6		
8	DP 98	granite du Bourg	BC	24,5	98,1	-	0,72	0,7151 ± 8	297 ± 9		(1)
9	DS 3159 DS 3160 DS 3161	granite porph. du Riou-Blanc	BC FK RT	39 346,7 154,4	64,8 344,7 377,6	-	1,74 2,91 1,18	0,7168 0,7028 0,7046	194 ± 6		
10	DP 100-8 DS 3162 DS 3163 DS 3164	granite à gros grain du Tabuc (Combeynot)	BC FK RT	39,1 58,7 110,4	18 31,6 52,4	-	6,28 31,6 52,4	0,7345 0,7175 0,7307	251 ± 7	(275), 266	(1)
11	OK-51	minette du Petit-Chaillol	B	360,1	26,7	38,39	97,5	1,1558 ± 9	320 ± 9		
12	DR 59	enclave dans granite Roche-Noir, unité de l'Alpetta	B	846,2	21,3	38,86	120	1,1646 ± 9	265 ± 8		
13	DP 87	gneiss de Bourg d'Oisans	Bchl	278,7	23	17,3	35,7	0,8613 ± 10	294 ± 9		
14	A5200	granite des Sept-Laux (galerie Arc-Isère)	B RT	1004	43	-	58 ± 2 0,816	0,7813 ± 10 0,71011	72 ± 2	77 ± 2	
15	505-1 B 9426	granite des Sept-Laux (cascade de Eau-d'Oille)	B	1070	50	23,55	63,3	0,9314	244 ± 7		
16	A-3676	gneiss de St-Rémy	B	246	38,7	-	18,5	0,7526	155 ± 5		
17	A-933	gneiss de St-Colomban	B	659	5,8	48,57	298	1,3845	159 ± 5		
18	DP-26	gneiss de St-Rémy	B	728,7	10,5	42,47	211,5	1,2376	175 ± 5		
19	AGL-1 B 8754	granite de la Lauzière	Bchl RT	2260 309,6	51 105	-	132 5,44	1,0165 0,7262	162 ± 5		

References : (1) BARBERI, 1970 ; (2) SCHMIDT et coll., 1963 ; (3) SCHERT, 1970  
in P. LE PORT, 1973 ; (4) SUPPESER J.M., 1963, inédit

Les âges entre parenthèses sont calculés avec les anciennes constantes. Ils sont recalculés avec  $87Rb = 1,42 \times 10^{-11}$  an<sup>-1</sup>.

Résultats analytiques Rb-Sr des biotites (suite)

N° N'éch.	N° Clermont	Type roche, localité	Minéral	Rb ppm	Sr ppm	% 87Sr	87Rb/86Sr	87Sr/86Sr	Age t (ma)	Age isochrone	Ref.
20	DP-78	gneiss du Col de Montjoie	B	512,4	13,2	35,0	116,8	1,0950	231 ± 7		
21	PAL 23	gneiss du Col de Montjoie	B	472,4	12,1	35,16	117,1	1,0980	232 ± 7		
22	DP 101	micaschiste du Rivier	B Ms	455,7 245,3	11,06 113,0	34,63	104,7 6,3	1,0893 0,7431	253 ± 7 347 ± 7		
23	DP-102	gneiss de Grand'Maison	B	209,5	19,3	-	31,7	0,809	216 ± 4		
24	DP-104	amphibolite du Gros-Pru	B	204,4	33,7	-	17,6	0,7621	200 ± 4		
25	DP-105	gneiss du Riou-Rocher-Blanc	B Ms	445,3 231,0	14,1 24,1	33,23	94,5 28,1	1,066 0,8328	264 ± 8 306 ± 6		
27	DP 16-A M 9501 M 9505	micaschistes de St-Léger	B Ms	536,4 218,4	13,5 135,1	23,31	117,8 4,7	0,928 0,7365	129 ± 4 367 ± 7		
28	A-6550	enclave dans granite des Sept-Laux (Arc-Isère)	B RT	1107	22,7	19,88	144	0,8887 0,7133	86 ± 3	87 ± 3	
29	A-4591B	gneiss de St-Rémy	B	682	19,5	20,50	103	0,8957	125 ± 4		
30	DP 113	granite des Stages-Promontoirs	Bchl	537,5	22,6	38,49	112	1,1576 ± 4	280 ± 8		
31	DP 115	gneiss de La Lavey (Romanche)	Bchl	391,3	20,7	19,81	55,7	0,888 ± 1	222 ± 6		
32	DS 275	granite du Clapier	Bchl	-	-	-	-	-	(319 +/- 9), 330	(2)	
33	DS 276	granite du Rochail	B	-	-	-	-	-	(327 +/- 16), 338	(2)	
34	DS 277	gneiss d'Allemont	B	-	-	-	-	-	(278 +/- 18), 288	(4)	
35	DS 166	gneiss de Rochetaille	B	-	-	-	-	-	(265 +/- 19), 274	(4)	
36	MI	enclave dans granite d'Allefroille	BC FK RT	106,7 453,7 203,5	65,7 89,5 88,1	-	4,70 14,67 6,69	0,7317 0,7421 0,7254	294	155	(1)
37	M2	granite à grain moyen de Claphouse	BC FK RT	38,4 333,2 150,5	26,9 140,1 264,6	-	4,13 6,88 1,64	0,722 0,7254 0,7162	170	120	(1)
38	M9	migmatite de Béassac	BC FK RT	36,4 360,5 125,5	20,4 321,3 175,5	-	5,16 3,24 2,06	0,7198 0,7167 0,7114	106	190	(1)
39	-	micaschistes de Champollon	B	-	-	-	-	-	(292), 302	(3)	
40	-	gneiss ocellé de Crupillouse	B	-	-	-	-	-	(325), 336	(3)	
41	M6	granite à grain moyen de la Montagne des Sans	BC FK PI	68,9 393,4 295	34,9 133 139,3	-	2,34 8,56 6,11	0,7133 0,7234 0,7204	40	67	(1)
42	DS 168	granite des Sept-Laux, leffilé de Maupas	B	-	-	-	-	-	(256 +/- 6), 265	(4)	

N°	N° échant.	Localité, type de roche	Minéral	40Ar rad. 10 <sup>-6</sup> cc/g	% rad.	% K	40Ar/36Ar	40K/36Ar x10 <sup>4</sup> /l	Age t(ma.)	
1	DP 91	granite de Pétarel	Bchl	67.88	89.65	7.23	2894	1.79	230 ± 10	PELVOUX
2	DP 92-VJ2	granite de Turbat	Bchl	65.35	98.55	6.93	20395	13.9	232 ± 10	
3	DP 93-VJ7	granite du Rochail	Bchl	-	-	4.08	-	-	-	
4	DP 94-R20	granite du Rochail	Bchl	68.47	90.87	5.65	3237	1.59	293 ± 13	
5	DP 95	gneiss du Pigeonnier	B	76.08	65.42	7.05	855	0.34	264 ± 16	
6	DP 96-VJ1	gneiss du Valjouffrey	B	89.18	91.13	7.08	3332	1.58	304 } 290 ± 12	
7	DP 97-VJ3	granite d'Orgières	Bchl	80.48	94.42	-	5292	2.88	277 } 290 ± 12	
8	DP 98	granite du Bourg	BC	45.19	48.70	4.95	576	0.201	226 ± 18	
9	DP 99-M4	granite du Lion-Blanc	BC	1.633	62.97	0.32	798	0.642	130 ± 8	
10	DP 100-NS	granite du Tabac	BC	1.119	38.82	0.56	483	0.614	52 ± 5	
11	OK-51	minette du Petit-Chaillole	B	2.07	43.74	0.714	525	0.519	75 ± 7	
				98	95.9	7.40	-	-	323 ± 10	
12	GR 59	enclave, granite Roche-N.	B	83.86	97.89	7.17	14000	7.67	284 ± 12	DES ROUSSES
13	DP 87	gneiss de Bourg d'Oisans	B	82.67	97.50	7.15	11830	6.53	281 ± 11	
14	A-6200	Granite des Sept-Laux, Galerie Arc-Isère	B PK RT	6.845 11.936 15.42	87.15 21.52 80.06	7.39 13.67 2.77	2300 377 1482	14.32 0.456 1.396	24 ± 1 29 ± 5 141 ± 18	BELLECOMME
15	30C I	granite des Sept-Laux, cascade de l'Eau d'Olle	B PK	32.76 38.84 38.89	96.16 94.20 93.83	7.39 11.47	7691 4589 4792	10.92 5.51 8.68	113 ± 5 } 123 ± 10 133 ± 7 } 87 ± 4 } 94 ± 7 101 ± 5 } 233 ± 10 } 463 ± 10 }	
16	A-3676	gneiss de St Rémy	B	45.38	94.33	2.65	4695	3.4	72 ± 3	
17	A-933	gneiss de St Colomban	B	25.02	51.87	1.20	614	0.05	149 ± 6	
18	DP 26	gneiss de St Rémy	B	24.01	91.25	7.46	3377	7.264	42 ± 2	
19	AGL I	granite de la Lauzière	Bchl	20.7	71.02	7.52	1019	0.803	-	
20	DP 78	gneiss du Col de Montjoie	B	44.7	81.39	7.50	1588	5.26	87 ± 3 281 ± 11	
21	PAL 23	gneiss du Col de Montjoie	B M	12.07	-	-	-	-	128 ± 5 306 ± 12	
22	DP 101	micaschistes du Rivier	B	23.80	94.22	7.07	5515	9.34	148 ± 6	
23	DP 102	gneiss de Grand'Maison	B	95.43	97.94	8.26	3496	1.94	154 ± 6	
24	DP 104	gneiss amphi. Gros Treu	B A	36.82 103.22	93.52 93.95	7.29 8.13	4539 4589	5.52 2.37	197 ± 10 475 ± 19	
25	DP 105	gneiss Rissieu-Rocher-Bl.	B	40.67	95.14	6.93	6079	6.44	149 ± 7	
26	A-389	gneiss de St Rémy	B	37.94	97.23	6.22	10683	11.15	83 ± 3	
				56.2	79.67	8.59	1453	0.959	-	
				5.47	75.12	0.265	1183	0.283	-	
				45.68	88.76	7.76	2628	2.592	-	
				24.22	93.95	7.54	4889	9.351	-	

## ANNEXE IV

## LES MUSCOVITES

1. LOCALISATION/DESCRIPTION SOMMAIRE DES ECHANTILLONS (+ REF AUTEURS)
2. RESULTATS ANALYTIQUES K-Ar
3. RESULTATS ANALYTIQUES Rb-Sr

I - LOCALISATION ET DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'ÉCHANTILLON  
(OU RÉFÉRENCE FACIÈS + RÉFÉRENCE AUTEUR)

- M1 (DP 78) : gneiss à deux micas du Col de Montjoie (même faciès que M2)  
L : E6° 20' 08" ; l : N45° 26' 09" ; alt. 2 270 m  
après le col de Montjoie près des ruines.  
Carte La Rochette 1/50 000è.
- M2 (PAL 123) : gneiss du col de Montjoie (ref. faciès E. PONCERRY, 1981)  
L : E6° 20' 08" ; l : N45° 26' 04" ; alt. 2 250 m  
Col de Montjoie  
Carte La Rochette 1/50 000è
- M3 (DP 10) : gneiss leucocrate du col de Claran (ou gneiss occidentaux du groupe de St Remy (ref. GASQUET, 1979).  
L : E6° 09' 29" ; l : N45° 22' 40" ; alt. 2 120 m  
Col de Claran  
Carte La Rochette 1/50 000è
- M4 (DP 11) : gneiss du col de Claran (idem que M3). Faciès plus schisteux et riche en muscovite.  
Même localisation que M3
- M5 (DB 22A) : filon aplopegmatitique à feldspaths noirs et muscovites dans le granite des Sept-Laux (référence description faciès J.L. VERJAT, 1980). Défilé de Maupas (vallée del'Eau d'Olle).  
L : E6° 04' 47" ; l : N45° 12' 10" ; alt. 1 395 m.  
Sur la D 526 en direction du col du Glandon. Près point coté 1 394  
Carte Domène 1/50 000è.
- M6 (DP 22) : filon aplopegmatitique à muscovite, du granite des Sept-Laux Intrusif dans le groupe de St Rémy proche du granite.  
L : E6° 14' 47" ; l : N45° 25' 56" ; alt. 960 m.  
Sur la route forestière de St Rémy de Maurienne.  
Carte La Rochette 1/50 000è  
Filon épaisseur 1 m. Au centre, gros feldspaths noirs et muscovite. Bordures aplitiques.
- M7 (DP 24) : filon leucocrate riche en muscovite et biotite, issu du granite des Sept-Laux, recoupant les gneiss de St Rémy à biotite.  
A grains fins (1-2 mm) beige. Texture pegmatitique par endroits.  
L : E6° 14' 12" ; l : N 45° 23' 28" ; alt. 1 200 m  
Route forestière de St Rémy de Maurienne. Près de Biomont  
Carte La Rochette 1/50 000è.
- M8 (A 1530/79) : phengite dans fente alpine. Galerie Arc-Isère (référence échantillon D. GASQUET, 1979).
- M9 (DP 101) : micaschistes du Rivier d'Allemont. Muscovite abondante (voir JL VERJAT, 1980 pour description des faciès).  
L : E6° 02' 26" ; l : N45° 10' 13" ; alt. 930 m  
sur la D 526, au nord du Mollard.  
Carte Vizille 1/50 000è.

M10 (DP 105) : gneiss à biotite et muscovite rubané du Rissiou-Rocher Blanc (faciès décrit par JL. VERJAT, 1980)  
L : E6° 05' 18" ; l : N 45° 12' 14" ; alt. 1 460 m sur la D 526.

M11 (DP 16A) : micaschistes de St Léger , à biotite et muscovite.

sur la D 74 près dell'usine.  
Carte de La Rochette 1/50 000è.

M12 (DP 117) : micaschiste de la Haute-Sarenne (vallée de La Romanche, Grandes Rousses). Faciès décrit par L. GIORGI, 1979). Muscovite, chlorite, feldspaths altérés, quartz.  
L : E6° 07' 10" ; l : N 45° 02' 10" ; alt. 900 m.  
Carte La Grave 1/50 000è.

M13 : granite aplitique dans les gneiss oeillés de Crupillouse (Pelvoux)  
Référence in thèse P. LE FORT (1973).

M14 : pegmatite du granite de Colle Blanche (Pelvoux)  
Référence in thèse P. LE FORT (1973).

M15 (CB 17) : muscovite de Beaufin - Ref. G.VIVIER.

### MUSCOVITES

	* A 1530* DP 10 * PAL 23* DB 22 *			
	8	3	2	6
	* C 285 * C 286 * C 191 *			
SiO2	47.05*	47.80*	45.63*	46.40*
Al2O3	29.44*	32.82*	32.02*	34.49*
Fe2O3	3.67*	2.11*	2.63*	2.67*
MNO	0.03*	0.03*	0.04*	0.08*
MGO	2.98*	1.06*	0.97*	0.21*
CAO	2.42*	0.26*	1.52*	0.00*
NA2O	0.06*	0.34*	0.05*	0.57*
K2O	9.66*	10.49*	10.19*	10.29*
TI02	0.77*	0.92*	0.75*	0.20*
P2O5	0.11*	0.15*	1.06*	0.08*
H2O	4.04*	4.26*	4.22*	4.24*
T	100.23*	100.25*	99.07*	99.23*

Résultats analytiques K-Ar

N°	N°échant.	Localité, type de roche	Min.	40 Ar rad. (10 <sup>-6</sup> cc/g)	% rad.	% K	40 Ar/36Ar	40K/36Ar x 10 <sup>+7</sup>	âge T (Ma)
1	DP 78	Gneiss à 2 mica du Col de Montjoie (Belledonne)	M	95.425	97.94	8.26	3496	1.94	281 +/- 11
2	PAL 23	"	M	103.22	93.95	8.13	4589	2.37	306 +/- 12
3	DP 10	Gneiss du Col de Claran	M	91.8125	96.76	8.27	9122	5.20	271 +/- 11
4	DP 11	"	M	78.46	97.99	8.26	14725	9.97	234 +/- 9
5	DB 22 A	Filon aplopegmatitique du granite des Sept-Laux	M	85.141	79.11	8.12	1414	0.698	257 +/- 13
6	DP 22	Filon aplopegmatitique	M	65.615	97.63	8.56	12488	10.4	191 +/- 8
7	DP 24	Filon aplitique	M	63.67	98.13	8.39	15799	13.8	189 +/- 8
8	A 1530	Pente alpine dans granite des Sept-Laux	P	4.836 4.571	82.345 84.31	8.02	1674 1697	14.95	15.8 +/- 0.6 14.9 +/- 0.7

### Résultats analytiques Rb/Sr

N°	N°échant.	Localité, type de roche	Min.	Rb ppm	Sr ppm	87Rb/87Sr	87Sr/86Sr	âge T (Ma) / 0.712
9	DP 101	Micaschistes du Rivier	M	245.3	113.0	6.3 +/- 0.2	0.7431 +/- 8	347 +/- 7
10	DP 105	Gneiss du Rissiou-R-Blanc	M	231.0	24.1	28.1 +/- 3.3	0.8328	306 +/- 6
11	DP 16 A	Micaschistes de St-Léger	M	218.4	135.1	4.7 +/- 0.1	0.7365	367 +/- 7
12	DP 117	Micaschistes Htes Sarenne	M	184.3	89.7	6.0 +/- 0.2	0.7366	290 +/- 6

ANNEXE V

LES AMPHIBOLES

1. LOCALISATION ET DESCRIPTION SOMMAIRE DES ECHANTILLONS
2. TABLEAU DES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES AMPHIBOLES
3. TABLEAU ANALYTIQUE K/Ar
4. ANALYSES CHIMIQUES

## I - LOCALISATION ET DESCRIPTION SOMMAIRE DES ÉCHANTILLONS

Le premier numéro est le numéro d'ordre des amphiboles étudiées. Les numéros d'échantillonnage du géologue ainsi que le numéro de référence d'analyses chimiques effectuées à l'Institut Dolomieu sont aussi indiqués.

