



HAL
open science

Vue d'ensemble sur les mesures de géochronologie par radioactivité effectuées dans les Alpes occidentales

Jean-Pierre Dumas

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Dumas. Vue d'ensemble sur les mesures de géochronologie par radioactivité effectuées dans les Alpes occidentales. Géologie appliquée. 1964. dumas-00979744

HAL Id: dumas-00979744

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00979744>

Submitted on 16 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DUMAS (J. P.)
1964

2^e Sujet
D.E.S.

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
E 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43

FACULTE DES SCIENCES DE GRENOBLE

INSTITUT DOLOMIEU

Diplôme d'études supérieures

deuxième sujet

"Vue d'ensemble sur les mesures de géochronologie
par radioactivité effectuées dans les Alpes occidentales."



Dumas J.P.

30-6-1964

VUE D'ENSEMBLE SUR LES MESURES DE GEOCHRONOLOGIE
PAR RADIOACTIVITE EFFECTUEES DANS
LES ALPES OCCIDENTALES.

★ FACULTÉ des Sciences
UNIVERSITÉ de GRENOBLE
★

La Géologie n'échappe pas à la règle qui veut que toute discipline qui traite du passé soit amenée à classer dans leur ordre chronologique les différents phénomènes auxquels elle s'intéresse, ainsi qu'à situer ces phénomènes par rapport à un instant donné. L'échelle stratigraphique classique, fondée sur des événements précis, dont l'ordre de succession dans le temps a pu être déterminé de façon stricte, ne répond qu'en partie à cette exigence. Etant essentiellement relative, elle ne fait que situer, les uns par rapport aux autres, les différents phénomènes qui ont affecté l'écorce terrestre, et ne donne aucune autre indication quant à leur âge exact ou à leur durée en temps absolu.

Ce problème préoccupe depuis fort longtemps les naturalistes et, de nombreuses méthodes, partant d'arguments géologiques, paléontologiques ou physiques, ont été expérimentés avec plus ou moins de bonheur. BUFFON, et plus tard HOLMES, proposent de mesurer l'épaisseur des sédiments déposés, en supposant que la vitesse des dépôts est constante. On a pu croire également que les espèces fossiles que nous livrent les terrains sédimentaires avaient évolué toutes à la même vitesse. Cette hypothèse semble être démentie par les faits. Quelques méthodes géophysiques comme celle des corrélations entre les variations connues du rayonnement solaire et les périodes glaciaires, proposée par MILANKOVITCH, ou comme celle des corrélations entre les périodes glaciaires et les mouvements du pôle n'ont pas donné de meilleurs résultats.

En fait, il semble que la première méthode de datation absolue vraiment digne d'intérêt ait été celle qui s'applique aux dépôts quaternaires d'argiles à varves de la Baltique. Rappelons que ces argiles, déposées par les glaciers, présentent une alternance de niveaux sableux clairs, corres-

pendant aux dépôts d'été, lorsque les eaux de fonte des glaciers provoquent un apport détritique appréciable et de minces lits d'argile sombre, qui représentent, l'érosion cessant pratiquement avec l'hiver, la sédimentation sous la banquise des seules particules en suspension dans l'eau de mer. Le décompte de ces lits donne avec précision le temps mis par la couche pour se déposer. Cette méthode n'est toutefois utilisable que localement et elle ne permet guère de remonter l'échelle des temps au delà de 15 000 ans.

Nous en serions encore à spéculer sur l'âge des périodes antérieures si la découverte de la radioactivité n'était venue apporter quelques lumières et résoudre en partie le problème des datations en temps absolu.

METHODES DE DETERMINATION DES AGES ABSOLUS A PARTIR DE LA RADIOACTIVITE.

1° - Principe des mesures. Un élément radioactif est un élément qui se transforme spontanément en un autre élément de nature chimique différente. Le mode de désintégration varie avec le corps considéré, mais dans tous les cas une masse quelconque d'un même matériel radioactif met un temps constant pour diminuer de moitié. On appelle ce temps la période ou demi-vie du corps radioactif. Cette période, remarquablement constante, ne varie ni en fonction de l'état de ~~la~~ combinaison chimique du corps radioactif, ni en fonction de la température ou de la pression.

Les calculs des physiciens nous fournissent la valeur de cette période en ce qui concerne les différents éléments radioactifs.

Considérons donc un corps radioactif A, donnant par transmutation un corps radiogénique B et imaginons un minéral contenant, au moment de sa cristallisation, une certaine quantité du corps A. La teneur du minéral en élément B radiogénique est alors nulle, mais elle va aller en augmentant avec le temps, au détriment de la teneur en élément

A qui, elle, diminue. La période de désintégration de A étant connue, un dosage des éléments A et B à un moment donné nous permet, par l'intermédiaire du rapport $\frac{A}{B}$, de déduire l'âge absolu du minéral.

On pourra ~~ainsi~~ ^{ainsi} déterminer l'âge de tout minéral contenant un élément radioactif, à condition de connaître la période de cet élément et de pouvoir mesurer avec une précision suffisante les quantités résiduelles d'élément radioactif et les teneurs en éléments de décomposition.

La quasi totalité des méthodes de mesure d'âge absolu au moyen de la radioactivité, à part deux dont il sera question plus loin, s'inspire de ce principe. Chacune d'elles s'adresse à un domaine du temps qui est fonction de la période de l'élément radioactif utilisé pour la mesure. Ainsi, le Carbone 14, dont la demi-vie est relativement courte (5 600 ans) ne pourra guère être utilisé au delà de 50 000 ans, car la quantité de carbone à doser est alors trop petite pour être mesurée avec précision. Inversement, les éléments à longue période qui pourront servir à remonter très avant dans les temps géologiques ne permettront pas de déterminer des âges jeunes (<10 M.A.)⁽¹⁾. La quantité de produits désintégrés, cette fois, n'étant pas suffisante.

2° - Méthodes utilisant la radioactivité du Thorium et de l'Uranium.

Le Thorium et l'Uranium, au terme d'un processus de transmutation assez complexe, se désintègrent tous les deux en plomb (dit plomb radiogénique), en émettant des radiations α qui sont des noyaux d'Hélium.

a) Méthode à l'Hélium.

Il suffit de doser, dans un minéral, les quantités d'Uranium, de Thorium et d'Hélium pour être en mesure de déterminer l'âge de ce minéral.

(1). M.A. = Millions d'années.

Cette méthode est abandonnée, car l'Hélium, de par sa nature gazeuse, s'échappe facilement du minéral et les âges obtenus sont alors trop jeunes.

b) Méthode au plomb total.

On va s'attacher cette fois à doser le plomb, ~~qui s'échappe~~ autre produit de la désintégration et qui s'échappe beaucoup moins facilement que ne le fait l'Hélium. Mais on doit alors considérer qu'une certaine quantité de plomb a pu exister dans la composition chimique du minéral au moment de sa formation. Ce plomb, appelé "plomb primaire" ou encore "plomb commun" s'ajoute, s'il existe, au plomb radiogénique et l'âge obtenu, dit âge apparent, sera plus élevé que l'âge réel. Les minéralogistes américains LARSEN, KEEVIL et HARRISON ont considérablement réduit les risques d'une telle erreur en remarquant que les zircons contiennent en général très peu de plomb commun. Les âges apparents obtenus en opérant sur des zircons sont égaux, à 10 % près, aux âges réels.

c) Méthode aux isotopes du plomb.

Afin de pouvoir appliquer la méthode précédente à des minéraux autres que le zircon, on a été amené à distinguer le plomb commun du plomb radiogénique à l'aide du spectrographe de masse. Le plomb commun est en effet caractérisé par la présence, dans sa composition isotopique, de Pb 204, alors que le plomb radiogénique est formé de :

Pb 206 provenant de l'U238

Pb 207 provenant de l'U235

Pb 208 provenant du Th232.

L'U238 et l'U235 ayant des périodes de désintégration différentes se comportent comme deux éléments étrangers l'un à l'autre, et l'on peut utiliser, pour calculer les âges, les rapports suivants : $Pb206/U238$ - $Pb207/U235$ - $Pb208/Th232$. D'autre part, la composition isotopique de l'Uranium étant constante, on peut également utiliser le rapport $Pb206/Pb207$.

Cette méthode, bien que très complexe et exigeant un important matériel, est certainement celle qui donne les

meilleurs résultats. On obtient en effet quatre âges différents pour un même échantillon, ce qui permet de préciser la valeur moyenne ou de choisir celui qui semble le plus probable.

d) Méthode du plomb commun.

On constate que la teneur du plomb commun en plomb radiogénique augmente régulièrement avec le temps. On suppose pour cela que, dans le magma originel, le plomb commun était en contact avec de l'Uranium et du Thorium produisant, en se désintégrant, du plomb radiogénique. Au moment de la mise en place des filons dans les zones supérieures de l'écorce terrestre, se serait produite une ségrégation, séparant en divers gisements le plomb d'une part, les éléments radioactifs d'autre part et stoppant ainsi le processus d'enrichissement du plomb commun en plomb radiogénique. L'étude au spectrographe de masse de la composition isotopique du plomb permet alors de déterminer les rapports $\frac{\text{Pb207 radiogénique}}{\text{Pb204 commun}} = \alpha$ et $\frac{\text{Pb206 radiogénique}}{\text{Pb204 commun}} = \beta$. Le rapport α donnera un âge appelé "âge modèle", représentant la date de la mise en place du filon.

3° - Méthode au Rubidium-Strontium.

Le Rubidium est un élément naturel composé de deux isotopes dont l'un, le Rb87, se transforme spontanément en Strontium 87 par radioactivité β , et ceci avec ^{une} période de 60 000 M.A. La grande durée de cette demi-vie permet de conduire le calcul comme si la teneur en Rubidium était constante, à condition toutefois que la teneur en Strontium ne soit pas gonflée par la présence de Strontium commun.

Un des grands intérêts de cette méthode tient à ce qu'elle est applicable aux biotites et qu'elle peut, par conséquent, servir à dater un grand nombre de roches diverses. Les mesures d'âge absolu au Strontium ont donné des âges s'échelonnant entre 15 et 3 860 M.A ; ce dernier résultat

se rapporte à un mica lépidolite du Transvaal, qui est actuellement le plus ancien minéral connu.

4° - Méthode Potassium-Argon.

Le Potassium naturel contient toujours, en proportion constante, du Potassium 40 qui se désintègre avec un rapport constant en Calcium 40 par radioactivité β et en Argon 40 par capture d'électron. La méthode consiste à doser le Potassium par voie chimique pour en déduire la quantité de Potassium 40, et ensuite à doser l'Argon resté captif dans les mailles du minéral. Cette dernière opération est très délicate ; elle exige que l'Argon soit extrait sous vide, qu'il soit séparé des autres gaz et dosé au spectrographe de masse.