A1 (DP 44B/C282)

Amphibole massive peu orientée en bordure du complexe granito gneissique de St Colombar (Belledonne).  
L : E6° 12' 22" ; l : N45° 17' 51" ; alt. 1 480 m  
Au NNW des "Roches", falaise au N du point 1 351 du torrent des Roches, carte St Jean de Maurienne 1/50 000è.  
Hornblende verte, plagioclases, épidote, sphène, apatite.

A2 (DP 44A/ C284)

Gneiss amphibolique tacheté. Faciès proche de la bordure du complexe granito-gneissique de St Colombar.  
L : E6° 12' 22" ; l : N45° 17' 51" ; alt. 1 450 m  
Torrent des Roches  
Carte de St Jean de Maurienne 1/50 000è  
Aspect tacheté dû aux amphiboles vert-sombre qui se détachent sur un fond vert-clair quartzo-feldspathique chloriteux.  
Hornblende verte (vert-jaune à vert-bleu pâle)  $x = 21^\circ$  en baguettes plus ou moins fusiformes. Peu arrondies, parfois cassées et moulée par une schistosité frustrée. Elles sont poecilitique (sphène)  
Plagioclase altéré, peu de quartz, chlorite, épidote abondante et sphène, apatite.

A3 (DP42/C284)

Gneiss amphibolique grossier rubané du groupe de Grand'Maison Coté est (Belledonne)  
L : E6° 08' 00" ; l : N45° 13' 43" ; alt. 1 965 m. Près du ruisseau de Bruyant le Rieu (N du Chalet Le Solliet).  
Carte St Jean de Maurienne 1/50 000è.  
Alternance de bandes plus ou moins amphiboliques. Plagioclases abondants altérés, hornblende vert foncée 0,2 - 3 mm,  $x = 12$  à  $15^\circ$  de forme losangique, peu de quartz, quelques reliques de biotites, chlorites, épidote, apatite, sphène.

A4 (LG3B/C287)

Amphibolite massive interstrafiée dans les schistes d'Huez Vaujany près du Rosay.  
L : E6° 04' 12" ; l : 45° 04' 34" ; alt. 1 630 m.  
Carte Vizille 1/50 000  
Roche à grain fin à moyen, massive, en banc métrique.

A5 (DP181/C288)

Gneiss amphibolique lité, massif, peu migmatitique du groupe de St Rémy (Belledonne).  
L : E6° 16' 07" ; l : N45° 24' 57" ; alt. 365 m.  
70 m au nord du point coté 368 m, sur la D 74 entre St Rémy et St Léger (Maurienne).  
Carte La Rochette 1/50 000è.  
Amphiboles vert sombres de 0,3 à 1 cm bien visibles dont certains amas. Hornblende verte losangique avec des queues de cristallisation  $x = 18^\circ$ , quartz, plagioclase, apatite.

A6 (DP43/C289)

Gneiss amphibolique rubané du groupe de Grand-Maison (Belledonne).  
 L : E6° 08' 02" ; l : N45° 13' 33" ; alt. 1 955 m  
 Chalet Le Solliet.  
 Carte St Jean de Maurienne 1/50 000è  
 Hornblende verte x = 15°, peu de quartz, biotite, chlorite, épidote, apatite, sphène.

A7 (DP 84 /C290)

Gneiss amphibolique repère des schistes d'Huez (Grandes Rousses)  
 Aspect moucheté.  
 L : E6° 05' 07" ; l : N45° 01' 50" ; alt. 870 m.  
 Rampe des Commères, sur la N 91.  
 Carte Vizille 1/50 000è  
 Faciès fin, à 35 % de hornblende verte (x = 25) 1/2 millimétriques, trapues et poecilites, non chloritisée, avec des plagioclases altérées, apatite, épidote, quartz, quelques sphènes et biotites chloritisées.

A8 (DP 18B/C291)

Gneiss amphiboliques migmatitiques du groupe de St Rémy.  
 L : E6° 16' 07" ; l : N45° 24' 57" ; alt. 365 m.  
 70 m au nord du point coté 368 m sur la D 74, entre St Léger et St Rémy de Maurienne.  
 Carte La Rochette 1/50 000è  
 Hornblendes vertes (x = 25°) vert bleu-vert, jaune clair en baguettes, altération en épidote et chlorites, apatites en inclusions.

A9 (CC7/C292)

Gneiss amphiboliques, de la Croix du Cuchet, dans le groupe de St Rémy.  
 L : E6° 14' 48" ; l : 45° 20' 58" alt.  
 sur la ligne de crête  
 Carte St Jean de Maurienne 1/50 000è

A10 (GR43/C293)

Gneiss amphiboliques dans les schistes d'Huez-Vaujany (Grandes-Rousses).  
 L : E6° 04' 40" ; l : N45° 04' 42" ; alt. 1 830 m  
 La Rochette, à l'Est du point 1823.  
 Carte Vizille 1/50 000è  
 Structure granoblastique. Amphiboles (hornblendes vertes), trapues poecilites, non chloritisées, plagioclases altérés, épidote, apatite, quartz (Ref. Loic Giorgi, 1979, p. 26).

A11 (A 3017/C294)

Gneiss leptyno-amphibolique du groupe de St Rémy. Galerie Arc-Isère (Ref. D. GASQUET, 1979).  
 L : E62 14' 36" ; l : N45° 21' 24" ; alt. 475 m.  
 Carte La Rochette 1/50 000.  
 A grosses amphiboles, massif et peu lité, légèrement cataclastique gneiss peu à pas migmatitique amphibolique rubanés.  
 Hornblende verte, quelques biotites chloritisées, plagioclase An>10 quartz, sphène, apatite, séricite, épidote.

A12 (Bi 22/C 295)

Gneiss amphibolique de St Rémy. Route forestière à l'W.SW de St Rémy, à Biomont.  
 L : E6° 14' 28" ; l : N45° 23' 11" ; alt. 1 170 m.  
 Carte La Rochette 1/50 000 è.  
 Hornblendes vertes (x=25°) vert bleu-vert; jaune clair en baguettes, altération en épidote et chlorites, apatites en inclusions.

A13 (GR53/C296)

Gneiss à amphibole-sphène dans l'unité de l'Alpetta (Grandes-Rousses) Ref. L. GIORGI, 1979.  
 L : E6° 05' 12" ; l : N45° 05' 07" ; alt. 1 830 m  
 40 m à l'Est de la Chapelle St Nicolas.  
 Carte Vizille 1/50 000è  
 Gneiss à structure granoblastique fine, feldspaths potassiques poecilite avec des myrmekites, plagioclases An 20-25, hornblende verte, biotite plus ou moins chloritisée, quartz, épidote, sphène plurimillimétriques brun clair, apatite et rares muscovites.

A14 (GR36/C297)

Gneiss à amphibole interstratifiée dans les schistes d'Huez (Grandes-Rousses).  
 L : E6° 04' 04" ; l : N45° 05' 10" ; alt. 1 750 m.  
 sur la D 211, au rocher Outaris  
 Carte Vizille 1/50 000 en Roche à grain fin, d'aspect tacheté, en banc demi-métrique hornblende verte, feldspaths altérés, apatite, épidote, chlorites, quartz et opaques.

A15 (DP7/C298)

Amphibolite du Gros Treu (voir J.L. VERJAT, 1980 pour la description précise du faciès).  
 L : E6° 06' 15" ; l : N45° 12' 22" ; alt. 1 580 m.  
 Sur la D 526 en direction du col du Glandon, au niveau de l'ancien captage.  
 Carte St Jean de Maurienne 1/50 000è.  
 Gneiss veinés ou rubanés plus ou moins mobilisés. Hornblende verte abondante (30 à 60 %) peu altérée, x = 180, en prisme allongés aciculaires poecilite (sphène, apatite), peu de quartz, plagioclases séricitisés An 30, biotite plus ou moins chloritisée, épidote, sphène assez fréquent, apatite.

A16 (GR 42/C299)

Gneiss amphibolique de bordure des schistes d'Huez-Vaujany (Grandes-Rousses, ref. L. GIORGI, 1979).  
 L : E6° 04' 40" ; l : N45° 04' 42" ; alt. 1 830 m  
 A l'Est du point 1 823. La Rochette.  
 Carte Vizille 1/50 000è  
 Structure granoblastique avec hornblende plurimillimétriques (35%) trapues, poecilites et non chloritisées. Plagioclases altérés, apatite, épidotes, chlorites.

A17 (DP 33/C 350)

Gneiss à grosses amphiboles, vallée de Cevins (Belledonne) voir thèse Y. SIMEON, 1979 pour la description complète du faciès.  
 L : E6° 26' 54" ; l : N45° 34' 05" ; alt.  
 Après le passage à niveau, en rive gauche de l'Isère, sur la D97 près de Cevins sur Isère.  
 Carte Albertville 1/50 000è  
 Amphiboles 0,5 à 1 cm qui sont des hornblendes vertes x = 20°. Feldspaths altérés, gros sphènes losangiques, quelques biotites chloritisées.

A18 (A 417/C351)

Gneiss amphiboliques fins peu à pas migmatiques du groupe de St Rémy (Ref. D.GASQUET, 1979).  
 L : E6° 13' 50" ; l : N45° 21' 23" ; alt. 480 m.  
 Galerie Arc-Isère  
 Carte La Rochette 1/50 000è  
 Gneiss à amphiboles, hornblende verte, quelques petits yeux de feldspaths (plagioclases An > 10 altérés et FK), quartz et biotite, sphène, séricite, calcite, épidote.

A19 (DP84 A/ C 352)

Gneiss amphibolique de bordure des schistes d'Huez (Grandes Rousses)  
 L : E6° 05' 07" ; l : N45° 01' 50" ; alt. 870 m  
 Rampe des Commères sur la N 91  
 Carte Vizille 1/50 000è  
 Structure granoblastique, hornblende verte, plagioclases altérés apatite, épidote.

A20 (GR 59/C 353)

Enclave à amphibole et biotite dans le granite de Roche Noire.  
 L : E6° 04' 46" ; l : N45° 07' 15" ; alt. 1 900 m.  
 A l'Est du point 1912 au SW du lac Noir.  
 Carte Vizille 1/50 000è  
 Hornblende verte, biotite peu chloritisée, feldspaths, épidote, sphène, apatite.

A21 (PAL 132/C390)

Amphibolite de la série de la Montagne des Plans (Ref. E.PONCERRY, 1981)  
 x : 912,130 ; y : 354,950 alt. = 1250 m.

Montgellafrey, carte La Rochette 1/50 000.  
 Roches fines (grain d'environ 0,3 mm) isogranulaires peu orientées hornblende verte (50%) xénomorphe, poecilitique (quartz, plagioclases, micas) souvent maclée, chlorite, plagioclases saussuritisées, quartz, épidote abondante, apatite et un peu d'apatite.

A22 (DP85/ C 391)

gneiss à amphibole de Bourg d'Oisans, Clapier d'Auris.  
 L : E6° 04' 28" ; l : N45° 01' 50" ; alt. 740 m  
 Au niveau de la nouvelle usine EDF, St Guillaume II  
 Carte Vizille 1/50 000è.  
 Plus au moins associés aux amphibolites massives, hornblende verte (30 %) poecilitique, plagioclase altéré, quartz, épidote, biotite plus ou moins chloritisée, chlorite, apatite, grenat.

A23 (DP 29/C392)

gneiss leptynitique à amphiboles, vallée de Cervins (complexe leptyno-amphibolique d' Y. GROS, 1974)  
 L : E6° 27' 46" ; l : N45° 34' 22" ; alt. 400 m  
 Sur la D 97, rive gauche de l'Isère près du tunnel de Chemin de Fer.  
 Carte Albertville 1/50 000è  
 Légère orientation des hornblendes vertes (x = 21°) peu altérés de 1 à 5 mm. Plagioclases et feldspaths K. altéré, quartz, sphènes abondants, quelques opaques.

A24 (JLV2/C393)

Gneiss migmatitique amphibolique de la série amphibolique du Lac de La Croix. Complexe de l'Argentière Puy gris (Ref. J.L. VERJAT, 1980).

Carte St Jean de Maurienne 1/50 000è  
 Roche fine, plus ou moins ocellaire à lits centimétriques leuconate chloriteux. Légèrement orientée, structure sub-dioritique. Hornblende verte, plagioclase altéré en damourite et zoïsite, quartz, chlorite, quelques biotites chloritisées, épidotes, sphènes, apatites et quelques minéraux opaques.

A 25 (A4174/C394)

Gneiss amphibolique peu à pas migmatitique du groupe de St Rémy (Ref D. GASQUET, 1979).  
 L : E6° 13' 47" ; l : N45° 21' 38" ; alt. 483 m  
 Galerie Arc-Isère  
 Carte La Rochette 1/50 000è  
 Gneiss à biotite et amphibole, massif lité, peu mylonitisé rubané. Pargasite, biotite chloritisée, microcline, plagioclase An > 10, altérés, quartz, sphène, séricite, chlorite, épidote.

A 26 (MA59C/9)

Gneiss amphibolique rubané, texture grenue assez bien marquée (Ref. G. VIVIER)

A27 (A363A/96)

Amphibolite litée intercalée dans des gneiss plus ou moins massifs et migmatitiques, du groupe de St Rémy (Ref. D. GASQUET, 1979).  
 L : E6° 16' 29" ; l : N45° 21' 11" ; alt. 450 m  
 Galerie Arc-Isère  
 Carte St Jean de Maurienne 1/50 000è  
 Structure granoblastique à nématoblastique. Hornblende verte un peu transformée en épidote calcite et chlorite. Séricite, chlorite, feldspaths et quartz peu abondants, quelques opaques et rares sphènes.

A28 (JA5A/97)

Gneiss amphiboliques du Jarnalet (Ref. G. VIVIER)  
 L : E6° 12' 34" ; l : N45° 18' 56" ; alt. 1 850 m  
 Carte St Jean de Maurienne

A29 (A 2980)

Gneiss amphibolique repère, bordure du complexe de St Colombar (Ref. D. GASQUET). Galerie Arc-Isère.  
Gneiss amphibolique hétérogranulaire. Quelques feldspaths et amphiboles contournées par des biotites chloritisées. Mesostase avec séricite, calcite, épidote, sphène et apatite, quartz.

A 30 (DP 19)

Gneiss amphibolique du groupe de St Rémy  
L : E6° 15' 33" ; l : N45° 23' 56" ; alt. 730 m  
Sur la route forestière de St Rémy de Maurienne

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES AMPHIBOLES.

n°	Série-Formation	Localisation	n° échant.	Age (Ma)	Type roche	α°	Nature	Habitus	d	Ep	Gr	Bi	Chl	Ms	Sph	Apat	Observations
1	Topoy-Sambuis	Les Roches	(44 B)	372	AM		Hb verte		3,18	x						x	
2	Bordure St Colombar	Les Roches	(44 A)	285	A(M)	21	Hb v. jaune	fusiforme	3,18	xx			x			ox	schistosité frustrée, poec.
3	Grand'Maison	Le Solliet	(42)	329	GAR	15	Hb v. sombre	losange	3,18	x			x			x	
4	Schistes d'Huez	Route d'Huez	(LG3)	622	A		Hb		3,24								minéraux opaques
5	Groupe St Rémy	St Rémy	(18A)	771	GAm	18	Hb verte	los. trap.								x	
6	Grand'Maison	Le Solliet	(43)	317	GAR	15	Hb verte	trapue	3,18	x			x			x	poecilitique
7	Schistes d'Huez	Rampe Commères	(84)		GA	25	Hb verte	trapue	3,18	x			x			ox	altération légère
8	Groupe St Rémy	St Rémy	(18B)	587	GAm	25	Hb v. jaune	baguette		x							
9	Topoy-Sambuis	Croix Cruchet	(CCT)	388	GA		Hb	trapue	3,10								
10	Schistes d'Huez	Route d'Huez	(GR 43)	388	GA	20	Hb verte	trapue	3,20	x						x	
11	St Rémy	Arc-Isère	(A 3017)	358	GAm		Hb			x						x	± cataclastique
12	" "	Biomont	(B1 22)	853	GA		Hb		3,21								
13	Alpetta	Chap. St Nicolas	(CR 53)	359	GA		Hb verte		3,18	x							
14	Schistes d'Huez	Rocher Outaris	(GR 53)	154	GA		Hb verte			x							
15	St Rémy Gros Treu	Grand'Maison	(7)	475	GAm	18	Hb verte	prisme		x							minéraux opaques
16	Schistes d'Huez	La Rochette	(GR 42)	452	A(M)	21	Hb verte	trapue	3,18	x						ox	poecilitique
17	Compl. leptyno Amph.	Cevins	(33)	383	G(A)	20	Hb verte		3,15	x							poecilitique
18	Groupe St Rémy	Arc-Isère	(A 4127)	303	GA		Hb verte			x							
19	Schistes d'Huez	Rampes Commères	(84A)	377	A(M)	23	Hb verte	trapue	3,18	x							
20	Roche Noire	Lac-Noir	(GR 59)	253	E <sub>h</sub> b <sub>h</sub>		Hb			x							
21	Montagne des Plans	Montgellafrey	(PAL 132)	279	A		Hb verte		3,05	x							
22	Bourg d'Oisans	Olapiet d'Auris	(85)	400	GAm		Hb verte		3,24	xx						o	poecilitique maculée opaques
23	Compl. leptyno Amph.	Cevins	(29)	587	GLA	21	Hb verte		3,13	x						x	poecilitique
24	Argentiere Puy-Gris	Lac de la Croix	(JIV 2)	284	GA		Hb		3,22								
25	Groupe St Rémy	Arc-Isère	(A 4174)	446	GA		Hb verte		3,24	x							
26	St Rémy	Maurienne	(MA 59C)	284	GA		Hb paragonite		3,28	x							
27	St Rémy	Arc-Isère	(A 363A)	476	A		Hb		3,19	x							
28	Topoy-Sambuis	Jarnalet	(JA 5A)	314	GA		Hb verte/Alf.		3,19	x							
29	Bordure St Colombar	Arc-Isère	(A 2980)	467	A(M)		Hb		3,18	x							
30	St Rémy	Route forestière	(D 19)	546	GA		Hb		3,15	x							

abréviations

type de roche : A : amphibolite banale  
AM : " " massive  
A(M) : " " à massive tacheté  
G : gneiss amphibolique  
GAR : " " " rubané  
GAm : " " " + migmatite  
G(A) : gneiss à grosses amphiboles  
GLA : gneiss leptyno-amphibolique  
α : angle d'extinction  
d : densité du minéral

associations minérales :

xx présence remarquable  
x présence significative  
(x) présence en faible quantité  
o en inclusion dans l'amphibole

minéraux :

An : plagioclase, teneur en anorthite  
Ep : épidote, Gr : Grenat, Bi : biotite,  
Chl : chlorite, Ms : muscovite et/ou séricite,  
Sph : sphène, Apat : apatite.