Tout comme pour la méthode à l'Hélium, on peut supposer que l'Argon, qui est un gaz, arrive à s'échapper du minéral par diffusion.

5° - Méthode au Carbone 14.

Le Carbone 14 se forme continuellement dans la haute atmosphère, sous l'influence des rayonnements cosmiques et à partir de l'azote de l'air. En présence de l'oxygène de l'air, il donne aussitôt du gaz carbonique qui diffuse vers les basses couches de l'atmosphère où il entre dans le cycle du Carbone. Dès sa formation, cependant, le Carbone 14 commence à se désintégrer spontanément en azote 14 par radioactivité β avec une période de 5 600 ans. Il s'établit de la sorte un équilibre et la teneur du Carbone terrestre en Carbone 14 est constante.

Les organismes vivants fixent ainsi une quantité déterminée d'élément radioactif. Après leur mort, cet élément ^{non seulement} ne se renouvelle pas, mais encore sa teneur diminue régulièrement avec le temps. En comparant la radioactivité d'une certaine quantité de Carbone extrait des restes d'un organisme mort, à la radioactivité de la même quantité de Carbone actuel, on pourra calculer l'âge de l'organisme mort.

Les mesures sont souvent délicates en raison de la faible radioactivité que présente souvent le Carbone résiduel. Au delà de 50 000 ans, il devient impossible d'apprécier cette radioactivité.

6° - Méthode des dommages dus à la radioactivité.

Principe : les radiations émises par certains noyaux radioactifs ont le pouvoir d'endommager la structure réticulaire des minéraux qui les contiennent, au point de modifier leurs propriétés physiques. La radioactivité de l'Uranium et du Thorium est ainsi susceptible de détruire la structure cristalline d'un zircon au point de le transformer en substance amorphe. Un cristal ainsi transformé est dit "métamicté".

Il est possible d'apprécier, quantitativement, au moyen des Rayons X, l'importance de ces dommages causés à la structure par la radioactivité du Thorium et de l'Uranium. GOTTFRIED et HOLLAND [1955] ont en effet remarqué, en étudiant des zircons d'âge connu, que la variation d'une des dimensions de la maille du cristal est proportionnelle à la dose d'irradiation subie par le minéral depuis sa cristallisation. Le rapport de cette dose totale d'irradiation, à l'importance de la radioactivité résiduelle du minéral au moment de la mesure, permet de calculer l'âge du cristal.

La principale cause d'erreur tient au fait que, si l'on élève à une température suffisante un cristal en voie de métamictisation, celui-ci reprend sa structure cristalline normale. Des phénomènes géologiques comme le métamorphisme ou l'orogénèse sont donc susceptibles de rajeunir ainsi les zircons impliqués dans leur processus.

7° - Méthode des halos pléochroïques.

Principe : Les halos pléochroïques/^{qui} se développent autour de certaines inclusions dans des minéraux comme la biotite, les amphiboles ou la fluorine, sont des effets de radiation dues à des particules α émises par ces inclusions.

L'intensité de la coloration des halos est fonction du nombre total de particules α émises. En mesurant au moyen d'un photomètre l'intensité de cette coloration, on peut connaître la dose totale de radiation émise par l'inclusion radioactive depuis sa formation. Il suffira alors, comme dans la méthode précédente, de mesurer la radioactivité α résiduelle de ces inclusions pour être en mesure d'en déterminer l'âge. Cette radioactivité est souvent très faible et il a fallu attendre l'invention des émulsions photographiques [POWELL, 1946] qui sont sensibles à des émissions de quelques particules par semaine pour obtenir des résultats valables.

Comme pour la méthode précédente, une élévation suffisante de la température est susceptible d'"effacer" les halos. D'autre part, cette méthode ne semble pas définitivement au point et les valeurs d'âge qu'elle fournit sont imprécises et souvent aberrantes par rapport à d'autres résultats portant sur la même roche et obtenus par des méthodes éprouvées.

8° - Principales causes d'erreurs et signification des âges obtenus.

- De nombreuses erreurs peuvent entacher les résultats :
- Les erreurs d'ordre expérimental relèvent de problèmes purement techniques et tiennent essentiellement au fait que les quantités parfois infimes de substance à doser se situent aux limites de sensibilité des appareils de mesure.
 - Une partie des éléments radioactifs ou radiogéniques contenus dans le minéral utilisé a pu s'échapper au cours de la vie de ce minéral ou au cours de la préparation qu'il a dû subir en vue de la mesure. Inversement, des impuretés peuvent venir s'ajouter, soit au matériel radiogénique, ce qui donnera un âge apparent plus ancien que l'âge réel, soit au matériel radioactif, ce qui donnera un âge plus récent.

- L'élément radiogénique peut ne pas rester intégralement prisonnier du cristal qui l'a produit. La méthode à l'Hélium a été condamnée pour cette raison. Les méthodes à l'Argon ou au Strontium risquent également de pécher de cette manière, bien qu'à un degré moindre. Il est en effet possible que l'Argon et le Strontium diffusent ou migrent hors du cristal, sinon spontanément, du moins sous l'influence de conditions particulières telles que celles qui sont parfois réalisées lors d'un métamorphisme. L'âge obtenu sera alors inférieur à l'âge réel, sans indiquer pour autant l'époque de la migration, celle-ci n'ayant pas été forcément totale. Les méthodes au Plomb ne semblent que faiblement affectées par ce processus, le Plomb s'échappant difficilement des minéraux qui le contiennent.