AMPHIBOLES

	DP44B	DP44A	DP42	LG3B	DP18A	DP43	C	DP84	DP18B	CC7	C2	GR43
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	C282	C283	C284	C287	C288	C289	C290	C291	C292	C293		
SI02	48.93*	49.91*	43.44*	43.72*	47.13*	43.70*	44.29*	43.85*	54.44*	43.81*		
AL203	8.98*	8.50*	11.24*	12.03*	11.23*	11.92*	10.75*	12.82*	3.47*	11.67*		
FEO	9.81*	9.67*	16.75*	15.78*	13.23*	16.28*	16.29*	16.29*	7.88*	16.32*		
MNO	0.22*	0.16*	0.34*	0.28*	0.27*	0.42*	0.35*	0.36*	0.17*	0.31*		
MGO	15.55*	15.92*	10.32*	11.19*	12.31*	11.22*	10.82*	10.10*	18.69*	10.99*		
CAO	12.78*	12.91*	11.41*	11.10*	11.67*	11.30*	11.41*	11.63*	12.55*	11.22*		
NA20	0.54*	0.61*	0.68*	1.23*	0.90*	0.65*	0.95*	1.19*	0.00*	1.13*		
K20	0.56*	0.39*	1.07*	0.12*	0.35*	0.73*	0.81*	0.58*	0.23*	0.19*		
TI02	0.51*	0.59*	1.70*	1.33*	1.15*	1.10*	1.52*	1.11*	0.38*	1.53*		
P205	0.06*	0.06*	0.06*	0.15*	0.05*	0.10*	0.13*	0.07*	0.08*	0.17*		
H20	1.00*	0.87*	0.66*	0.79*	0.84*	1.00*	1.06*	0.70*	1.42*	0.75*		
T	100.03*	100.66*	99.53*	99.46*	100.59*	100.24*	100.18*	100.52*	100.22*	99.90*		
NE OXY*	23*	23*	23*	23*	23*	23*	23*	23*	23*	23*		
SI	6.996*	7.061*	6.544*	6.516*	6.808*	6.516*	6.620*	6.501*	7.629*	6.522*		
AL	1.511*	1.415*	1.992*	2.109*	1.908*	2.091*	1.890*	2.236*	0.575*	2.048*		
FE3	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*		
FE2	1.169*	1.140*	2.103*	1.960*	1.593*	2.023*	2.029*	2.012*	0.920*	2.025*		
MN	0.027*	0.019*	0.043*	0.035*	0.033*	0.053*	0.044*	0.045*	0.022*	0.039*		
MG	3.335*	3.378*	2.332*	2.502*	2.667*	2.509*	2.426*	2.246*	3.929*	2.454*		
CA	1.959*	1.957*	1.842*	1.773*	1.804*	1.805*	1.827*	1.847*	1.884*	1.790*		
NA	0.149*	0.167*	0.198*	0.355*	0.252*	0.188*	0.275*	0.341*	0.000*	0.326*		
K	0.102*	0.070*	0.206*	0.023*	0.065*	0.139*	0.155*	0.110*	0.041*	0.036*		
TI	0.055*	0.063*	0.192*	0.149*	0.125*	0.123*	0.170*	0.123*	0.040*	0.171*		
P	0.007*	0.007*	0.008*	0.017*	0.006*	0.013*	0.016*	0.009*	0.009*	0.021*		

AMPHIBOLES

	A3017	BI22	GR53	GR36	DP7	GR42	DP33	A4127	DP84A	GR59
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	C294	C295	C296	C297	C298	C299	C350	C351	C352	C353
SI02	44.70*	47.22*	49.47*	47.43*	49.19*	42.08*	49.52*	45.00*	43.54*	51.21*
AL203	10.47*	11.70*	6.63*	9.04*	7.79*	11.28*	6.28*	11.89*	11.21*	5.04*
FEO	15.70*	12.97*	12.90*	13.94*	10.92*	15.87*	12.12*	16.16*	16.78*	10.77*
MNO	0.29*	0.23*	0.36*	0.25*	0.25*	0.28*	0.29*	0.30*	0.36*	0.26*
MGO	11.40*	12.96*	14.73*	12.88*	15.08*	11.06*	14.80*	10.96*	11.05*	16.66*
CAO	11.90*	11.52*	11.88*	10.89*	12.59*	11.39*	12.81*	11.24*	11.97*	11.80*
NA20	0.96*	0.41*	0.25*	0.96*	0.72*	0.79*	0.53*	1.25*	0.94*	0.40*
K20	0.69*	0.26*	0.62*	0.43*	0.30*	0.27*	0.53*	0.39*	0.65*	0.73*
TI02	0.87*	0.89*	0.86*	1.46*	1.01*	1.88*	0.73*	1.13*	1.48*	0.75*
P205	0.07*	0.07*	0.35*	0.13*	0.07*	0.18*	0.19*	0.05*	0.19*	0.30*
H20	0.80*	1.11*	1.16*	1.22*	1.24*	2.75*	0.75*	0.47*	0.76*	1.67*
T	99.59*	100.78*	100.64*	100.20*	100.35*	99.60*	99.94*	100.63*	100.78*	100.80*
NE OXY*	23*	23*	23*	23*	23*	23*	23*	23*	23*	23*
SI	6.681*	6.792*	7.148*	6.935*	7.067*	6.433*	7.174*	6.616*	6.482*	7.327*
AL	1.841*	1.980*	1.127*	1.555*	1.317*	2.029*	1.070*	2.057*	1.963*	0.848*
FE3	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
FE2	1.956*	1.555*	1.553*	1.699*	1.307*	2.022*	1.463*	1.980*	2.082*	1.284*
MN	0.037*	0.028*	0.044*	0.031*	0.030*	0.036*	0.036*	0.037*	0.045*	0.031*
MG	2.556*	2.796*	3.192*	2.825*	3.250*	2.536*	3.216*	2.417*	2.468*	3.575*
CA	1.906*	1.775*	1.839*	1.706*	1.938*	1.866*	1.988*	1.771*	1.909*	1.809*
NA	0.278*	0.114*	0.070*	0.272*	0.200*	0.234*	0.149*	0.356*	0.271*	0.111*
K	0.132*	0.048*	0.114*	0.080*	0.055*	0.053*	0.102*	0.073*	0.124*	0.133*
TI	0.098*	0.095*	0.093*	0.160*	0.109*	0.216*	0.079*	0.125*	0.165*	0.080*
P	0.009*	0.009*	0.043*	0.016*	0.008*	0.023*	0.023*	0.006*	0.024*	0.036*

AMPHIBOLES

	PAU32	DF85	DP29	JLV2	A4174	91	96	97
	21	22	23	24	25	26	27	28
	C390	C391	C392	C393	C394	MA59C	A363	JASA
SI02	45.50*	44.94*	45.72*	41.55*	42.58*	44.11*	45.85*	45.46*
AL203	10.34*	10.26*	9.34*	12.75*	12.51*	10.47*	8.34*	11.04*
FEO	17.05*	17.21*	16.61*	17.33*	18.47*	17.78*	18.23*	16.70*
MNO	0.37*	0.39*	0.35*	0.33*	0.44*	0.36*	0.55*	0.34*
MGO	10.50*	10.57*	10.80*	9.38*	8.37*	8.54*	8.60*	10.57*
CAO	11.24*	12.14*	12.26*	11.64*	11.56*	11.02*	12.05*	11.18*
NA20	0.79*	0.85*	0.72*	0.91*	0.83*	1.25*	1.06*	1.31*
K20	0.43*	0.68*	0.81*	0.76*	2.20*	0.38*	0.43*	0.25*
TI02	1.27*	1.25*	1.08*	1.81*	1.05*	2.63*	2.37*	0.84*
P205	0.09*	0.05*	0.13*	0.12*	0.09*	0.08*	0.34*	0.12*
H20	0.51*	0.56*	0.50*	0.43*	0.35*	0.50*	0.40*	0.60*
T	99.97*	100.82*	100.16*	98.94*	100.51*	99.09*	100.24*	100.26*
NE OXY*	23*	23*	23*	23*	23*	23*	23*	23*
SI	6.765*	6.679*	6.806*	6.321*	6.447*	6.675*	6.872*	6.729*
AL	1.809*	1.794*	1.836*	2.282*	2.228*	1.864*	1.471*	1.923*
FE3	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
FE2	2.112*	2.131*	2.061*	2.197*	2.330*	2.242*	2.277*	2.060*
MN	0.046*	0.049*	0.044*	0.042*	0.056*	0.046*	0.070*	0.043*
MG	2.342*	2.356*	2.412*	2.140*	1.901*	1.938*	1.933*	2.347*
CA	1.791*	1.933*	1.955*	1.897*	1.675*	1.787*	1.935*	1.773*
NA	0.227*	0.245*	0.207*	0.268*	0.243*	0.366*	0.307*	0.375*
K	0.082*	0.129*	0.154*	0.148*	0.425*	0.073*	0.082*	0.047*
TI	0.142*	0.139*	0.121*	0.207*	0.119*	0.298*	0.266*	0.093*
P	0.011*	0.003*	0.016*	0.015*	0.012*	0.010*	0.043*	0.015*

Résultats analytiques K-Ar des Amphiboles

n° d'ordre	n° Argon	n° échant	localité	type roche	(10 <sup>6</sup> cc TPX/g)	% rad	% K	40 Ar/36 Ar	40 K/36 Ar x 10 <sup>6</sup>	âge tMa
1	217	DP 44B	Les Roches(St Colomban)	AM	7, 191	88,792	0,459	26,16	9,759	372 ± 17
2	144	DP 44A	Les Roches(St Colomban)	A(M)	5, 033	78,833	0,429	1396	6,14	285 ± 11
3	213	DP 42	Le Solliet(Eau d'Ouille)	GAR	12, 3563	91,29	0,874	3393	11,9	400 ± 17
4	131	LG 38	Site P. Huez (Gdes Rousses)	A	4, 4033	78,331	0,156	1139	2,56	622 ± 25
5	176 185	DP 18A	St Rémy de Maurienne	GA	11, 924 10, 996	93,459 81,965	0,326	4518 1605	7,55 2,54	771 ± 30 722 ± 29
6	200	DP 43	Le Solliet(Eau d'Ouille)	GAR	7, 959	49,164	0,603	588	1,45	317 ± 15
8	136 185	DP 18B	St Rémy de Maurienne	GAm	13, 847 12, 526	91,518 52,534	0,500	3484 623	7,24 0,85	612 ± 24 562 ± 22
9	137	CC 7	Croix du Truchet	GA	3, 7224	76,733	0,226	1273	3,38	338 ± 15
10	183	GR 43	Site P. Huez (Gdes Rousses)	GA	3, 2275	69,996	0,196	985	2,738	333 ± 22
11	124	A 3017	Arc Isère Gr. St Rémy	GAm	8, 532	79,803	0,566	1463	5,07	358 ± 14
12	135	Bi 22	Stomont	GA	10, 4058	38,966	0,291	2678	3,57	353 ± 34
13	143	GR 53	Chap. St Nicolas (G.R.)	GA	7, 919	38,7125	0,524	2618	10,051	359 ± 16
14	207	GR 36	Ro. Outaris (Gdes Rousses)	GA	2, 247	67,599	0,367	912	6,587	154 ± 9
15	129	DP 7	Gros Trou (Eau d'Ouille)	GAm	5, 4696	75,121	0,265	1188	2,83	475 ± 19
16	122	GR 42	La Rochette (Gdes Rousses)	A(M)	4, 7465	51,1168	0,243	505	1,04	452 ± 18
17	214	DP 33	Vallée Isère (Cevins)	G(A)	8, 4749	53,722	0,222	639	1,384	383 ± 28
18	184	A 4127A	Galerie Arc Isère	GA	4, 3670	13,993	0,348	344	0,25	303 ± 12
19	208	DP 34A	Rampes des Comnères	A(M)	9, 526	70,293	0,597	995	2,870	377 ± 21
20	212	GR 59	Roche Noire	8	5, 1074	29,375	0,494	421	0,796	253 ± 30
21	201	PAL 132	Montcellafrey	A	4, 5640	74,887	0,398	1177	5,025	279 ± 15
22	211	DP 85	Bourg d'Oisans (Clapier)	GAm	10, 6129	91,398	0,524	3435	12,083	400 ± 17
23	164	DP 29	Vallée Isère (Cevins)	G(A)	15, 693	88,113	0,594	2486	5,43	587 ± 27
24	221	JIV 2	Lac de la Croix	GA	10, 195	91,197	0,720	3557	14,197	337 ± 15
25	148	A 4174	Arc Isère	GA	34, 79	69,993	2,177	985	2,35	446 ± 18
26	106	MA 59C	Vallée Maurienne	GA	3, 726	69,959	0,341	984	3,85	284 ± 13
27	41	A 363	Galerie Arc Isère	GA	7, 3096	15,147	0,353	348	0,167	476 ± 19
28	112	JA 3A	Jarnalot	GA	3, 536	62,522	0,271	776	1,85	314 ± 12
29	186	A 2980	Arc Isère	A(M)	8, 893	85,438	0,419	2036	5,625	467 ± 22
30	165	DP 19	Route forest. St Rémy	GA	16, 406	18,483	0,676	363	0,1807	546 ± 22

type de roche : A, amphibolite banale G(A), gneiss amphibolique rubané A(M), " tacheté GAm, " migmatitique. AR, " massive GAR, " gneiss leptyno-amphibolique

LE GRANITE DES SEPT-LAUX

1. TABLEAU ANALYTIQUE Rb/Sr
2. ANALYSES CHIMIQUES

## GRANITE DES SEPT-LAUX

n°	N° échantillon	87Rb/86Sr	erreur	87Sr/86Sr	erreur
1	A 5398	0.6580	0.0132	0.70908	0.0005
2	A 5650	0.5400	0.0108	0.70949	0.0005
3	A 5756	0.5170	0.0103	0.70900	0.0005
4	A 5952	0.5840	0.0117	0.70933	0.0005
5	A 6029	0.5990	0.0120	0.70937	0.0005
6	A 6200	0.8160	0.0163	0.71011	0.0005
7	A 6259	0.7320	0.0146	0.71042	0.0005
8	A 6470	1.4790	0.0296	0.71366	0.0005
9	A 6550	1.5140	0.0303	0.71332	0.0005
10	A 6575	0.6520	0.0130	0.71017	0.0005
11	A 6755	0.3750	0.0075	0.70802	0.0005
12	A 6935	0.4600	0.0092	0.70902	0.0005
13	A 7230	0.5950	0.0119	0.70895	0.0005

## SEPT-LAUX

\* A 5398\* A 5650\* A 5756\* A 5952\* A 6029\* A 6200\*

\* 1 \* 2 \* 3 \* 4 \* 5 \* 6 \*

SiO2	* 71.01*	70.63*	68.98*	68.51*	69.17*	70.53*
Al2O3	* 15.23*	15.62*	15.81*	15.81*	15.95*	15.63*
Fe2O3	* 1.44*	1.53*	1.73*	2.05*	2.09*	1.64*
MnO	* 0.02*	0.01*	0.05*	0.01*	0.04*	0.03*
MgO	* 0.65*	0.81*	0.87*	1.09*	1.00*	0.69*
CaO	* 1.54*	1.65*	1.87*	1.97*	2.04*	1.66*
Na2O	* 4.43*	4.49*	4.54*	4.24*	4.17*	4.37*
K2O	* 4.07*	4.06*	4.24*	4.23*	4.27*	3.96*
TiO2	* 0.24*	0.25*	0.27*	0.33*	0.36*	0.30*
P2O5	* 0.13*	0.13*	0.13*	0.14*	0.23*	0.19*
H2O	* 0.98*	0.88*	0.88*	0.96*	0.76*	1.00*

\* A 6259\* A 6470\* A 6550\* A 6576\* A 6755\*

\* 7 \* 8 \* 9 \* 10 \* 11 \*

SiO2	* 70.21*	66.78*	58.86*	70.74*	68.30*
Al2O3	* 16.00*	14.55*	12.52*	15.72*	15.84*
Fe2O3	* 1.77*	3.15*	4.45*	1.71*	2.13*
MnO	* 0.03*	0.04*	0.10*	0.05*	0.04*
MgO	* 0.62*	2.88*	5.58*	0.79*	0.87*
CaO	* 1.75*	1.85*	5.37*	1.70*	2.11*
Na2O	* 4.48*	4.26*	2.27*	4.24*	4.58*
K2O	* 3.84*	3.61*	5.94*	3.90*	4.18*
TiO2	* 0.28*	0.53*	0.79*	0.30*	0.30*
P2O5	* 0.17*	0.44*	0.93*	0.09*	0.15*
H2O	* 0.75*	1.00*	2.55*	1.26*	0.69*

ANNEXE VII

LE GRANITE DE SAINT-COLOMBAN

1. TABLEAU ANALYTIQUE Rb/Sr

2. ANALYSES CHIMIQUES

## GRANITE DE SAINT-COLOMBAN

n°	N° échantillon	87Rb/86Sr	erreur	87Sr/86Sr	erreur
1	A 655 B	2.3780	0.0476	0.72105	0.0005
2	A 681	2.0400	0.0408	0.72013	0.0005
3	A 703	2.8450	0.0569	0.72151	0.0005
4	A 1229	2.0380	0.0408	0.71329	0.0005
5	A 1395	1.2760	0.0255	0.71359	0.0005
6	A 1420	1.1660	0.0233	0.71601	0.0005
7	A 1675	1.8550	0.0371	0.71492	0.0005
8	A 2658	1.6730	0.0335	0.71725	0.0005

## ST-COLOMBAN

	* 1	* 2	* 3	* 4	* 6	* 7	* 8	*
	* A 665 * A 681 * A 703 * A 1229* A 1420* A 1675* A 2658*							
SiO <sub>2</sub>	* 68.96*	69.16*	68.60*	70.06*	64.95*	69.34*	68.24*	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	* 15.46*	15.93*	15.97*	14.58*	16.55*	14.94*	16.02*	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	* 2.51*	2.66*	2.49*	2.06*	3.34*	2.24*	1.92*	
MnO	* 0.05*	0.06*	0.05*	0.04*	0.02*	0.02*	1.15*	
MgO	* 1.30*	1.13*	1.35*	1.38*	1.56*	1.59*	1.28*	
CaO	* 2.66*	2.99*	1.42*	0.55*	2.35*	0.57*	1.81*	
Na <sub>2</sub> O	* 3.87*	4.08*	3.74*	4.71*	3.97*	3.38*	4.57*	
K <sub>2</sub> O	* 3.56*	3.48*	4.71*	4.07*	4.28*	4.90*	4.39*	
TiO <sub>2</sub>	* 0.37*	0.26*	0.37*	0.29*	0.49*	0.33*	0.36*	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	* 0.14*	0.00*	0.27*	0.08*	0.18*	0.14*	0.19*	
H <sub>2</sub> O	* 0.70*	0.69*	1.37*	1.18*	1.07*	1.25*	1.18*	

ANNEXE VIII

LE GRANITE DE LA LAUZIÈRE

1. LOCALISATION ET DESCRIPTION DES ECHANTILLONS
  - ISOCHRONE "HAUTE"
  - ISOCHRONE "BASSE"
2. TABLEAU ANALYTIQUE Rb/Sr
3. ANALYSES CHIMIQUES

## DESCRIPTION ET LOCALISATION DES ÉCHANTILLONS DE L'ISOCHRONE "HAUTE"

1. RT 8752 (AGL4)

Au sud du Grand Parc

L : 6° 24' 01" ; l : 45° 29' 49" ; Alt : 2 120 m

Faciès granitique à grain grossier (4mm) équiant, les ferromagnésiens sont peu abondants. Quartz assez gros, biotite fraîche, microcline perthitique, plagioclase séricitisé légèrement.