On a tenté d'éliminer cette cause d'erreur en employant la méthode dite "de la roche totale". On considère pour cela que les éléments ne migrent pas hors de la roche qui les renferme, alors qu'ils sont susceptibles de quitter le cristal qui les contient. On a donc effectué les dosages sur la roche prise en totalité, mais les teneurs en éléments intéressants sont, de ce fait, infiniment moindres, et les mesures d'autant plus délicates.

- Le problème posé par la possibilité d'addition de matériel commun au matériel radiogénique n'est pas complètement résolu. Il contrarie surtout les méthodes au Plomb, mais il peut aussi affecter les autres méthodes.
- Une mesure exige, pour être effectuée, une certaine quantité de matière, composée en général d'un certain nombre de cristaux de même nature. Ces divers spécimens d'un même minéral provenant d'une même roche peuvent ne pas être tous de même âge. Certains peuvent avoir été "rajeunis" par un métamorphisme selon le processus déjà décrit. D'autres, comme ce peut être le cas pour les zircons, peuvent présenter un noyau ancien dans des enveloppes successives d'âges différents. L'âge obtenu sera alors intermédiaire entre

les âges des divers minéraux et pourra même perdre toute signification géologique. Les résultats des méthodes au Plomb, au Strontium, et à l'Argon, peuvent être faussés par ce phénomène.

En général, les mesures portent sur un minéral déterminé et l'on en déduit l'âge de la roche en supposant pour cela que tous les autres minéraux constituant l'échantillon ont cristallisé en même temps. En fait, "l'horloge atomique sonne" pour un minéral, au moment de sa cristallisation. Or, dans une roche, les minéraux constitutifs ne cristallisent pas forcément tous en même temps. La biotite par exemple, cristallise à une température plus basse que la muscovite. Ainsi, pour une même roche, cette dernière donnera un âge plus ancien que celui obtenu à partir de la biotite. De même, si l'on considère une roche intrusive au cours de sa mise en place, il est logique de penser que les parties de la roche ignée proches de la surface auront cristallisé avant les parties profondes et qu'elles donneront ainsi un âge plus élevé.

Enfin, si l'on s'adresse par des méthodes différentes, voire par la même méthode à deux minéraux différents d'une même roche, on est susceptible d'obtenir deux résultats très éloignés. Il en est ainsi pour la protogine du Mont Blanc et pour les migmatites du Grand Paradis où les âges obtenus à partir du zircon par la méthode au Plomb total, sont beaucoup plus anciens que ceux obtenus à partir des micas par la méthode à l'Argon. On explique cet écart par le fait que les micas ont été rajeunis au cours du métamorphisme alpin d'une manière beaucoup plus poussée que ne l'ont été les zircons.

APPLICATION AUX ALPES DES METHODES DE GEOCHRONOLOGIE ABSOLUE.

Nous connaissons actuellement, dans les Alpes, environ 150 résultats utilisables de mesures d'âge absolu, d'origine suisse pour la plupart. Ce chiffre est relativement bas si l'on considère l'étendue de la chaîne alpine. De plus,

ces résultats sont groupés sur certaines zones privilégiées (St Gotthard - Aar - Région du lac Majeur...) et de vastes étendues restent ignorées. L'emploi de méthodes différentes parfois sur le même échantillon provoque une dispersion des chiffres obtenus. En bref, le petit nombre de mesures effectuées, leur position très groupée dans l'espace et la diversité des méthodes employées font qu'il ne semble guère possible, dans l'état actuel de ces travaux, d'aboutir à des conclusions valables à l'échelle des Alpes.

Par contre, les méthodes de géochronologie absolue ont pu, dans bien des cas, lever des indéterminations locales ou vérifier des hypothèses déduites d'observations géologiques classiques. C'est ainsi que les masses de gabbros et de péridotite de la zone d'Ivrée avaient été considérées par certains auteurs [WALTER, 1950 ; DALVESCO, 1957] comme pouvant être la racine des ophiolites alpines. Une mesure par la méthode des dommages dus à la radioactivité, effectuée sur la péridotite de Finero, donne un résultat minimum de 246 M.A. L'âge de cette péridotite est donc anté-alpin, ce qui semble définitivement infirmer l'hypothèse précédente. Dans un domaine qui nous est plus familier, l'âge de 340 M. A. donné pour les migmatites du Grand Paradis, par la méthode au Plomb total, confirme l'existence d'un métamorphisme anté-houiller, existence annoncée par R. MICHEL, à la suite d'observations purement géologiques.

Nous avons tenté de classer les résultats obtenus dans les Alpes en fonction du domaine auxquels ils s'adressent, de la nature pétrogénétique des roches auxquelles ils se rapportent et des diverses méthodes employées (annexe V). Nous avons négligé, dans ce graphique, les résultats obtenus par la méthode des halos pléochroïques, résultats que leur imprécision rend difficile à placer dans l'échelle des temps. Un certain nombre de faits se dégagent de ce tableau.

A) SCHISTES CRISTALLINS.

Les mesures se groupent aux périodes précambriennes, hercyniennes et alpines.

- Ages précambriens.