2. RT 8754 (AGL I)

Au pied de la barre rocheuse du Rocher de Sarvatan, en direction du Col de Sarvatan.

L : 6° 21' 09" ; l : 45° 26' 34" ; Alt : 2 350 m.

Faciès granitique leucocrate, équiant, à grain moyen à grossier (4 mm) idem que RT 8752. La biotite est peu abondante (inf. à 5%) mais fraîche. Orthose perthitique (flammèches), plagioclases à macles légèrement déformées et peu séricitisés, gros quartz avec des bandes de déformation. Les limites de grains sont nettes.

3. RT 8758 (AGL 11)

Près du chalet "Le Pissus"

L : 6° 24' 45" ; l : 45° 31' 40" ; Alt. 1 800 m

Faciès monzosyémitique de la partie septentrionale du massif. Grenite à grain grossier (5 mm et plus) isogranulaire riche en ferromagnésiens ; biotite légèrement chloritisée (plus de 10 %) amphibole (5%), peu de quartz, les sphènes sont visibles à l'oeil nu.

4. RT 8759 (PAL 27)

Au pied nord de la barre du Grand Parc, sur le chemin qui va à l'Arpette.

L : 6° 23' 58" ; l : 45° 30' 02" ; Alt : 2 020 m

Faciès monzosyémitique, idem que RT 8758. Quartz peu abondant, plagioclases (An 30) à macles déformées et peu séricitisés, microcline perthitique, biotite verte légèrement déformée, hornblende verte maclée, gros sphène, apatite et muscovite. Limites des grains nettes avec un peu de séricite.

5. RT 8761 (PAL 17)

La Louche Percée

L : 6° 20' 25" ; l : 45° 26' 15" ; Alt : 2 190 m

Faciès granite leucocrate à grain moyen, équigranulaire. Peu de ferromagnésien. Quartz plurimillimétrique à extinction roulante, plagioclase (An 10-20) à coeur séricitisé peu poecilitique et peu automorphe, microcline intermédiaire perthitique et poecilitique à tendance automorphe, peu de biotite verte chloritisée et disséminée en petits nids d'individus accolés, sphène et apatite.

6. RT 9248 (DP 80)

Près du Roc Rouge, sur la ligne de crête en direction du Nord.

L : 6° 20' 27" ; l : 45° 26' 11" ; Alt : 2 380 m

Faciès granitique leucocrate idem que RT 8761, à grain moyen équiant, peu de ferromagnésiens, couleur crème à légèrement rosé.

7. RT 9245 (PAL 102)

A l'Ouest de la Pointe de Glais Rouge. Dans la partie septentrionale du complexe granitique, sur la ligne de crête.  
 L : 6° 25' 33" ; l : 45° 32' 08" ; Alt 2 160 m  
 "leucocranite", faciès particulier qui n'affleure que localement. Granite leucocrate à grain fin (3mm) plus fin que le faciès granitique clair type RT 8761. Il n'est pas filonien et le passage au faciès banal est flou. Texture légèrement cataclastique, quartz en petits grains à points triples, tendance à former des bandes qui moulent les feldspaths. Plagioclases à macles déformées, séricitisés. Feldspaths potassiques à extinction ondulante, séricite qui moule les feldspaths.

8. RT 9246 (DP73)

Sur la ligne de crête, en direction du Col du Loup.  
 L : 6° 24' 30" ; l : 45° 30' 44" ; Alt : 2 075 m  
 "Leucogranite" idem que RT 9245 mais la texture est moins cataclastique. Quartz en petits grains, plagioclase altéré en séricite (An 10), biotite chloritisée, gros sphères plus ou moins arrondis. Limites de grains assez nettes. Les grains sont assez petits et de tailles variables.

## DESCRIPTION ET LOCALISATION DES ÉCHANTILLONS DE L'ISOCHRONE "BASSE"

9. RT 8753 (GP1)

Depuis la mine des Alouettes, en direction du Rocher de Sarvatan.  
 L : 6° 21' 35" ; l : 45° 26' 32" ; Alt. 2 380 m  
 Granite à grain grossier, peu biotitique, très riche en FK.

10. RT 8755 (PAL 7)

Au pied de la barre rocheuse du Roc Rouge.  
 L : 6° 20' 16" ; l : 45° 26' 00" ; Alt : 2 265 m  
 Granite, faciès clair, à grain grossier, de couleur légèrement rosée, avec quelques rares biotites vertes. Structure non orientée, mais texture légèrement cataclastique. Les limites de grains et cassures sont remplies d'oxydes et de séricite. Quartz en gros élément à extinction roulante avec une tendance de formation de sous-grains, plagioclase séricitisé à macle déformée, gros microcline à tendance automorphe en plus grande quantité que les plagioclases.

11. RT 8756 (PAL 31)

Près du Chalet de Colomban, proche de la bordure occidentale du granite.  
 L : 6° 24' 17" ; l : 45° 30' 47" ; Alt : 1 915 m  
 Faciès monzosyénitique à grains grossiers. Peu de quartz, FK perthitique et zoné, plagioclase altéré en séricite, myrmékites, quelques hornblendes, gros sphères, apatite et épidote.

12. RT 8757 (13 (ED) 34)

En bordure septentrionale du complexe granitique, proche de Pussy.  
 L : 6° 26' 37" ; l : 45° 33' 40" ; Alt :  
 Faciès monzosyénitique. Faciès ou dominant les derromagnésiens : biotite chloritisée, amphibole (hornblende verte) et sphère. Couleur vert foncé. Peu de légèrement cataclastique. Le quartz donne des petits grains à points triples, gros microcline perthitiques séricitisés, plagioclase séricitisés, biotite altérée et hornblende.

13. RT 8760 (2'FG 12)

Partie septentrionale du massif.  
 L : 6° 25' 03" ; l : 45° 32' 36" ; Alt : 2 130 m.  
 Granite isogranulaire, leucocrate, pauvre en biotite millimétrique. Gros grains. Limites de grains nettes. Plagioclase (An 5-10) séricitisés moins abondants que les microclines perthitiques gros et frais, quartz à extinction ondulante, biotite chloritisée en petits amas, opaques, épidote, apatite et sphère.

14. RT 9247 (DP 75)

De Lachat en direction du Col du Loup.  
 L : 6° 24' 33" ; l : 45° 30' 41" ; alt. 2 075 m.  
 Faciès filonien, aplitique, granulométrie plus fine que le faciès normal. Quartz en petits individus, FK perthitique, plagioclase peu séricitisé, biotite brun verdâtre en petite baguette peu chloritisée, sphère à aspect corrodé, épidote.

15. RT 9249 (DP 81)

Roc Rouge  
 L : 6° 20' 30" ; l : 45° 26' 07" ; Alt : 2 395 m.  
 Faciès granite leucocrate, à gros grain de quartz à extinction ondulante, plagioclase (An 15) séricitisé à macle déformée, microcline automorphe frais, petits amas de biotite verte, quelques opaques, apatite à aspect corrodé, zircon, épidote.

## GRANITE DE LA LAUZIÈRE

N°	N° échant.	N° Clermont	Rb (ppm)	Sr (ppm)	87Rb/86Sr	erreur	87Sr/86Sr	erreur
1	AGL 4	RT 8752	244	260.7	2.7106	0.008	0.7169	0.0006
2	AGL 1	RT 8754	309.6	165	5.442	0.02	0.7262	0.0010
3	AGL 11	RT 8758	236.6	1234.5	0.555	0.02	0.7110	0.0010
4	PAL 27	RT 8759	187.6	361	1.506	0.04	0.7137	0.0006
5	DP 80	RT 9248	307.3	70.8	12.50	0.40	0.7539	0.0009
6	PAL 102	RT 9245	212.3	161.6	3.807	0.09	0.7225	0.0008
7	PAL 17	RT 8761	284.2	78.3	10.54	0.30	0.7466	0.0010
8	DP 73	RT 9246	201.7	584.1	0.999	0.040	0.7105	0.0008
	AGL 1	Bi 8754	2260.1	51.1	131.841	3.9	1.0165	0.0010
	" "	FK 8754	909	86.3	30.607	0.90	0.7511	0.0010
	" "	Pl 8754	51.5	205	0.7289	0.02	0.7253	0.0006
9	GP I	RT 8753	287.9	177.5	4.702	0.10	0.7208	0.0003
10	PAL 7	RT 8755	274.3	46.5	17.17	0.50	0.7604	0.0008
11	PAL 31	RT 8756	245.8	1083.4	0.6562	0.02	0.7075	0.0006
12	13 ED 34	RT 8757	245.5	1111.9	0.6627	0.020	0.7089	0.0006
13	2 'FG 12	RT 8760	250.4	167	4.3423	0.10	0.7185	0.0004
14	DP 75	RT 9247	397	278.8	4.1249	0.10	0.7193	0.0006
15	DP 81	RT 9249	313	61.3	14.85	0.4	0.7508	0.0009

## LAUZIÈRE

	* AGL 4 *	AGL 1 *	AGL 11 *	PAL 27 *	PAL 10 *	PAL 17 *	DP80 *	DP73 *
	1	2	3	4	6	7	5	8
	* 8752 *	* 8754 *	* 8758 *	* 8759 *	* 9245 *	* 8761 *	* C358 *	* C355 *
SiO2	* 72.05*	74.04*	55.71*	69.08*	74.04*	76.28*	77.00*	71.16*
AL2O3	* 14.70*	14.52*	16.16*	15.42*	14.23*	13.28*	13.02*	15.49*
FE2O3	* 1.75*	1.24*	5.89*	2.09*	0.62*	0.84*	1.03*	1.68*
MNO	* 0.03*	0.03*	0.08*	0.02*	0.01*	0.02*	0.03*	0.03*
MGO	* 1.07*	0.48*	4.77*	1.43*	0.47*	0.22*	0.24*	0.53*
CAO	* 0.54*	0.72*	3.54*	0.54*	0.13*	0.28*	0.28*	0.96*
NA2O	* 4.13*	4.05*	3.55*	3.73*	3.55*	3.81*	3.45*	3.78*
K2O	* 5.24*	4.98*	6.51*	5.66*	5.13*	4.80*	4.58*	4.84*
TI02	* 0.29*	0.17*	1.28*	0.48*	0.09*	0.14*	0.15*	0.32*
P2O5	* 0.11*	0.06*	0.60*	0.16*	0.02*	0.04*	0.03*	0.09*
H2O	* 0.66*	0.32*	1.28*	0.93*	0.72*	0.42*	0.44*	0.72*
T	* 100.57*	100.61*	99.37*	99.54*	99.01*	100.13*	100.24*	99.59*

## LAUZIÈRE

	* 13ED34 *	2'FG12 *	PAL 7 *	PAL 31 *	DP75 *	DP81 *
	12	13	10	11	14	15
	* 8757 *	* 8760 *	* 8755 *	* 8756 *	* C356 *	* C359 *
SiO2	* 58.13*	67.69*	79.14*	62.48*	64.27*	77.12*
AL2O3	* 15.16*	14.81*	11.69*	16.33*	15.21*	12.70*
FE2O3	* 5.81*	3.57*	1.09*	4.06*	3.86*	1.00*
MNO	* 0.09*	0.03*	0.01*	0.05*	0.08*	0.03*
MGO	* 4.77*	1.54*	0.00*	2.17*	2.48*	0.42*
CAO	* 3.60*	0.89*	0.17*	2.35*	1.95*	0.17*
NA2O	* 2.61*	3.29*	3.13*	3.92*	2.41*	3.13*
K2O	* 6.08*	6.29*	5.01*	6.54*	7.68*	4.60*
TI02	* 1.35*	0.53*	0.11*	0.89*	0.89*	0.14*
P2O5	* 0.57*	0.30*	0.03*	0.29*	0.39*	0.05*
H2O	* 1.03*	0.89*	0.55*	0.81*	1.67*	0.42*
T	* 99.20*	99.83*	100.93*	99.89*	100.89*	99.78*

ANNEXE IX

LE GRANITE DU ROCHAIL

- 1. LOCALISATION ET DESCRIPTION SOMMAIRE DES ECHANTILLONS
- 2. TABLEAU ANALYTIQUE Rb/Sr
- 3. ANALYSES CHIMIQUES

Carte topographique IGN, 1/25 000è, Vizille est (33-35), La Mure est (3-4)

RT 9275 (GR 148)

En bordure de la D 219 reliant le Bourg d'Oisans à Villard-Notre-Dame, après le virage coté 1 214 m. Près du lieu-dit "Le Creux".  
L : 6° 2' 57" E ; l : 45° 1' 30" N ; Alt. 1 240 m  
Granite équivalent à grain moyen, couleur rose et légèrement vert (type granite du Clapier), à biotite chloritisée et plagioclase vert et microcline rose.

Microscope : contacts des minéraux assez nets. Quartz avec une légère extinction ondulante et peu à pas engrené. Plagioclase à cœur séricitisé. Toutes les biotites, en section effilochée toutes voie de chloritisation. Microcline perthitique poecilitique. Quelques accessoires : apatite, sphène, épidote.

RT 9276 (GR 149)

Au sud de Villard-Notre-Dame et à l'Est du point coté 1 513 m. Près du ruisseau du Villard (sur le même affleurement plusieurs faciès échantillonnés).

L : 6° 2' 45" E ; l : 45° 1° 06" N ; Alt. 1 450 m

A proximité de l'encaissant on a tous les faciès. Granite à granulométrie hétérogène, couleur gris à rosé, à passés plus ou moins riches en biotite peu à pas chloritisée, à passées hololeucocrates de granulométrie plus ou moins grossière. Passées riche en biotite, altérée en chlorite. Microcline automorphe frais, plagioclase à cœur séricitisé et "rongé" par le microcline, peu de quartz, quelques opaques et apatite.

RT 9277 (GR 150)

Même localisation que RT 9276.

Faciès hololeucocrate à grain grossier. Quelques biotites fraîches, d'autres peu chloritisées, plagioclases peu séricitisés, microcline, quartz. Légèrement porphyroïde. Accessoires, apatite, séricite.

RT 9278 (GR 151)

Même localisation que RT 9276

Passée "pegmatitique" diffuse dans le granite. Faciès à grain grossier, avec peu de biotite. Oligoclase rongé par le microcline, myrmékites au contact. Le microcline automorphe est perthitique de même que l'oligoclase. Quelques opaques, apatite, séricite et chlorite.

RT 9279 (GR 152)

Même localisation que RT 9276

Passée leucocrate sub-pegmatitique gris clair. Quartz à extinction ondulante, oligoclase, microcline perthitique et poecilitique, peu de séricite.

RT 9349 (GR 73)

Au pied de la falaise ouest gauchère rive gauche Vénéon.  
L : E6° 3' 51" ; l : N44° 54' 38" ; Alt. 800 m.

## RT 9350 (GR 74)

Sur le petit chemin longeant le Vénéon en rive gauche 250 m  
au nord de la cascade de la Pisse (Ruisseau du Vallon).  
L : E6° 3' 26" ; l : N45° 01' 13" ; Alt. 750 m

## RT 9351 (GR 147)

En bordure de la D 219 qui va de Bourg d'Oisans à Villard Notre  
Dame, après le virage 1 214 m.  
L : E6° 02' 57" ; l : N 45° 01' 30" ; Alt. 1 240 m  
Granite à grain très fin, leucocrate gris clair. Faciès filonien

## GRANITE DU ROCHAIL

N°	N° échant.	N° Clermont	Rb (ppm)	Sr (ppm)	87Rb/86Sr	erreur	87Sr/86SR	erreur
1	GR 73	RT 9349	0.35	3.61	0.280	0.009	0.7056	0.0010
2	GR 148	RT 9275	204	391.2	1.5094	0.040	0.7128	0.0009
3	GR 149	RT 9276	322.3	379.7	2.4597	0.070	0.7169	0.0010
4	GR 150	RT 9277	268.1	238.5	3.258	0.090	0.7195	0.0008
5	GR 151	RT 9278	312.6	148.8	6.099	0.18	0.7342	0.0010
6	GR 152	RT 9279	268.1	199	3.812	0.10	0.7220	0.0010
7	GR 74	RT 9350	0.20	4.4	0.147	0.005	0.7100	0.0001
8	GR 147	RT 9351	225.1	35.4	18.54	0.60	0.7832	0.0007

## ROCHAIL

\* GR 148\* GR 149\* GR 150\* GR 151\* GR 152\* GR 73 \* GR 74 \* GR 147\*  
\* 9275 \* 9276 \* 9277 \* 9278 \* 9279 \* 9349 \* 9350 \* 9351 \*

SiO2	*	72.59*	62.39*	66.70*	65.82*	52.75*	69.80*	69.30*	76.55*
Al2O3	*	13.58*	18.63*	14.19*	18.63*	17.33*	16.80*	14.80*	12.45*
Fe2O3	*	1.54*	2.92*	4.53*	2.15*	9.27*	1.30*	1.90*	0.59*
FeO	*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	1.30*	0.90*	0.00*
MnO	*	0.03*	0.04*	0.09*	0.02*	0.26*	0.00*	0.00*	0.00*
MgO	*	1.00*	1.46*	2.51*	0.29*	5.15*	0.50*	1.70*	0.06*
CaO	*	0.83*	0.76*	0.97*	0.35*	1.39*	1.60*	1.10*	0.36*
Na2O	*	4.04*	6.98*	3.55*	6.09*	3.65*	3.15*	4.05*	4.13*
K2O	*	3.93*	5.83*	4.80*	6.30*	5.13*	3.50*	4.35*	4.02*
TiO2	*	0.14*	0.44*	0.77*	0.13*	1.20*	0.45*	0.30*	0.00*
P2O5	*	0.00*	0.23*	0.40*	0.05*	0.84*	0.20*	0.20*	0.00*
H2O	*	0.35*	1.08*	1.33*	0.52*	3.00*	0.85*	0.75*	0.35*
T	*	98.51*	100.80*	99.84*	100.40*	99.97*	99.45*	99.35*	98.51*

## ANNEXE X

## GRANITES DE ROCHE-NOIRE ET DE LA-FARE

1. LOCALISATION ET DESCRIPTION SOMMAIRE DES ECHANTILLONS
  - A. LE GRANITE DE ROCHE-NOIRE
  - B. LE GRANITE DE LA-FARE
2. TABLEAU ANALYTIQUE Rb/Sr
3. ANALYSES CHIMIQUES

(Carte topographique Vizille Est 1/25 000<sup>e</sup> n° 33-35, IGN, 1978)

A. GRANITE DE ROCHE-NOIRE  
(n° ordre/n° géologue/n° labo Grenoble)/n° labo Clermont-Ferrand)

1. GR 91 (A161) RT 9345

Granite moyen rose et vert, peu orienté et légèrement porphyroïde  
L : E6° 04' 53" ; l : N45° 07' 00" ; Alt. 2 040 m  
Au Sud Ouest du Lac-Noir, à 300 m.  
Quartz, plagioclases verdis, séricitisés, peu de chlorite plus  
ou moins chloritisée, FK rose 5 à 8 mm abondants perthitiques,  
bandes de quartz en individus très petits, à extinction roulante  
qui moulent les grains de feldspaths.

2. GR 95 (A274) RT 9346

Granite à grain grossier à tendance porphyroïde, vert-clair et  
blanc cassé. Peu à pas orienté.  
L : E6° 05' 08" ; l : N45° 08' 12" ; Alt. 1 900 m  
Au nord du Ravin de la Combe.  
Quartz et plagioclases séricitisés, moulés légèrement par la  
biotite chloritisée et par des zones déformées (quartz).

3. GR 98 (A58) RT 9347

Granite à grain moyen, clair vert et rose, peu orienté  
L : E6° 05' 04" ; l : N45° 07' 02" ; Alt. 2 050 m  
250 m au NW du Lac Noir.  
Quartz, plagioclases verdis abondants en quantité supérieure  
aux feldspaths K de taille moyenne. Biotite complètement  
chloritisée.

4. GR 92 (A296)

Granite à grain moyen, 1 à 4 mm, grenu, riche en biotite,  
légèrement orienté.  
L : E6° 04' 48" ; l : N45° 07' 00" ; Alt. 2 000 m.  
300 m au SW du Lac Noir.  
Quartz, plagioclases séricitisés, biotites peu à pas chloritisées.  
FK de 3 mm, non porphyroïde.

5. GR 99 (A157) RT 9496

Granite à grain moyen à grossier, à tendance porphyroïde, rose  
et vert clair, peu orienté. Lits de chlorites entre grains.  
L : 06° 04' 50" ; l : N45° 07' 13" ; Alt. 1 810 m  
Proche du ruisseau du Lac Noir  
Zones granitiques peu déformées ; avec quartz, peu de plagioclases  
An 10-15, blancs et altérés, beaucoup de FK rosés en  
mégacristaux et xénomorphes souvent poecilitique. Biotites peu  
chloritisées, chlorites séricite, épidote, apatite. Dans les  
zones plus déformées le quartz est recristallisé en petits  
individus. Les grains sont plus ou moins

B. GRANITE DE LA-FARE /

## 6. GR 90 (A261) RT 9342

Granite gris à grain fin, clair, légèrement orienté.  
Faciès de bordure.

L : 06° 05' 34" ; l : N45° 05' 49" ; Alt. 2 010 m.

Au SSW des cabanes du Poutat, près des sources captées. Quartz en petits individus qui moulent les plagioclases plus ou moins cassés et séricitisés, les feldspaths K aussi. Séricité abondante disposée en lits fins, qui moulent les grains de feldspaths.

## 7. GR 100 (A284) RT 9343

Granite à grain grossier, rose et vert pâle, grenu et noir orienté (ressemble au granite de Roche Noire n° 5).

L : E6° 06' 24" ; l : N45° 08' 55" ; Alt. 2 190 m.

A la base de la falaise du point coté 2 475, très au nord du refuge de La Fare.

Quartz en petits individus, aspect dentelé, ils déterminent des bandes qui moulent les plagioclases séricitisés et les FK perthitiques. La séricité commence à donner de petits filonnets.

## 8. GR 102 (A288) RT 9344

Granite gris clair grenu à grain moyen à fin peu à pas biotitique.

L : E6° 06' 20" ; l : N45° 09' 24" ; Alt. : 1 970 m.

Au NE de la falaise du point coté 2 002 (N des Grandes-Rousses).

Quartz à individus de taille variable, aspect dentelé et engrenés, commence à mouler les plagioclases séricitisés et cassés (séricité dans les cassures) FK perthitiques cassés, très peu de chlorite.

## 9. GR 86 (A155)

Granite rosé (vert clair et rosé) peu à pas orienté (Référence L. GIORGI, 1979, p. 63) à granulométrie variable.

L : E6° 06' 16" ; l : N45° 03' 26" ; Alt. 2 280 m

Replat avant le Refuge de La Fare.

Quartz, plagioclases An 10-15 souvent maclé albite et parfois zoné, peu séricitisé, FK rarement automorphes, perthitiques, biotites chloritisées.

Chlorite en lits qui moulent les grains de feldspaths, avec le quartz à l'aspect engrené en petits individus.

## 10. GR 93 (A 154)

Granite gris, à vert pâle, grain fin à moyen, peu orienté.

L : E6° 05' 30" ; l : N45° 08' 42" ; Alt. 1 900 m.

250 m au NE du point coté 1 810, au nord des chalets de l'Alpette.

Quartz en petits individus, à structure engrené, il délimite les grains de plagioclase plus gros, très séricitisé avec des cassures remplies de séricité. Les FK sont moins séricitisés, ils sont en voie de microclinisation, ils sont poecilithiques.

## GRANITES DE ROCHE-NOIRE ET DE LA-FARE

N°	N° échant.	N° Clermont	Rb (ppm)	Sr (ppm)	87 Rb/86Sr	erreur	87Sr/86Sr	erreur
1	GR 91	RT 9345	165.6	294.9	1.6264	0.05	0.7121	0.0010
2	GR 95	RT 9346	123.4	370.6	0.9642	0.03	0.7106	0.0006
3	GR 98	RT 9347	252.4	294.2	2.4843	0.07	0.7114	0.0007
4	GR 92	RT -	126.7	519.2	0.7067	0.02	0.7078	0.0002
5	GR 99	RT 9496	167.7	256.3	1.895	0.05	0.7197	0.0005
6	GR 90	RT 9342	128.9	68.4	5.461	0.20	0.7170	0.0007
7	GR 100	RT 9343	278.6	107.4	7.523	0.20	0.7221	0.0008
8	GR 102	RT 9344	268.9	53.95	14.49	0.40	0.7533	0.0009
9	GR 86	RT -	206.3	228.4	2.618	0.07	0.7208	0.0010
10	GR 93	RT -	246.7	227.4	3.142	0.09	0.7160	0.0010

## ROCHE-NOIRE

\* GR 91 \* GR 95 \* GR 98 \* GR 92 \* GR 99 \*

\* 9345 \* 9346 \* 9347 \* 0 \* 9496 \*

SiO2	* 72.79*	72.13*	69.50*	67.18*	74.31*
AL2O3	* 14.97*	14.76*	15.82*	16.41*	14.32*
FE2O3	* 1.24*	1.46*	1.85*	2.17*	1.06*
MNO	* 0.03*	0.02*	0.01*	0.02*	0.03*
MGO	* 0.96*	0.75*	0.97*	1.06*	0.67*
CAO	* 0.69*	0.79*	0.63*	1.62*	0.67*
NA2O	* 3.28*	3.96*	3.05*	5.75*	4.09*
K2O	* 5.22*	4.15*	6.10*	4.11*	4.89*
TI02	* 0.24*	0.31*	0.41*	0.42*	0.18*
P2O5	* 0.11*	0.13*	0.12*	0.18*	0.05*
H2O	* 0.86*	0.83*	1.25*	1.19*	0.70*
T	* 100.40*	99.29*	99.71*	100.10*	100.97*

## LA-FARE

\* GR 90 \* GR 100 \* GR 102 \* GR 86 \* GR 93 \*

\* 9342 \* 9343 \* 9344 \* 0 \* 0 \*

SiO2	* 76.71*	73.87*	76.96*	72.76*	70.92*
AL2O3	* 12.84*	14.20*	13.56*	14.18*	15.84*
FE2O3	* 0.54*	1.30*	0.53*	1.31*	1.26*
MNO	* 0.00*	0.01*	0.00*	0.02*	0.00*
MGO	* 0.31*	0.21*	0.05*	0.51*	1.13*
CAO	* 0.33*	0.19*	0.14*	0.97*	0.47*
NA2O	* 3.85*	3.78*	4.14*	3.94*	3.49*
K2O	* 4.37*	5.17*	4.75*	4.80*	5.65*
TI02	* 0.22*	0.28*	0.17*	0.22*	0.40*
P2O5	* 0.03*	0.07*	0.03*	0.07*	0.12*
H2O	* 0.79*	0.59*	0.38*	0.76*	1.06*
T	* 99.99*	99.67*	100.71*	99.54*	100.34*

## BIBLIOGRAPHIE

- ABBOT J.T. (1972)  
Rb-Sr study of isotopic redistribution in a precambrien mylonite bearing shear zone Northern Front Range, Colorado.  
Geol.Soc.Am. Bull, 83,2, p. 487-493.
- ALBAREDE F. (1976)  
Géochronologie comparée par la méthode  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  de deux régions d'histoire post-hercynienne différente : La Montagne Noire et les Pyrénées orientales.  
Thèse, Univ. Paris VII (1976) 155 p.
- ALDRICH L.T., DAVIS G.L. et JAMES H.L. (1965)  
Ages of minerals from metamorphic and igneous rocks near Iron Mountain, Michigan.  
J. Petrology, 6 (1965) p.445
- ALLEGRE C.J., DARS R. (1965)  
Chronologie au Rb-Sr et granitologie  
Geologischen Rundschau, Bd 55, p.226-237
- ALLEGRE C.J. (1967)  
Introduction à la géochronologie des systèmes ouverts  
Thèse, Paris, 340 p.
- ARMSTRONG R.L. (1966)  
K-Ar dating of plutonic and volcanic rocks in orogenic belts. In : Potassium-Argon dating, Schaeffer O.A. Zähringer J. (Eds). Berlin, Heidelberg, New York : Springer, p.117-133.
- ARMSTRONG R.L. and JAGER E. (1966)  
A comparison of K-Ar and Rb-Sr Ages on Alpine biotites.  
Earth and Plan. Sc. letters 1, p. 13-19
- ARNOLD A. et JAGER E. (1965)  
Rb-Sr. Alter-sbestimmungen an glimmern im Grenzberreich Zwischen voralpinen Alterswerten und alpiner Verjüngung der Biotite.  
Eclogae. Geol. Helv. 58/1. p.369-390
- ARTHAUD F. et MATTE P. (1975)  
Les décrochements tardihercyniens du Sud-Ouest de l'Europe. Géométrie et essai de reconstitution des conditions de la déformation.  
Tectonophysics. 25, p. 139-171
- BAUDRON J.C. (1974)  
Développements récents de la méthode potassium-argon. Applications actuelles au laboratoire d'analyses isotopiques du service géologique National. Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Serv. géol. Nat. 77 S.G.N. 374 Lab, 21 p.
- BAGGIO P., FERRARA G., MALARODA R. (1967)  
Results of some Rb-Sr age determinations of the rocks of the Mont-Blanc Tunnel.  
Boll Soc. Geol. It. 86, p. 193-212
- BARFETY J.C. (1976)  
Données nouvelles sur les traits fondamentaux de la structure de la zone dauphinoise au nord du massif du Pelvoux.  
C.R. Acad. Sc. Paris, t 283, série D p. 889-892
- BARFETY J.C., GIDON M., LEMOINE M., MOUTERDE R. (1979)  
Tectonique synsédimentaire liasique dans les massifs cristallins de la zone externe des Alpes occidentales françaises : la faille du Col d'Ornon  
C.R. Acad. Sc. Paris, t 289, série D, p. 1207-1210
- BARFETY J.C., GIDON M., (1981)  
Fonctionnement synsédimentaire liasique d'accidents du socle dans la partie occidentale du Massif du Pelvoux (région de Venosc, Isère) Bull. B.R.G.M., I, 1, p. 11-22.
- BARTOLI F., (1973)  
Etude pétrologique et structurale du Haut Vénéon (Massif du Pelvoux). Thèse 3ème cycle Grenoble.
- BARTOLI F., PECHER A., 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 Grenoble, t. 55, p. 17-26
- BECKINSALE R.D. and Gale M.K. (1969)  
A reappraisal of the de-cay constants and branching ratio of  $^{40}\text{K}$ . Earth and Planet. Sci. Lett. 6/4, 289-294
- BELLIÈRE J. (1958).  
Contribution à l'étude pétrogénétique des schistes cristallins du massif des Aiguilles Rouges (Haute-Savoie).  
Annales. Soc. Géol. de Belgique T LXXXI, (Mem. t81) p. 1957-1958.
- BERNARD-GRIFFITHS J. (1975)  
Essai sur la signification des âges au strontium dans une série métamorphique : le bas Limousin (Massif Central français).  
Géol. et Minéralogie, Fasc. 27, n° 55, Clermont Ferrand, 243 p.
- BIERI R.H. et KÖTTE (1967)  
Valve for precise pipetting of small amount of gases.  
Rev. Sci. Instruments, v; 38. pp. 1159-1160
- BLAISE J. (1961)  
Etude des formations cristallines de la chaîne de la Lauzière (Massif de Belledonne). Bull. Soc. Géol. de France, n° 269, t. 509.
- BOCQUET J. (1971)  
Cartes de répartition de quelques minéraux du métamorphisme alpin dans les Alpes franco-italiennes.  
Eclogae geologicae Helvetiae vol. 64 n°1, p.71
- BOCQUET J., DELALOYE M., HUNZIKER J.C., KRUMMENACHER D. (1974)  
K-Ar and Rb-Sr dating of blue amphibole, Micas, and associated minerals from the western Alps.  
Contrib. Mineral. Petrol. 47,7-26 (1974)
- BOCQUET J., DELALOYE M., VIALETTE Y. (1974)  
Mesures d'âges isotopiques de micas verts, de spilite et de roches associées dans les Alpes du Dauphiné.  
C.R. somm. S.G.F., 1974.
- BONHOMME M., BUFFIÈRE J.M., MICHEL R., PHILIBERT J., ROQUES M., et VIALETTE (1963)  
Age absolu du granite du massif du Rochail (secteur du Pelvoux, Isère)  
C.R. Acad. Sc. t. 256, p. 2649-2651
- BONNET D. (1982)  
Les mégacristsaux de feldspaths alcalins dans les formations porphyroïdes des massifs cristallins externes de Belledonne et des Grandes-Rousses (Alpes françaises): Recherche de leurs origines à partir de leur microtextures et de leur composition.  
Thèse de 3ème cycle, Grenoble.
- BORDET C., (1957)  
Recherches géologiques sur la partie septentrionale du massif de Belledonne (Alpes Françaises).  
Thèse Paris; Mem. serv. carte géol. France 1961.
- BORDET P. (1961)  
Sur la géologie du massif de Belledonne. C.R.A.S. t. 252, p. 434-437.