Tous obtenus par les méthodes au Plomb, les résultats, au nombre de 5, sont les suivants :

- 770 et 730 M.A. pour les échantillons de la série de Fully, dans le Nord des Aiguilles Rouges ;
- 665 M.A. pour les migmatites du Mont Rose ;
- 635 M.A. pour un gneiss de la nappe de la Margna ;
- 613 M.A. pour un gneiss de la zone de Strona (zone d'Ivrée).

Ces quelques mesures, et en particulier les deux premières, viennent, malgré leur caractère isolé, à l'appui d'hypothèses émises tout d'abord par Pierre TERMIER⁽¹⁾ et reprises ensuite par certains auteurs,⁽¹⁾ sur la présence, dans les Alpes, d'un matériel très ancien.

- Ages hercyniens.

Un assez grand nombre de mesures donne des résultats compris entre 350 et 225 M.A. (Anthracolithique), ce qui s'accorde, dans la majorité des cas, avec les données géologiques habituelles. On peut en conclure que les méthodes de géochronologie absolue, en dépit de toute les réserves exprimées à leur sujet, fournissent des résultats souvent valables, puisqu'ils corroborent parfaitement les données pétrographiques et stratigraphiques. Le fait est particulièrement remarquable en ce qui concerne, par exemple, les massifs cristallins externes.

On peut également avancer qu'une importante partie du matériel hercynien n'a pas subi l'influence du métamorphisme alpin. Il est cependant nécessaire de faire preuve à ce sujet d'une grande prudence, l'âge obtenu dépendant pour une grande part de la méthode utilisée et du minéral sur lequel a porté la mesure. En effet, les minéraux comme ~~les zircons ont très bien pu subir~~

(1) CORBIN et OULIANOFF, notices de la carte géologique du Mt Blanc au 1/20 000 ; BORDET C. et P., Mém. Carte géol. dét. France, [1961], Livre mémorial P.FALLOT 1962.

P. TERMIER, Les séries cristallophylliennes des Alpes occidentales, C.R.A.S., t. 133, p. 964, 1901).



les zircons ont très bien pu subir l'influence du métamorphisme alpin et ne garder que peu de traces de cette influence. Par contre, le fait que des âges anthracolithiques aient été obtenus par des méthodes telles que celles au Strontium ou à l'Argon qui utilisent des minéraux très sensibles au métamorphisme, même faible, donne à penser que le matériel sur lequel ont été effectuées ces mesures n'a pas été remanié ou ne l'a été que fort peu depuis l'époque hercynienne. On pourrait évidemment dire que ces âges hercyniens correspondent à un matériel très ancien (par exemple antécambrien) "rajeuni" au cours du métamorphisme alpin. Mais cette hypothèse ne semble guère valable étant donné l'importance qu'a eu le "drame hercynien" dans les Alpes.

Enfin, il faut noter que les mesures effectuées sur les massifs cristallins internes ne font apparaître aucune différence marquante entre leur histoire géologique et celle de leurs homologues externes. Il est vrai que le nombre de ces mesures est restreint.

- Âges alpins.

Les mesures donnant des âges alpins (entre 60 et 15 MA) sont assez nombreuses. Tous les résultats obtenus l'ont été à partir des méthodes au Strontium ou à l'Argon, et portent sur un matériel souvent attribué au domaine hercynien par les méthodes au plomb. C'est en particulier le cas pour les séries cristallophylliennes du St Gotthard où les âges tertiaires obtenus correspondent au métamorphisme alpin qui semble avoir provoqué ici une recristallisation générale des minéraux utilisés pour les mesures au Strontium ou à l'Argon, alors qu'il aurait épargné les minéraux datés par les méthodes au plomb, lesquelles donnent, nous l'avons vu, des âges hercyniens.

- Âges intermédiaires.

On peut évidemment penser au "rajeunissement" à l'alpin ou à l'hercynien d'un matériel très ancien, mais il

est difficile d'exclure totalement la possibilité d'existence, au cours de l'ère primaire, de phénomènes jusqu'alors inconnus et que dateraient ces mesures.

- Âges situés entre l'époque hercynienne et l'époque alpine.

Les auteurs considèrent généralement ces âges comme déterminés sur un matériel hercynien ou anté-hercynien, éruptif ou cristallophyllien, matériel en partie seulement métamorphisé ou rétromorphosé à l'époque alpine. Si les différents minéraux auxquels se rapportent ces mesures ont cristallisé, pour chacun d'eux, à deux époques distinctes, il est clair que les âges obtenus seront aberrants et qu'ils se trouveront situés entre ces deux époques. Le résultat est identique s'il se trouve dans l'échantillon daté une certaine quantité de minéraux détritiques épargnés par le métamorphisme. On considère donc la plupart du temps que ces âges intermédiaires entre l'époque alpine et une époque plus ancienne mal déterminée ne présentent aucune signification géologique valable. Cette explication peut sembler satisfaisante. Toutefois, en poussant à bout le raisonnement, il semble qu'un nombre important de mesures, voire la plupart d'entre elles, devraient se trouver dans ce cas. Or, les âges correspondant à l'ère secondaire, restent l'exception. Ils pourraient alors, peut-être, constituer un argument en faveur de l'idée naissante d'une phase tectonique et métamorphique localisée à certaines régions au cours de l'ère secondaire.

B - ROCHES ERUPTIVES.

On peut tout d'abord constater qu'aucune roche éruptive de la chaîne des Alpes n'est datée de l'Antécambrien. La plupart d'entre elles donnent des ~~roches~~ âges correspondant aux époques hercyniennes et alpines. On note également quelques âges intermédiaires.