- BORDET C.I. (1961)  
Recherches géologiques sur la partie septentrionale du massif de Belledonne (Alpes françaises). Mem. carte géol., thèse Doct. Ing., 218 p.
- BORDET P. (1962)  
Données provisoires sur la structure du massif de Belledonne (s. St.). Feuilles de Domène et Vizille au 1/50 000; Bull. Serv. Carte Géol. de France n° 269, t.59, p. 239-250
- BORDET P., BORDET C. (1960-1963)  
Belledonne-Grandes-Rousses et Aiguilles Rouges Mont-Blanc : quelques données nouvelles sur leurs rapports structuraux. Livre à la mémoire du Prof. P. FALLOT. Mém. Hors série, Soc. Géol. de France, 2, p. 309-316
- BOTTINO M.L., FULLAGAR P.D., FAIRBAIRN H.W., PINSON W.H. et HURLEY P.M. (1970)  
The blue Hills Igneous complex, Massachusetts : Whole-Rock Rb-Sr open systems  
Geol. Soc. of Am. Bull. v. 81, p. 3739-3746
- BOUDON J., GAMOND J.F., GRATIER J.P., ROBERT J.P., DEPARDON J.P., GAY M., RUHLAND M. et VIALON P. (1976)  
L'arc alpin occidental : réorientation de structures primitivement E-W par glissement et étirement dans un système de compression global N.-S. Eclogae Géol. Helv., vol. 69/2, p. 509-516
- BREWER M.S. (1969)  
Excess radiogenic argon in metamorphic micas from the eastern Alps, Austria.  
Earth Planetary Sci. Lett. 6, p. 321-331
- BROOKS C., HART S.R. et WENDT I. (1972)  
Realistic use of two-error regression treatments as applied to rubidium-strontium data.  
Reviews of geophysics and Space Physics 10(2)p.551-577.
- BROW P.E., et MILLER J.A. (1969)  
Interpretation of isotopic ages in orogenic belts in: P.E. Kent et al (Eds), Time and Place in orogeny : geological Society, London, 3 : 137.
- BUFFIERE J.M. (1964)  
Les formations cristallines et cristallophyliennes du massif du Rochail (secteur nord-ouest du massif du Pelvoux, Isère).  
Trav. Lab. Géol. Fac. Sc. Grenoble, tome 40, 1964, p. 45-79
- BUFFET G. et AUMAITRE R. (1979)  
Implications tectoniques possibles des directions des filons carbonifères et triasiques de la partie Sud et Ouest du massif cristallin des Ecrins-Pelvoux  
Géologie Alpine t.55, 1979 p. 35-43
- CANTAGREL J.M. et ROQUES M. (1971).  
Techniques de la détermination des âges absolus par la méthode à l'argon.  
2ème éd. Trav. Dépt. Géol. Min. Fac. Sc. de Clermont Ferrand, série Documentation n° 10, 62 p.
- CANTAGREL J.M. (1973)  
Signification des âges à l'argon déterminés sur amphiboles dans les socles métamorphiques anciens : application au Massif Central français et à l'Alekkood, Sahara algérien.  
Ann. Scientif. Univ. Clermont, 50, 24, 282 p.
- CARME F. (1970)  
Age briovérien probable de la majeure partie des séries supposées dévoné-dinantiennes et existence d'un cycle orogénétique anté-hercynien sans doute cadomien dans la chaîne de Belledonne. C.R. Acad.Sc., t. 271, série D, n° 8, p. 631-633
- CARME F. (1970) b.  
Successions granitiques et caractères spécifiques de la granitisation hercynienne dans la chaîne de Belledonne. C.R. Acad. Sc., t. 271, série D, n° 8, p. 696-699.
- c. Tectoniques superposées et granitisations successives dans les massifs cristallins externes des Alpes; arguments nouveaux en faveur du rôle majeur d'une orogénèse anté-hercynienne dans la formation des terrains cristallins de Belledonne et des Aiguilles Rouges.  
C.R. Acad. Sc. Fr., t.271 série D, n° 20 p. 1733-1736.
- d. Caractères fondamentaux de l'architecture d'ensemble des chaînes de Belledonne et des Aiguilles Rouges. Rôle des décrochements. C.R. Acad. Sc. t; 27, série D, n° 25 p. 2232-2235
- CARME F. (1971) a.  
Problème de l'âge des séries cristallophyliennes des massifs cristallins externes : corrélation entre deux schémas structuraux récemment proposés, respectivement pour la chaîne de Belledonne et le Haut Dauphiné cristallin. C.R. Acad. Sc., t. 273, série D, n° 19, p. 1671-1673
- b. - Les phases successives de déformation contenues dans l'ensemble Belledonne. Aiguilles Rouges (Massifs cristallins externes - Alpes françaises). C.R. Acad. Sc. D, t. 273, n° 20, p.1771-1774.
- (1971) c.- Données microstructurales pour une corrélation possible entre les massifs cristallins externes des Alpes et les Cévennes septentrionales. C.R. Acad. Sc., t. 273, série D, n° 22, p. 2038 - 2041.
- (1973) b. - Précisions nouvelles sur l'ampleur et le style de la tectonique hercynienne dans la chaîne de Belledonne. C.R. Acad. Sc., D, vol.277 n° 21, p. 2309-2312.
- (1973) - Les granitoïdes à affinité monzonitique du complexe granitique de St Colomban (chaîne de Belledonne, Alpes occidentales). Etude géochimique et essai d'interprétation génétique.  
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 286, n° 17, p. 1233-1235.
- CATANZARO E.J., MURPHY T.J., GARNER E.L., SHEILDS W.R. (1969)  
Absolute isotopic abundance ratio and atomic weight of terrestrial rubidium.  
J. Res. U.S. Nat. Bur. Stand. Sect. A. 73 A, 511 - 516.
- CHESSEX R., MONTMOLLIN F. (de) FERRARA G., LONGINELLI A. (1962)  
Measurements of the age of the Vallorcine granite (Switzerland) Nature, vol. 193, n° 4822 p.1279.
- CLAESSON S. (1980)  
A Rb-Sr isotope study of granitoids and related mylonites in the Tännäs Augen gneiss Nappe, southern Swedish Caledonides.  
geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar (G.F.F.) - Vol 102, pt 4, pp 403-420
- CLARCK S.P. et JAGER E. (1969)  
Denudation rate in the Alps from geochronologic and heat flow data.  
Ann. Journ. Sci., 267, p. 1143-1160
- COMPSTON W. et JEFFEREY P. M. (1959)  
Anomalous common strontium in granite.  
Nature 186, 702-703.

- COX A. et DALRYMPLE G.B. (1967)  
Statistical analysis of geomagnetic reversal data and the precision of K-Ar dating.  
Journ. Geophysic. Research. v 72, n° 10, p2603-2614.
- DALRYMPLE G.B. et LANPHERE A. (1969)  
Potassium Argon dating. Principles, techniques and applications to geochronology.  
W.H. Freeman and Company, Ed. I vol. 258 p., San-Francisco.
- DALRYMPLE G.B. (1979)  
Critical tables for conversion of K-Ar ages from old to new constants.  
Geology, v. 7, p. 558-560
- DAMON P.E. (1968)  
Potassium-Argon dating of igneous and metamorphic rocks with applications to the basin ranges of Arizona and Sonora. In Radiometric dating from geologists (Eds. E.I. Hamilton and R.M. Farquhar) pp. 1-71 Interscience.
- DEBELMAS J. (1974)  
Géologie de la France. Doin ed., Paris vol. 2
- DEBELMAS J. et KERCKHOVE C.I. (1980)  
Les Alpes franco-italiennes. In : Introduction à la géologie du Sud Est de la France. (Tome consacré aux excursions du 26ème congrès géologique International).  
Géologie Alpine, tome 56.
- DEWEY J.F. et PANKHURST R.J. (1970)  
The evolution of the Scythian Caledonides in relation to their isotopic age pallem.  
Roy. Soc. Edinburgh. Trans. vol. 63 n° 11 p.361-389.
- DIETRICH R.V., FULLAGAR P.D. et BOTTINO M.L. (1969)  
K-Ar and Rb-Sr dating of tectonic events in the Appalachians of Southwestern Virginia.  
Geol. Soc. A m. Bull. 80, 2, p. 307-314
- DODSON M.H. (1979)  
Theory of cooling ages; In: Lectures in Isotope Geology, E. Jager and J.C. Hunziker (Eds.) Springer. Verlag, Berlin Heidelberg, New-York, p. 194-202.
- (1973) - Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems.  
Contrib. Mineral. Petrol. 40, p. 259-274
- (1976) - Kinetic processes and thermal history of slowly cooling solids.  
Nature. (London) : 259, p. 551-553
- DONDEY D. (1960)  
Contribution à l'étude de la série cristallophylienne et de la couverture sédimentaire de la chaîne de Belledonne méridionale (Alpes françaises).  
D.E.S., Trav. Lab. Géol. Fac. Sc. de Grenoble, t:36, p. 285-368
- DONVILLE B. (1973)  
Géochronologie potassium. Argon. Apports technologiques et méthodologiques pour les âges récents. Thèse d'Etat, Univ. P. Sabatier Toulouse.
- DUCKWORTH H.E. (1960)  
Mass spectrometry  
Cambridge Univ. Press., 206 p.
- OUTHOU J.L. (1977)  
Chronologie Rb-Sr et géochimie des granitoïdes d'un segment de la chaîne Varisque, relations avec le métamorphisme : le Nord Limousin (Massif Central français)  
Ann. Scientif. Univ. Clermont, n° 63, fasci. 30, 294 p.
- EHRSTROM C.E. (1971)  
Contribution à l'étude géochimie et pétrologique des formations cristallines de la chaîne de Belledonne. Thèse Grenoble.
- ELTCHANINOFF C. (1980)  
Etude géologique entre Belledonne et Mont-Blanc : la terminaison méridionale du Massif du Mont-Blanc et les terrains de son enveloppe thèse 3ème cycle Univ. P. et M. CURIE, 1980
- EVERDEN J. E. et KISTLER R.W. (1970)  
Chronology of emplacement of mesozoic batholithic complexes in California and western Nevada.  
U.S. geol. Surv. Prof. Paper, 623, 42 p.
- FARRAR E., MAC-INTYRE R.M., YORK K. et KENYON W.J. (1964)  
A simple mass spectrometer from the analysis of argon at Ultra-High Vacuum. Nature, v. 204 p. 531-533.
- FAURE et HURLEY P.M. (1963)  
The isotopic composition of Sr in oceanic and continental basalts : application to the origin of igneous rocks.  
J. Petrology, 4, p. 31-50
- FAURE G. POWELL J.L. (1972)  
Strontium isotope geology. Springer verlag Berlin Heidelberg, New-York, 188 p.
- FAURE G. (1977)  
Principles of Isotope geology
- FECHTIG H. et KALBITZER S. (1966)  
The diffusion of argon in potassium-bearing solids: p. 68-107 in Schaeffer O.A. and Zähringer J. eds. Potassium-Argon dating, New-York, Springer Verlag, 234 p.
- FOLAND K.A. (1979)  
Limited mobility of argon in a metamorphic terrain  
geochimica et Cosmochimica Acta. vol. 43 pp 793-801
- FONTIGNIE D. (1980)  
Géochronologie potassium-argon : études théoriques et applications à des nouveaux matériaux de flysch des Alpes occidentales.  
Thèses, Univ. Genève, 291 p.
- FONTIGNIE D. (1980)  
Méthodologie Potassium-Argon : la technique des Soutirages successifs.  
Schweiz-Mineral. pétrogr. Mitt. 60, p.237-250.
- FREY M., HUNZIKER J.C., FRANK W., BOCCQUET J., DALPIAZ G.W. JAGER E. and NIGGLI E. (1974)  
Alpine Metamorphism of the Alps. A review  
Schweiz. Mineralogische und Petrographische Mitteilungen. vol. 54, 2/3, 1974. p. 247-290.
- GAST P.W. (1960)  
Limitations on the composition of the upper mantle. J. Geophysic. Res. 65, 1287-1297
- GAST P.W. (1961)  
The rubidium-strontium method.  
Ann. N. Y. Acad. Sci., 91, 181-184
- GASQUET G. (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 3ème cycle Grenoble.
- GASQUET G., GIRAUD P., PLOQUIN A., VIVIER G. (1979)  
Une coupe continue à travers le massif de Belledonne : la galerie Arc-Isère.  
7è R.A.S.T., Lyon, p. 206.

- GIBERGY P. (1968)  
Découverte de "grès à trous" renfermant des débris d'organismes dans les schistes noirs de Vaibonnais.  
C.R. Acad. Sc. PARIS 267, p. 1251-1254.
- GIDON M. (1979)  
Le rôle des étapes successives de déformation dans la tectonique alpine du Massif du Pelvoux.  
C.R. Acad. Sc. Paris, 288, p. 803-806
- GILETTI B.J. (1971)  
Discordant isotopic ages and excess argon in biotites  
Earth Planet. Sci. Lett. 10, p.157-164.
- GENTNER W. et KLEY W. (1957)  
in DAMON (1968)
- GILETTI B.J. (1974)  
Diffusion related to geochronology. In : Geochemical Transport and Kinetics. Hofmann, AW, Gilletti B.J., YODER JR., H.S. Yund R.A. (eds.). Carnegie Inst. Washington publ. 634, 61-76 (1974).
- GIORGI L. (1979)  
Contribution à l'étude géologique des terrains cristallins du massif des Grandes Rousses, Isère, France. Thèse 3ème cycle Grenoble.
- GIORGI L., GIRAUD P., VACHARD D., (1979)  
Sur la présence de micro-organisme d'âge cambrien dans les schistes cristallins du versant occidental du massif cristallin externe des Grandes Rousses (Alpes Occidentales). C.R.A.S., t. 288, série D, p. 1070-1082.
- GIRAUD P. (1952)  
Les terrains métamorphiques du massif des Grandes Rousses. Bull. Soc. Géol. Fr., 6ème série, 2 1952 p. 379-402.
- GIRAUD P., VIVIER G. (1980)  
Les granites des massifs cristallins externes des Alpes françaises (p. 81 à 83). In évolutions géologiques de la France, éd. par A. AUTRAN et J. DERCOURT; 26ème Congr. Géol. Int. Colloque C 7; Mém. B.R.G.M. Fr. n° 107.
- GOGUEL G. (1963)  
L'interprétation de l'Arc des Alpes occidentales.  
Bull. Soc. Géol. Fr., 6, p. 20-33.
- GROS Y. (1974)  
Etude pétrologique et structurale du Beaufortin (Nord de Belledonne) Thès 3ème cycle Grenoble.
- HAMET J. (1975)  
Etude systématique par la méthode 80 Rb-87 Sr des processus orogéniques. Exemple de la Montagne Noire.  
Thèse Université PARIS, 6 et 7, 248 p.
- HAMILTON E.I. et FARQUAR R.M. (1968)  
Radiometric dating of geologists. Interscience publishers John Wiley and sons, London, New-York, Sydney.
- HANSON G.N. and GAST P.W. (1967)  
Kinetic studies in contact metamorphic zones geochim. et Cosmochim. Acta, v. 31, p. 1119-1153
- 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
- HARPER C.T. (1970)  
Graphical solutions to the problem of radiogenic argon 40 loss from metamorphic mineral.  
Eclogae Geol. Helv. vol. 63/1 p.119-140.
- HART S.R. (1961)  
The use hornblendes and pyroxenes for K-Ar dating  
J. Geophys. Res., 66, 2995-3001
- HART S.R. (1964)  
The petrology and isotopic mineral age relations of a contact zone in the Front Range Colorado.  
Jour. Geol., n 72 , p. 493-525
- HAYATSU A. et CARMICHAEL C.M. (1970)  
K-Ar isochron method and initial argon ratios.  
Earth and Planetary Sci. Letters 8, N° 1, p.71-76
- HEIER K.S., Billing G.K. (1970).  
a) Rubidium :in handbook of geochemistry (Wedepohl K.H. ed.) Springer Verlag , p. 37  
b) Potassium " " " " p. 19
- HINTENBERGER HEINRICH (1962)  
High sensitivity mass. Spectroscopy in nuclear studies :Ann. Rev. Nuclear. Science v: 12 p. 435-506.
- HOFMANN A.W. (1979)  
Diffusion Experiments in Isotope geology. in : JAGER E. and HUNZIKER J.C. (ed.) Lectures in Isotope geology (p. 189-193). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York.
- HURLEY P.M., HUGUES H., FAURE G., FAIRBAIRN H.W. and PINSON W.H. (1962).  
Radiogenic Sr 87 model of continent formation.  
Journ. geophys. Res. 67, 13, 5315-5334.
- HURLEY P. M., HUGUES H., PINSON Jr.W.H., et FAIRBAIRN H.W. (1962)  
Radiogenic argon and strontium diffusion parameters in biotite at low temperature obtained from Alpine. Fault uplift in New Zealand.  
Geochimica Acta, vol. 26, p. 57-80
- HURLEY P.M., FAIRBAIRN H.W., FAURE G. PINSON J.R. W.H. (1963)  
New approaches to geochronology by strontium isotope variations in whole rocks.  
Radioactive dating - I.A.E.A., p. 201-217.
- HUNZIKER J.C. (1970)  
Polymetamorphism in the Monte Rosa, western Alps.  
Eclogae. Geol. Helv. vol. 63/1, p. 151-161
- JAGER E. et NIGGLI E. (1967)  
Geological meaning of Rb-Sr age results as studied on samples from the central Alps.  
Radioactive dating and methods of evro level counting.  
Int. Atom. Energy Agency Vienne, 1967 p. 519-514/
- JAGER E. (1970)  
Rb-Sr system in different degrees of metamorphism.  
Eclogae. Geol. Helv. 63/1, p. 163-172.
- JAGER E. et HUNZIKER J.C. (1979)  
Lectures in Isotope geology.  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York 329 p.
- JAGER E. (1965)  
Rb-Sr age determination on minerals and rocks from the Alps.  
Colloque International de géochronologie Absolue. Nancy, Sc. de la terre.
- JAGER E. (1962)  
Rb-Sr age determination on Micas and total rocks from the Alps.  
Journal of geophysical Research, vol. 67, n° 13 p. 5293-5306.
- KALSBECK F. (1962)  
Petrology and structural geology of the Berlanche Valloire area (Belledonne Massif, France).  
Thèse Leiden.
- KISER R.W. (1965)  
Introduction to mass spectrometry and its applications. 1 vol. 356 p. Ed. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. N.J.
- KRUMMENACHER D. (1959)  
Le cristallin de la région de Fully. Bull. Suisse Minéral. Pétrog. 39, 151.
- KRUMMENACHER D., BORDET P., LE FORT P. (1965)  
Les massifs cristallins externes alpins et leurs séries métamorphiques. Problèmes de raccords stratigraphiques et géochronométriques.  
Schweiz. Min. Pétro. Mit. 45, p. 855-874.
- KRUMMENACHER D. et EVERNOEN J.F. (1960)  
Déterminations d'âge isotopique faites sur quelques roches des Alpes par la méthode Potassium Argon.  
Schweiz. Min. Pétro. Mitt. 40, p. 267-277.
- KRUMMENACHER D. (1970)  
Isotopic composition of argon in modern surface volcanic rocks.  
Earth and Planetary Sc. Letters., 8, p.109-117 n° 2
- LAMEYRE J. (1958)  
La partie nord du massif des Grande Rousses. Etude des schistes cristallins et de la couverture sédimentaire. Trav. Lab. Géol. Fac. Sc. de Grenoble, t. 34, p. 83.
- LANPHERE M.A., WASSERRBURG G.J., ALBEE A.L., et TILTON G.R. (1964)  
Distribution of Sr and Rb isotopes during metamorphism, World Beater complex panamint Range, California Isotopic and cosmic chemistry, Amsterdam, North Holland Publ. Co. p. 269-320.
- LANPHERE M.A. et DALRYMPLE G.B. (1966)  
Simplified bull tracer system for argon analysins.  
Nature, vol. 209, n° 5026, p. 902-903.
- LA ROCHE H. (DE) (1963)  
Sur l'expression graphique des relations entre la composition chimique et la composition minéralogique quantitative des roches cristallines.  
Sc. de la Terre Fr. 9 , p. 293-337
- LAURENT R. et CHESSEX R. (1968)  
Considération sur le Paléozoïque dans les Alpes occidentales.  
Eclogae geological Helvetiae vol. 61, n° 1 p. 1 à 18.
- LEAKE B.E. (1978)  
Nomenclature of amphiboles.  
American Mineralogist, vol. 63, p. 1023-1052.
- LE FORT P. (1971)  
Géologie du Haut-Dauphiné cristallin (Alpes françaises). Etude pétrologique et structurale de la partie occidentale.  
Thèse, Mémoires Sc. de la Terre, Nancy, 1973, n° 25.
- LE FORT P., EHRSTROM C.E. (1969)  
Caractères géochimiques et origine des formations métamorphiques des massifs du Chaillol et de Belledonne.  
Sc. de la Terre, Nancy, t. XIV, n° 3, p. 215-238.
- LE FORT P., PECHER A. (1971)  
Présentation d'un schéma structural du Haut-Dauphiné cristallin. C.R.A.S., t. 273, série D. p. 3-5.
- LE FORT P., PECHER A. (1981)  
Présentation du schéma structural du Haut-Dauphiné. Pour l'excursion sur les granitoïdes du cristallin externe des Alpes françaises, Sept. 1981.
- LEMOINE M., GIDON M., BARFETY J.C. (1981)  
Les massifs cristallins externes des Alpes occidentales : d'ancien blocs basculés nés au Lias du rifting péthissien.  
C.R. Acad. Sc. Paris, t 292, série II, p. 917-920.
- LEUTWEIN F., POTY B., SONET J. et ZIMERMANN J.L. (1970)  
Age des cavités à cristaux de granite du Mont Blanc.  
C.R. Ac. Sc. Paris, t. 271, série D. p. 156-158
- LONG L.E. (1964)  
Rb-Sr chronology of the Carn.Chininneag intrusion, Ross-shire Scotland.  
J. Geophys. Res. 69, p. 1589-1597
- LORY Ch. (1881)  
Sur les schistes cristallins des Alpes occidentales et sur le rôle des failles dans la structure géologique de cette région.  
Bull.Soc. Géol.Fr. (3) 9, p.652-679.
- MAC DOUGALL I. (1965)  
Precision methods of potassium-argon isotop age determination on young rocks : in "Methods and techniques in geophysics".  
Ed. S.L. Runcorn, vol. 2, Interscience publishers p. 279-304.
- MAC DOUGALL I. and STIPP J.J. (1969)  
Potassium-argon isochron.  
Trans. Ann. Geophys. Union, 50, 330 p.
- MAC DOUGALL I., POLACH H.A. et STIPP J.J. (1969)  
Excess radiogenic argon in young subaerial basalts from the Auckland volcanic field, New Zealand.  
Geochim.Cosmochim. Acta. 33, p.1485-1520.
- MAC INTYRE G.A., BROOK C., COMPSTON W. et TUREK A. (1966)  
The statistical assesment of Rb-Sr isochrons.  
Journ. Geophys. Res., 71, p. 5459-5468.
- MATTINSON J.M. (1978)  
Age origin and thermal histories of some plutonic rocks for the salinian Block of California.  
Contrib. Mineral. Petrol., 67 , 233 p.
- MELLOR D.W. et MUSSET A.E. (1975)  
Evidence for initial 36 Ar in volcanic rocks, and some implications.  
Earth Planet. Sci. Lett. 26, p. 312-318.
- MENARD G. (1979)  
Relations entre structures profondes et structures superficielles dans le Sud-Est de la France. Essai d'utilisation de données géophysiques.  
Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- MICHEL R., et BUFFIERE J.M. (1963)  
Caractères pétrographiques et pétrochimiques du granite du massif du Rochail (secteur NW du massif du Pelvoux, Isère).  
C.R. Acad. Sci., t. 256, p. 1812-1814.
- MOORBATH S. (1967)  
Recent advances in the application and interpretation of radiometric age data. Earth Science Review, vol. 3, p. 111-133.
- MUSSET A.E. (1969)  
Diffusion measurements and potassium argon method of dating.  
Geophys. J.R. Astron.Soc. 18, p. 257-303 (1969)
- MUSSET A.G. et MC CORMACK A.G. (1979)  
On the use of 3- dimensional plots in K-Ar dating.  
Geochim. et Cosmochim. Acta. Vol. 42, p. 1877-1883