- Ages hercyniens.

En ce qui concerne les massifs cristallins externes, la majorité des résultats donne des âges compris entre 350 et 225 M.A., ce qui confirme les idées généralement admises. Seules les roches intrusives des Aiguilles Rouges semblent être antérieures, mais la présence éventuelle de plomb commun dans les zircons peut avoir influé sur le résultat des mesures.

Il en est de même pour les granites de Baveno et de Monte Orfano qui semblent définitivement rangés dans l'époque hercynienne par les résultats des méthodes au Strontium et à l'Argon. Les âges anté-carbonifères dérivant des méthodes au plomb sont remis en questions par les auteurs eux-mêmes qui les ont obtenus. En effet, la teneur en plomb commun des zircons utilisés pour la mesure était certainement trop forte pour que le résultat soit satisfaisant.

- Ages alpins.

Dans le domaine externe, tous ont été obtenus par les méthodes au Strontium et à l'Argon. Il est donc probable que les mesures datent l'influence du métamorphisme alpin, influence appliquée à un matériel dont l'âge hercynien est établi par les méthodes au plomb.

Le caractère post-tectonique des massifs intrusifs des Alpes du Sud semble nettement établi par les résultats obtenus. Toutes les mesures se situent dans la période Oligocène-Miocène et les différentes méthodes utilisées fournissent des résultats remarquablement concordants. Le fait est particulièrement net en ce qui concerne le massif de Bergell où quatre méthodes différentes donnent des résultats identiques.

- Ages intermédiaires.

Au sujet des âges intermédiaires (compris entre 225 et 70 M.A.), les mêmes considérations peuvent être faites^{qu'} Ven ce qui concerne les schistes cristallins vus précédemment : cristallisation à deux époques différentes de minéraux de même nature, ou bien alors plutonisme local dont aucune autre preuve ne peut encore être avancée.

C - ROCHES FILONIENNES.

Les résultats sont assez satisfaisants pour les géologues alpins, en ce sens qu'ils indiquent une activité hydrothermale à l'Hercynien, ce qui correspond aux observations de terrain. Les âges postérieurs semblent provenir de manifestations filoniennes tardives, ou bien d'un remaniement, à l'Alpin, d'un matériel hercynien. Deux mesures seulement indiquent nettement un âge alpin.

CONCLUSIONS.

Il ressort de cette compilation et de cet essai d'interprétation des mesures effectuées jusqu'à ce jour, sur quelques formations cristallines de la Chaîne alpine, qu'il faut encore être très prudent quant à leur valeur réelle et à leur utilisation.

Chaque résultat exige une discussion propre, et un âge absolu ne doit être considéré comme valable que s'il est tenu compte de la valeur intrinsèque de la méthode utilisée, de la nature et des propriétés du minéral daté, ainsi que de l'histoire géologique de la formation qui le renferme.

On conçoit facilement qu'une interprétation valable n'est pas aisée quand on sait la complexité de l'Histoire géologique de la Chaîne alpine telle que l'établissent les données de la Stratigraphie, de la Pétrographie et de la Tectonique.

Ces premiers résultats montrent toutefois la contribution que ces méthodes géochronologiques peuvent apporter, dans un avenir plus ou moins proche, à la connaissance exacte des divers événements géologiques qui ont conduit à la constitution des Alpes. En effet, les quelques 150 mesures faites à ce jour sont déjà, à certains égards, satisfaisantes, puisqu'elles s'accordent avec les synthèses classiques fondées sur des observations purement géologiques.

En outre, elles sont peut-être susceptibles de mettre en évidence des phénomènes qui, jusqu'à maintenant, n'ont pas été individualisés, ou tout au moins elles attirent notre attention sur l'existence possible d'événements dynamiques à des périodes considérées jusqu'alors comme calmes.

Il paraît donc souhaitable que les mesures d'âges absolus soient beaucoup plus nombreuses et exécutées de façon systématique dans tous les massifs cristallins des Alpes et dans les diverses formations lithologiques qui les constituent. Mais on ne doit pas oublier que les différentes disciplines de la Géologie, Stratigraphie, Pétrographie, Tectonique, en grand ou en détail, Géochimie..., doivent fournir les données de base sans lesquelles les chiffres géochronologiques ne présentent guère d'intérêt.

FACULTE DES SCIENCES
LABORATOIRE
DE MINÉRALOGIE
GRENOBLE

ANNEXES

Annexe I = Tableau des mesures d'âge absolu effectuées dans les zones alpines externes.

Annexe II = Tableau des mesures d'âge absolu effectuées dans le domaine pennique.

Annexe III = Tableau des mesures d'âge absolu effectuées dans le domaine austro-alpin.

Annexe IV = Tableau des mesures d'âge absolu effectuées dans sur les massifs post-tectoniques des Alpes du Sud.

Annexe V = Tableau récapitulatif des mesures d'âge absolu effectuées dans l'ensemble des Alpes occidentales.

BIBLIOGRAPHIE

Principales abréviations.