- NEUMAN W. et HUSTER E. (1972)  
Neubestimmung der Halbwertszeit des <sup>87</sup>Rubidiums durch Vergleich von Messungen an den getrennten Isotopen <sup>87</sup>Rb und <sup>85</sup>Rb.  
Zeitschrift für Naturforschung, Band 27 a, Heft 5, p. 862-863.
- NICOLAYSEN L.O. (1957)  
Solid diffusion in radioactive minerals and the measurements of absolute age.  
Geochim. Cosmochim. Acta : 11, p. 41-59
- NICOLAYSEN L.O. (1961)  
Graphic interpretation of discordant age measurements on metamorphic rocks.  
Annals of New-York Acad. Sci., 91, p.198-206
- NIER A.O. (1947)  
A mass spectrometer for isotope and gas analysis.  
Rev. Sci. Inst. v. 18 p. 398-411.
- NIER A.O. (1950)  
A redetermination of the relative abundances of the isotopes of carbon, nitrogen, oxygen, argon, and potassium.  
Physical Review, v. 77, p. 789-793.
- NOCKLODS S.R. et ALLEN R. (1953)  
The geochemistry of some igneous rocks serie.  
Geoch. Cosmo. Acta 4,3, 3 p. 105-142.
- O'NIONS R.K. SMITH D.G.W. BAADSGAARD H. et MORTON R.D. (1959)  
Influence of chemical composition on argon retention in metamorphic calcic amphiboles from South Nouvay.  
Earth and planetary Sci. Letters v.5, n°5 p. 339-349.
- OULIANOFF N. (1965)  
Contribution à l'histoire des massifs du Mont Blanc et des Aiguilles-Rouges.  
Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat. 69, p. 317.
- PEARSON R.C., HEDGE C.E., THOMAS H.H., et STERN T.W. (1966)  
Geochronology of the St Kevin granite and neighbouring precambrian rocks, northern Sawatch Range, Colorado.  
Geol. Soc. America Bull. v. 77, p.1109-1120
- PECHER A. (1970)  
Etude pétrographique de la partie orientale du massif des Ecrins-Pelvoux. Le socle ancien.  
Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- PETERMAN Z.E., HEDGE C. (1974)  
Strontium in Handbook of geochemistry (Wedepohl K.H. ed.) Springer verlag, p. 38.
- PONCERRY E. (1981)  
Contribution à l'étude géologique des granitoïdes de Vallorcine, Beaufort, Lauzière, de leur encaissant et des minéralisations uranifères associées.  
Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- POTY B., WEISBROOD A. et STALDER H.A. (1973)  
Température et pression de croissance des cristaux de quartz des fentes alpines dans les Alpes françaises et Suisses.  
R.A.S.T., Paris, 1973, p. 343.
- POTY B. (1969)  
La croissance des cristaux de quartz dans les filons sur l'exemple du filon de la Gardette (Bourg d'Oisans) et des filons du massif du Mont-Blanc.  
Sci. de la Terre, Nancy, mémoire n° 17, 162 p.
- PURDY J.W. et JAGER E. (1976)  
K-Ar Ages on rock-forming from the central Alps  
Mem. Degli. Inst. di Geol. e Min. dell'Univ. di Padova, vol. XXX, 31 p.
- PUCHELT H. (1972)  
Barium : in Handbook of geochemistry (Wedepohl K.H. ed.) Springer Verlag, p.56
- REX D.C., DODSON M.H. (1970)  
Improved resolution and precision of argon analysis using an MS 10 mass. spectrometer.  
Eclogae Geol. Helv. vol. 63-1 p. 275-280
- RODDICK J.C. et FARRAR E. (1971)  
High initial argon ratios in hornblendes  
Earth and Planetary Sci. Letters v. 12, n° 2 p. 208-214.
- RODDICK J.C., CLIFF R.A. et REX D.C. (1980)  
The evolution excess argon in Alpine biotite-40 A 39 Ar. analysis.  
Earth planetary science letters, 48, p. 185-208.
- SALVI M. (1977)  
Chaîne de la Lauzière, compte-rendu de stage été 1977. Rapport interne Minatome S.A., Paris.
- SANZ H.G. et WASSERBURG G.J. (1969)  
Determination of an internal <sup>87</sup>Rb, <sup>87</sup>Sr. isochron for the Olivenza chondrite.  
Earth Planet Sc. 6, p. 335-345.
- SARDAROV S.S. (1957)  
The preservation state radiogenic argon in micro-chines.  
Geokhimiya n° 3, p. 193.
- SCHAEFFER O.A., ZHRINGER J. (1966)  
Potassium Argon dating  
Ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, I vol. 234 p., New-York.
- SHAFIQUILLAH M. et DAMON P.E. (1974)  
Evaluation of K-Ar isochron methods  
Geochim. Cosmochim. Acta. 38, p. 1341-1358
- SHARMA K.K., BAL RAJINDER PARSHAD K.D., NAND LAL et NAGPAUL K.K. (1980)  
Paléo-uplift and cooling rates from various orogenic belts of India, as revealed by radiometric ages.  
Tectonophysics, 70 (1980) p. 135-158.
- SHARMA Y.P., LAL N., BAL K.D., PARSHAD R. et NAGPAUL K.K. (1980)  
Closing temperature of different fission tracks clocks.  
Contrib. Mineral. Petrol. 72, p. 335-336.
- SHAW D.M. (1968)  
A review, of K-Rb fractionation trend by covariance analysis.  
Geochim. Cosmochim. Acta. 32, 6, p. 573-601.
- SIMEON Y. (1979)  
Etude pétrologique, géochimique et structurale des terrains cristallins de Belledonne entre l'Arc et l'Isère (Alpes françaises). Thèse 3ème cycle Grenoble.
- SIMEON Y., GASQUET D., PONCERRY E., GIRAUD P., VIVIER G. (1979)  
Les formations à mégacristaux de feldspaths alcalins dans la chaîne de Belledonne.  
7ème R.A.S.T., Lyon, P. 430.
- STEIGER R.H. (1964)  
Dating of orogenic phases in the Central Alps by K-Ar ages of hornblende.  
Journ. Geophys. Res. vol. 69, n° 24, p.5407-5421.

- STEIGER R.H. et JAGER E. (1977)  
Subcommission on geochronology : convention on the use of decay constants in geo and cosmochronology.  
Earth and Planetary Sci. Letters, 36, 1977, p. 359-362
- TAYLOR S.R., EMELEUS C.H. EXLEY C.S. (1956)  
Some anomalous K/Rb ratios in igneous rocks and their petrological significance.  
Geochim. Cosmochim. Acta. 10, 4. p. 224-229
- TAYLOR S.R. (1964)  
Abundance of chemical elements in the continental crust. Geochim. Cosmochim. Acta 29, p.1273-1285
- TAYLOR S.R. (1965)  
The application of trace element data to problems in petrology : in Physics and chemistry of the earth (Ahrens et al. éd.) Oxford, Pergamon Press., vol. 6 p. 133-214.
- TERMIER P. (1894)  
Le massif des Grande-Rousses.  
Bull. Serv. carte géol. Fr., t. IV, p. 169-286
- TRIBOULET S. (1980)  
Etude géologique entre Belledonne et Mont-Blanc : la terminaison septentrionale du massif de Belledonne et les terrains de son enveloppe.  
Thèse 3ème cycle, Univ. de P. et M. Curie.
- TURNER D.L., FORBES R.B. (1976)  
K-Ar studies in two deepbasement drill holes : a new geological estimate of argon blocking temperature for biotite. (Abstract) E O S Trans. Am. Geophys. Union. 57, 353 p.
- VATIN-PERIGNON H., AUMAITRE R., BUFFET G. (1974)  
Spilitisation dans le massif des Ecrins-Pelvoux : Un cortège intrusif et effusif dolérito-spilitique.  
Géologie Alpine, tome 50, p. 153-194.
- VERDURMEN E.A. et SCHUILLING R.D. (1972)  
A laboratory experiment on the mobility of radiogenic Sr in biotite under hydrothermal conditions.  
Progress. Reprint. Z.W.O.  
Laboratorium voor Isotopen geologie (Amsterdam).
- VERJAT J.L. (1980)  
Etude pétrologique et structurale des terrains cristallins du Sud-Est de Belledonne, à l'Ouest du Col du Glandon.  
Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- VIALON P. (1974)  
Les déformations "synschisteuses" superposées en Dauphiné.  
Bull. Suisse Minéral. Pétrogr. 54, p. 663-690.
- VIDAL Ph. (1976)  
L'évolution polyorogénique du Massif Armoricaïn : Apport de la géochronologie et de la géochimie isotopique du strontium.  
Thèse doctorat d'Etat, Rennes.
- VON RAUMER J.F. (1976)  
Le massif du Mont-Blanc, socle prépermien dans un cadre alpin.  
Bull. Soc. Frib. Sc. Nat.-Vol. 65, fasc. 2 p. 123-156.
- WAGNER G.A., REIMER G.M. et JAGER E. (1977)  
Cooling ages derived by apatite fission track, mica Rb-Sr and K-Ar dating : the uplift and cooling history of the central Alps.  
Mem. Inst. Geol. Mineral. Univ. Padova.
- WANLESS R.K., STEVENS R.D. et LOVERIDGE W.D. (1970)  
Anomalous isotopic relationships in rocks adjacent to the greenville front near Chibougamau, Québec.  
Eclogae Geol. Helv. 63, p. 345-364.
- WASSERBURG G.J., ALBEE A.L., LANPHERE M.A. (1964)  
Migration of radiogenic strontium during metamorphism  
Journal of geophysical Research, vol. 69, n° 20 p. 4395-4401.
- WELIN E. et LUNDQVIST T. (1975)  
K-Ar ages of Jotnian Dolerites in Västernorrland county, Central Sweden.  
G F F 97, p. 83-88
- WETHERILL G.W. (1966)  
Radioactive decay constants and energies : Geological Society of America, Memoir 97, p. 513-519
- WILLIAMSON J.M. (1968)  
Least-squares fitting of a straight line  
Canadian Journal of Physics. 46, p. 1845-1847.
- WEDEPOHL K.H. (1969)  
Composition and abundance of common igneous rocks in Handbook of geochemistry.  
Ed. K.H. Wedepohl. p. 227-249.

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau de correspondance lithologique et chronologique des séries des massifs de Belledonne et des Grandes Rousses .....	9
- Tableau des différentes températures de fermeture des minéraux selon les différentes horloges radiométriques.....	42
- Tableau montrant la sensibilité des méthodes K-Ar et Rb-Sr face à un événement postérieur (métamorphique et/ou tectonique).....	46
- Différents cas envisagés pour l'interprétation des âges Rb-Sr et K-Ar sur biotites (modèles tenant compte des facteurs température, déformation et phases fluides) .....	47
- Différents cas envisagés pour l'interprétation des âges sur isochrone pour les roches plutoniques.....	50
- Ensemble des âges Rb-Sr et K-Ar des biotites (et minéraux en association).	57
- Ensemble des âges Rb-Sr et K-Ar des muscovites .....	65
- Ensemble des résultats sur minéraux pour les parties centrales et occidentales du massif du Pelvoux.....	72
- Ensemble des résultats sur minéraux pour le NW du massif du Pelvoux et des Grandes Rousses .....	78
- Ensemble des résultats sur minéraux pour la partie sud du massif de Belledonne .....	84
- Ensemble des résultats sur minéraux pour la partie nord du massif .....	90
- Ensemble des résultats sur amphiboles du massif de Belledonne .....	96
- Composition chimique moyenne des granites étudiés.....	108

## LISTE DES FIGURES

Fig. n°1	- Schéma structural des Alpes françaises .....	4
Fig. n°2	- Les massifs cristallins externes .....	5
Fig. n°3	- Carte géologique simplifiée du massif de Belledonne et des Grandes Rousses .....	8
Fig. n°4	- Coupes schématiques dans le massif de Belledonne (correspondance des séries définies par les différents auteurs .....	10
Fig. n°5	- Schéma structural du massif des Grandes Rousses .....	14
Fig. n°6	- Schéma structural du massif du Haut Dauphiné .....	16
Fig. n°7	- Schéma et décomposition du 40 K (d'après BECKINSALE et al. 1969) .....	24
Fig. n°8	- Solution graphique au problème des pertes d'argon 40 radiogénique Le diagramme 40 Ar-40 K (de HARPER) .....	28
Fig. n°9	- Diagramme isochrone 40 Ar/36 Ar en fonction de 40 K/36 Ar (exemple d'après BOCQUET et al., 1974) .....	29
Fig. n°10	- Diagramme tridimensionnel (d'après MUSSET et MC CORMACK 1978) .....	29
Fig. n°11	- Diagramme isochrone 87 Sr/86 Sr - 87Rb/86 Sr (d'après FAURE et POWELL, 1972) .....	33
Fig. n°12	- Histogramme des énergies d'activation de quelques minéraux (in DALRYMPLE et LANPNERE, 1969) .....	37
Fig. n°13	- Variation des âges sur minéraux des gneiss du Colorado en fonction de la distance à un pluton récent (Eldora Stock) d'après HART et al., 1968. ....	37
Fig. n°14	- Rétention d'argon et de strontium radiogéniques en fonction de la distance au contact d'un gabbro (d'après HANSON et GAST 1967) ..	37
Fig. n°15	- Définition de l'âge et de la température de fermeture d'un système (d'après DODSON, 1979) .....	41
Fig. n°16	- Interprétation des âges mesurés sur minéraux: âge de formation et âge de refroidissement (d'après JAGER, 1979) .....	41
Fig. n°17	- Modèles d'interprétation classique (d'après HARPER, 1970) .....	43
Fig. n°18	- Carte de répartition des biotites (échantillonnage) .....	54
Fig. n°19	- Carte d'isovaleurs des âges Rb-Sr pour les biotites .....	59
Fig. n°20	- Carte d'isovaleurs des âges K-Ar pour les biotites .....	61
Fig. n°21	- Carte de discordance entre les âges Rb-Sr et K-Ar sur les biotites .....	62
Fig. n°22	- Résultats des mesures Rb-Sr et K-Ar des biotites sous forme d'histogramme .....	63
Fig. n°23	- Carte de répartition des muscovites (échantillonnage) .....	64
Fig. n°24	- Histogramme des âges Rb-Sr et K-Ar des muscovites .....	65
Fig. n°25	- Localisation des amphiboles étudiées dans les massifs de Belledonne et des Grandes Rousses .....	66

Fig. n°26	- Nomenclature des amphiboles de Belledonne et des Grandes Rousses (classification de LEAKE, 1978) .....	68
Fig. n°27	- Résultats des mesures K-Ar des amphiboles des massifs de Belledonne et des Grandes Rousses, sous forme d'histogramme .....	70
Fig. n°28	- Carte d'isovaleur d'âge K-Ar des amphiboles .....	71
Fig. n°29	- Histogramme des résultats Rb-Sr et K-Ar sur les minéraux de la partie centrale et occidentale du Pelvoux .....	72
Fig. n°30	- Influence de l'accident de la Meije .....	75
Fig. n°31	- Histogramme des résultats Rb-Sr et K-Ar sur les biotites de la bordure orientale du Pelvoux .....	76
Fig. n°32	- Histogramme des résultats Rb-Sr et K-Ar sur les minéraux du massif des Grandes Rousses et du NW du Pelvoux .....	78
Fig. n°33	- Diagramme isochrone 40 Ar/36 Ar - 40 K/36 Ar des amphiboles du massif des Grandes Rousses .....	80
Fig. n°34	- Diagramme 40 Ar rad - K % des amphiboles du massif des Grandes Rousses .....	80
Fig. n°35	- Composition des amphiboles des Grandes Rousses .....	82
Fig. n°36	- Diagramme âge apparent (Ten Ma) en fonction de $R = 100 (Mg + Fe^{2+} + Al_6) / (Mg + Fe_2 + Al_6 + Fe_3)$ d'après O'NIONS et al. ....	82
Fig. n°37	- Histogramme des résultats sur les minéraux du massif de Belledonne, partie sud .....	84
Fig. n°38	- Diagramme 40 Ar - K % des biotites du Sud de Belledonne .....	86
Fig. n°39	- Diagramme 40 Ar - K % des différents minéraux du granite des Sept Laux .....	88
Fig. n°40	- Histogramme des résultats sur les minéraux du massif de Belledonne, partie nord .....	90
Fig. n°41	- Distribution des âges apparents près de l'accident ("synclinal") médian .....	92
Fig. n°42	- Distribution des âges apparents (Rb-Sr et K-Ar) des biotites prélevées dans la galerie Arc-Isère .....	93
Fig. n°43	- Diagramme 40 Ar-K % des biotites du massif de Belledonne, partie nord .....	94
Fig. n°44	- Histogramme des résultats K-Ar sur les amphiboles du massif de Belledonne .....	96
Fig. n°45	- Diagramme 40 Ar/36 Ar - 40 K/36 Ar des amphiboles du massif de Belledonne .....	98
Fig. n°46	- Diagramme 40 Ar - K % des amphiboles du massif de Belledonne ..	100
Fig. n°47	- Age apparent (Ten Ma) en fonction du rapport $R = 100 (Mg + Fe_2 + Al_6) / (Mg + Fe_2 + Fe_3 + Al_6)$ d'après O'NIONS et al 1969) pour les amphiboles de Belledonne .....	101
Fig. n°48	- Les différents granites des massifs cristallins externes dans le diagramme QF-BF de H. de LA ROCHE, 1964 .....	106
Fig. n°49	- Diagramme Q-F de H. de LA ROCHE, des granites étudiés .....	109

Fig. n°50	- Carte schématique des granitoïdes des massifs cristallins externes et localisation des granites étudiés .....	110
Fig. n°51	- Diagramme $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ - $87\text{Rb}/86\text{Sr}$ pour le granite des Sept Laux (ensemble des points).....	113
Fig. n°52	- Diagramme de NICOLAYSEN pour les deux faciès principaux du granite des Sept Laux .....	114
Fig. n°53	- Diagramme isochrone pour l'ensemble des points de granite de Saint Colomban .....	116
Fig. n°54	-Diagramme isochrone du granite de Saint Colomban .....	118
Fig. n°55	- Localisation des échantillons et contexte géologique. Massif de la Lauzière .....	120
Fig. n°56	- Diagrammes isochrones du granite de la Lauzière: a) isochrone "haute"; b) isochrone "basse" (échantillons de bordure).....	122
Fig. n°57	-Massif granitique du Rochail. Contexte géologique et zone de prélèvement .....	126
Fig. n°58	- Diagramme isochrone du granite de Rochail .....	128
Fig. n°59	- Carte de la localisation des échantillons et contexte géologique pour les granites de Roche Noire et de La Fare .....	132
Fig. n°60	- Diagramme $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ - $87\text{Rb}/86\text{Sr}$ pour les granites de Roche Noire et de La Fare .....	134
Fig. n°61	- Diagramme Rb/Sr a) ensemble des points; b) moyenne des teneurs; c) comparaison avec les granitoïdes du Limousin.....	143
Fig. n°62	- Diagramme bilog. Rb/Sr en fonction de Sr .....	145
Fig. n°63	- Diagramme K/Rb en fonction de Rb .....	147
Fig. n°64	- Diagramme K/Rb en fonction de Rb.....	147
Fig. n°65	- Diagramme K-Na-Ca.....	148
Fig. n°66	- Diagramme d'évolution isotopique ( $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ ) initial = f (temps en Ma).....	149

## TABLE DES MATIERES

RESUME-ABSTRACT .....	
AVANT PROPOS .....	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
1. INTRODUCTION GEOLOGIQUE (Présentation des massifs cristallins externes). 3	
1.1. Situation des M.C.E. dans les Alpes occidentales .....	4
1.2. Esquisse géologique des M.C.E. ....	6
1.2.1. Généralités .....	6
1.2.2. Les massifs du Mont Blanc et des Aiguilles Rouges .....	7
1.2.3. Le massif de Belledonne .....	7
1.2.4. Le massif des Grandes Rousses .....	15
1.2.5. Le massif du Haut Dauphiné .....	17
2. LES MOYENS DE L'ETUDE (méthode radiométrique K-Ar et Rb-Sr).....	21
2.1. Les principes de la datation radiométrique .....	22
2.2. La méthode K-Ar .....	23
2.2.1. Principe de la méthode .....	23
a) Décomposition du $40\text{K}$ .....	24
b) L'horloge K-Ar .....	25
2.2.2. Problèmes de stabilité du système .....	25
a) Problèmes de l'excès d'Ar.....	26
b) Problèmes des pertes d'Ar.....	27
2.2.3. Systèmes de résolutions graphiques .....	27
a) Le diagramme $40\text{Ar}-40\text{K}$ .....	27
b) Le diagramme isochrone $40\text{Ar}/36\text{Ar}-40\text{K}/36\text{Ar}$ .....	30
c) Diagrammes tridimensionnels .....	30
2.2.4. Mesures de l' $40\text{Ar}$ et du $40\text{K}$ .....	30
2.3. La méthode Rb-Sr .....	31
2.3.1. Principe de la méthode .....	31
2.3.2. Calcul de l'âge ponctuel .....	31
2.3.3. La méthode des isochrones .....	32
a) Modèle fondamental .....	32
b) Signification d'une isochrone .....	32
3. GENERALITES SUR LA SIGNIFICATION DES MESURES RADIOMETRIQUES (modèles proposés).....	35
3.1. Eléments d'interprétation des âges conventionnels .....	36
3.1.1. Rappels sur la signification des mesures radiométriques... 36	

3.1.2. Comportement des minéraux .....	36
a) Méthode K-Ar.....	37
a1) Les études en laboratoire.....	38
a2) Les exemples tirés de la littérature .....	39
b) Méthode Rb/Sr .....	39
c) Utilisation des minéraux .....	40
3.1.3. Notion de température de fermeture .....	44
3.1.4. Modèles classiques d'interprétation .....	44
3.1.5. Modèles proposés dans cette étude .....	48
3.2. Interprétation des âges obtenus par isochrone .....	48
3.2.1. Utilisation d'un diagramme 87Sr/86Sr - 87Rb/86Sr.....	48
a) Modèle simple .....	48
b) Influence d'un métamorphisme subséquent .....	49
c) Système ouvert .....	49
3.2.2. Modèles pour l'interprétation des âges sur isochrone ( ≠ cas possibles).....	51
4. MESURES RADIOMETRIQUES SUR MINERAUX ISOLES (BIOTITES, AMPHIBOLES, MUSCOVITES) DES MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES .....	
4.1. Résultats des mesures radiométriques sur minéraux .....	53
4.1.1. Les biotites .....	53
a) Généralités .....	55
b) Echantillonnage .....	55
c) Données pétrographiques et chimiques (la chloritisation).....	57
d) Résultats Rb-Sr et K-Ar .....	65
4.1.2. Les muscovites .....	65
a) Echantillonnage .....	65
b) Résultats .....	67
4.1.3. Les amphiboles .....	67
a) Généralités - Echantillonnage .....	67
b) Données pétrographiques et chimiques .....	69
c) Résultats K-Ar .....	73
4.2. Interprétations des résultats .....	73
4.2.1. Le massif du Pelvoux.....	73
4.2.1.1. Partie centrale et occidentale .....	73
a) Ages de refroidissement anté-alpins .....	74
b) Influence de l'accident de la Meije .....	77
4.2.1.2. Bordure orientale du massif .....	79
4.2.2. Le massif des Grandes Rousses et le NW du Pelvoux (Rochail)..	79
a) Les biotites .....	81
b) Les amphiboles .....	83
c) Interprétations - Conclusions .....	83

4.2.3. Le massif de Belledonne .....	85
4.2.3.1. Le Sud du massif .....	85
a) Discussion .....	85
b) Interprétation - Conclusion .....	87
4.2.3.2. Le Nord du massif .....	91
4.2.3.3. Les amphiboles dans le massif de Belledonne .....	97
a) Diagramme 40 Ar/36 Ar - 40 K/ 36Ar	
b) Diagramme 40 Ar - K %	
c) Influence de la composition chimique des amphiboles .....	99
d) Interprétations .....	102
5. ETUDE RADIOMETRIQUE Rb-Sr SUR DES GRANITES .....	
5.1. Présentation - Généralités .....	105
5.1.1. Introduction .....	105
5.1.2. Les granites étudiés .....	107
a) Dans le massif de Belledonne .....	107
b) Dans le massif des Grandes Rousses et au NW du Pelvoux.....	107
5.1.3. Caractéristiques principales des granites étudiés .....	107
5.2. Résultats des études géochronologiques .....	111
5.2.1. Les granites du massif de Belledonne .....	111
5.2.1.1. Le Granite des Sept-Laux .....	111
a) Contexte géologique .....	111
b) Etude géochronologique .....	112
5.2.1.2. Le granite de Saint Colomban .....	115
a) Contexte géologique .....	115
b) Etude géochronologique .....	117
5.2.1.3. Le granite de la Lauzière .....	121
a) Contexte géologique .....	121
b) Etude géochronologique .....	123
5.2.2. Les granites du massif des Grandes Rousses et du NW du Pelvoux.....	127
5.2.2.1. Le granite du Rochail .....	127
5.2.2.2. Les granites de Roche-Noire et de La-Fare .....	133
5.3. Interprétations des résultats .....	137
5.3.1. Signification des isochrones .....	137
5.3.2. Les granites du massif de Belledonne .....	137
a) Le granite de St Colomban .....	137
b) Le granite des Sept Laux .....	138
c) Le granite de la Lauzière .....	139
5.3.3. Les granites des Grandes Rousses et du NW du Pelvoux .....	140
a) Le granite du Rochail .....	140
b) Les granites de Roche Noire et de La Fare .....	140

5.4. Géochimie des granitoïdes .....	142
5.4.1. Géochimie des éléments Rb, Sr, K et Ba .....	142
a) Relation Rb-Sr .....	144
b) Diagramme Lg-Lg - Rb/Sr - Sr .....	146
c) Diagramme K/Rb - Rb .....	146
d) Diagramme K-Na-Ca .....	150
5.4.2. Données fournies par les rapports initiaux $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ .....	150
6. CONCLUSIONS GENERALES .....	152

### ANNEXES

Annexe I	- Technique de la détermination des âges par la méthode à l'argon .....	162
Annexe II	- Technique de la détermination des âges par la méthode au strontium .....	169
Annexe III	- Les Biotites: description/localisation des échantillons analyses chimiques, résultats Rb-Sr et K-Ar .....	172
Annexe IV	- Les Muscovites: description/localisation des échantillons, analyses chimiques, résultats analytiques Rb-Sr et K-Ar.....	181
Annexe V	- Les Amphiboles: description/localisation des échantillons, tableau des caractéristiques des amphiboles, analyses chimiques, résultats analytiques K-Ar .....	185
Annexe VI	- Le granite des Sept Laux. Résultats analytiques. Analyses chimiques.....	196
Annexe VII	- Le granite de Saint-Colomban. Résultats analytiques Analyses chimiques .....	198
Annexe VIII	- Le granite de la Lauzière. Description et localisation des échantillons. Analyses chimiques et résultats analytiques.....	200
Annexe IX	- Le granite du Rochail .....	206
Annexe X	- Les granites de Roche-Noire et de La-Fare .....	209
Bibliographie .....		213
Liste des tableaux et des figures .....		220
Table des matières .....		224

Dernière page d'une thèse

---

VU

Grenoble, le 10 mars 1982

Le Président de la thèse



Monsieur DEMEULEMEESTER Pierre

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le 11 mars 1982

Le Président de l'Université Scientifique et Médicale



## RESUME

Ce travail comporte une étude radiométrique sur minéraux, principalement sur biotites (méthodes Rb/Sr et K/Ar) et amphiboles (méthode K/Ar), et l'étude de quelques granites par la méthode Rb-Sr.

La distribution cartographique des âges obtenus sur les formations cristallophylliennes et granitiques des massifs cristallins externes (Belledonne, Grandes Rousses et Pelvoux) de la zone delphino-helvétique (Alpes Françaises) permet de mettre en évidence :

- un comportement hétérogène des roches et des différents massifs cristallins vis-à-vis de l'orogénèse alpine ;

- une chloritisation de biotites qui est d'âge soit tardi-hercynien, soit crétacé supérieur. Les chlorites de néoformation sont différentes et certainement méso-alpines ;

- l'importance du rôle et de l'influence des accidents majeurs du socle. L'accident médian de Belledonne, ceux de la Meije et de la bordure orientale du Pelvoux ont une zone d'influence bien mise en évidence par les cartes de discordance entre les méthodes Rb/Sr et K/Ar sur biotites.

Une chronologie des événements hercyniens et alpins est aussi précisée :

- une granitisation ancienne probable : Saint-Colomban (à 500 Ma ?) ;

- un métamorphisme ancien, fini calédonien ou hercynien précoce à  $373 \pm 30$  Ma K/Ar sur les amphiboles des séries gneissiques des Grandes Rousses, mais il est peu marqué dans le massif de Belledonne ;

- un métamorphisme hercynien tardif à  $323 \pm 18$  Ma (K/Ar sur les amphiboles, avec des excès d'Ar<sub>40</sub> fréquents). Il est surtout bien marqué dans le massif de Belledonne ;

- une granitisation fini-hercynienne importante produisant le granite du Rochail (NW du Pelvoux) à  $331 \pm 31$  Ma, et celui des Sept-Laux (Belledonne) à  $322 \pm 43$  Ma. Le granite de la Lauzière est le plus tardif, mais il est vraisemblablement repris par des événements tardi-hercyniens à permien (254 ± 17 Ma) ;

- ces derniers sont très importants dans l'ensemble des massifs cristallins :  $288 \pm 10$  Ma (K/Ar sur amphiboles du SE de Belledonne, Rb-Sr des biotites du SW des Grandes Rousses) ;

- une phase alpine précoce (126 à 81 Ma dans le massif de Belledonne 130 à 52 Ma dans celui du Pelvoux) soit éo-alpine (crétacé sup-paléocène). Elle est bien marquée, en particulier par le rejeu important des accidents majeurs du socle (« synclinal » médian, chevauchements de la Meije et de la bordure orientale du Pelvoux) ;

- une phase méso-alpine (Eocène-Oligocène)  $39 \pm 7$  Ma (Belledonne sud) fin à  $27 \pm 5$  Ma (Belledonne nord) ;

- une phase néo-alpine (Miocène moyen) à  $15,4 \pm 1,2$  Ma (phengite de fente alpine) correspond à la surrection du massif de Belledonne.

## MOTS-CLES

Datation K/Ar ; Datation Rb/Sr ; Distributions Géographiques Biotites ; Amphiboles ; Isochrones ; Granites ; Tectonique ; Massifs Cristallins Externes ; Alpes Occidentales Françaises.