- C.R.A.S. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences, Paris.
- S.M.P.M. Schweizer Mineralogische und Petrographische Mitteilungen (Suisse).
- T.L.C.F. Travaux du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

BIBLIOGRAPHIE GENERALE

- ROQUES (M.) 1954.- Mesure de l'âge absolu des zircons par la méthode du Plomb α .
T.L.C.F., série Documentation n° 17.
- " 1956.- La mesure du temps en Géologie.
Revue d'Auvergne.
- " 1957.- Détermination de l'âge des roches cristallines par extraction du zircon.
T.L.C.F., série Documentation n° 4.
- BONHOMME, PHILIBERT, ROQUES, VIALETTE 1959.-
Technique de la détermination des âges absolus par la méthode au Strontium.
T.L.C.F., Série Documentation, n° 10.
- HOLMES 1960. A revised geological time scale.
Trans. Edin. geol. soc., 17, part 3, pp. 183-286.
- K U L P 1960.- The geological time scale.
Intern. geol. Congress, XXIe session, part III,
pp. 18-27, Copenhague.
- VIALETTE 1962.- Contribution à l'étude géochronologique par la méthode au Strontium des principaux massifs de granite et de migmatites du Massif Central Français.
Annales de la Faculté des Sciences de Clermont, N° 6.

PUBLICATIONS COMPORTANT DES RESULTATS DE MESURES D'AGES ABSOLUS
EFFECTUEES DANS LES ALPES.

- 1954.- I = CHERVET, GEOFFROY, WEBER,
La brannérite du gisement aurifère de
La Gardette - Sa signification géologique.
Bull. Soc. Fr. de Min., t. LIV.
- 1956.- II = DEUTSCH, HIRSCHBERG, PICCIOTTO
Etude des halos pléochroïques
Bull. Soc. belge Géol., 65-267.
- II = L. MORET
Données nouvelles sur l'âge absolu
des argiles d'Eybens, près de Grenoble.
C.R.A.S., t. 242, n° 2, p. 219-221.
- 1957.- I = PANGAUD, LAMEYRE, MICHEL
Age absolu des migmatites du massif
du Grand Paradis.
C.R.A.S., t. 245, n° 3, p. 331-333.
- 1958.- I = DEUTSCH, PICCIOTTO, NIGGLI
Age des halos pléochroïques des gra-
nites de Baveno et Monte Orfano.
Experientia, v. 14, n° 4, p. 128-129.
- II = DEUTSCH, PICCIOTTO
Etude des halos pléochroïques dans
le granite de Medel-St Gothard.
Experientia, vol. 14, n° 4, p. 128-129.
- III = FERRARA, LEDENT, STAUFFER
L'età del mineralizzazioni uranifere
nelle Alpi occidentali,
Cour. Mag. Ric. Mud., vol. 1, part II, p. 725.
- 1959.- I = DEUTSCH, NIGGLI, PICCIOTTO
Etude préliminaire des halos pléochroïques
de quelques roches métamorphiques et éruptives du
St Gothard.
Experientia, vol. XV/6, p. 214.
- II = E. JÄGER et H. FAUL.
Age measurements on some granites and
gneiss from the Alps.
Bull. of Geol. Soc. of Am., v. 70, p. 1553-1558.

1960.- I = R. CHESSEX.

Sur l'âge absolu de quelques roches des Alpes et des Appalaches, par la méthode des dommages dus à la radioactivité. Summer Course on Nuclear Geology, Varenna.

II = E. JÄGER and H. FAUL.

Alterbestimmungen an einigen Schweizer Gesteinen und dem Granit von Baveno. S.M.P.M., ~~40~~ 40, 1.

III = GRÜNENFELDER und STERN.

Das Zirkon-Alter des Bergeller Massiv. S.M.P.M., 40, 253-259.

IV = KRUMMENACHER et EVERNDEN.

Déterminations d'âges isotopiques faites sur quelques roches des Alpes, par la méthode K/A. S.M.P.M., 40, 2, p. 267.

V = KRUMMENACHER, EVERNDEN, VUAGNAT

Sur l'âge absolu de la péridotite micacée de Fidero. Arch. Sc., Genève, vol. 13, fasc. 3.

VI = PASTEELS.

L'âge des halos pléochroïques du granite d'Habkern et de quelques roches du massif de l'Aar. S.M.P.M., 40, 261-266.

1961.- I = CHESSEX et VUAGNAT.

L'âge du massif de Traversella (Piémont-Italie) par la méthode des dommages dus à la radioactivité. Bull. des lab. géol. min. géograph. et du Musée géol. Univ. Lausanne, n° 129.

II = GRÜNENFEDER et HAFNER.

Das Zirkon-Alter granitischer Gesteine aus dem Gotthardmassiv. Experientia, 17, 295.

III = JÄGER, GEISS, STRECKEISEN, WÜTHRICH.

Rb/Sr Alter an Gesteinglimmern des Schweizer Alpen. S.M.P.M., 41, 255-272.

1962.- I = BUCHS, CHESSEX, KRUMMENACHER, VUAGNAT.

Ages "Pb total" déterminés par fluorescence X sur les zircons de quelques roches des Alpes. S.M.P.M. 42/2, p. 295-306.

II. = CHESSEX

Déterminations d'âge de quelques roches des Alpes du Sud et des Apennins par la méthode des dommages dus à la radio-activité. S.M.P.M. 42/2.

III = CHESSEX, F. de MONMOLLIN, FERRARA, LONGINELLI.

Measurements of the age of the Vallorcine granite. Nature, vol. 193, n° 4822, p. 1279.

IV = FERRARA, HIRT, JÄGER, NIGGLI.

Rb/Sr and U.Pb, age determination on the pegmatite of I Mondei. Eclogae, v. 59, n° 2, p. 443-450.

V = GRÜNENFELDER

Mineralalter von Gesteinen aus dem Gothardmassiv. S.M.P.M., 42, p. 5-6.

VI = GRÜNENFELDEN et HAFNER.

Über das Alter und die Entstehung des Roetondogranits. S.M.P.M., 42, 169-207.

VII = JÄGER.

Rb/Sr determinations on micas and total rocks from the Alps. Journ. of geophysical Research, vol. 67, n° 13, p. 5293-5305.

1963.- I = BONHOMME, BUFFIERE, MICHEL, PHILIBERT, ROCQUES, VIALETTE.

Age absolu du massif du Rochail. C.R.A.S., vol. 256, n° 12, p. 2649-2651.

II = ROY LADURIE (Lc) et CORBEL.

Datation au C¹⁴ de vieux arbres retrouvés dans les moraines. Rev. Géogr. alpine, T.LI, 1, p. 173.

III = E. JÄGER

Rb/Sr Alter im zentralalpinen Pennikum. Bull. of Geol. Soc. of Am., v. 70, pp. 1553-1558.

1963.- IV = WÜTHRICH H.

Rb/Sr Alterbestimmungen an Gesteinen aus dem Aarmassiv.
Eclogae, vol. 56-1, 103.

V = Y P M A (P.J.M.)

Rejuvenation of ore deposits as exemplified by the Belledonne metalliferous province. Leyden Department of Petr. Min. and Crystal. of univ. of ~~Leiden~~, 2e s., n° 12.

VI = GEOFFROY

La brannérite du filon aurifère de la Gardette (Isère) et sa signification métallogénique. Bull. Soc. Fr. Min. Crist., LXXXVI, 129-132.

1964.- I = R. MICHEL, et J.M. BUFFIERE, GAMOT, ROQUES, VACHETTE.

Gneiss de Rochetaillée)
Gneiss d'Allement) non publiés
Granite des Sept-Laux)
Granite du défilé de Maupas (

II = R. MICHEL, J.M. BUFFIERE, GAMOT, ROQUES, VACHETTE.

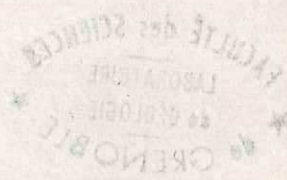
Age absolu de la syénite du Lauvitel (Massif du Rochail secteur nord ouest du Pelvoux).
C.R.A.S. Sous presse.

III = GEOFFROY, LENOBLE, VERNET.

C.R.A.S., t. 258-9, p. 994.

IV = VIALETTE et VIALON

Etude géochronologique de quelques micas des formations du Massif de Dora-Maira.
Sous presse : Annales Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.



DOMAINE EXTERNE

MASSIF et LOCALISATION		Nature de l'échantillon	Minéral utilisé pour la mesure.	AGES OBTENUS en millions d'années.							
				Méthode au Rubidium Rb/Sr Strontium	Méthode au Plomb Pb.c. Commun	Méthode au Plomb Pb.6 total	Méthode aux isotopes du Plomb			Méthode au Potassium K/A Argon	Méthode des dommages dus à la radio-activité
							Pb 206 U 238	Pb 207 U 235	Pb 206 Pb 207		
ARGENTERA	x S ^t Martin de Vesubie	Pechblende	Pechblende			203	191.5 Pb/U non	185 Pb/U non	104.50 Pb/U non		Dora Don
PELVOUX	x Le Clapin à l'E du Bourg d'Oisans.	Granite	biotite.	319 ± 9							
	x Rochail. Vallée du Vénéon.	" "	" "	327 ± 16							
	✓ Lac Lauritel	Vaugnerite	phlogopite	326 ± 14							
	✓ Pic de Pian	Pegmatite	muscovite	325 ± 6							
	x Mine de la Gardette Bourg d'Oisans.	Filonien	Galène		50 à 60						
BELLEDONNE	✓ Rochetaille'	gneiss	biotite	265 ± 19							
	✓ Allemont	" "	" "	278 ± 18							
	✓ Les Sept Laux	granite	" "	260 ± 20							
	✓ Défilé de Maupas.	" "	" "	256 ± 6							
	✓ Mine de Tilleray	Filonien	galène			230 ± 75					
	✓ " " Pierrehese	" "	" "			316 ± 75					
	✓ " " Longerolle	" "	" "			193 ± 75					
	✓ " du Mont Jean	" "	" "			242 ± 75					
	✓ " " Sahey	" "	" "			153 ± 75					
	✓ " de Perrelle	" "	" "			214 ± 75					
	✓ " " Richesse.	" "	" "			242 ± 75					
	✓ " " Montgilbert	" "	" "			284 ± 75					
	✓ " " Bourvillard.	" "	" "			223 ± 75					
✓ " d'Argentine.	" "	" "			237 ± 75						

"	"	"	"	316 ± 75							
"	"	"	"	193 ± 75							
"	"	"	"	242 ± 75							
"	"	"	"	153 ± 75							
"	"	"	"	214 ± 75							63V
"	"	"	"	242 ± 75							
"	"	"	"	284 ± 75							
"	"	"	"	223 ± 75							
"	"	"	"	237 ± 75							
"	"	"	"	163 ± 75							
"	"	"	"	344 ± 75							
"	"	"	"	149 ± 75							
Tronc fossile de "pinna sp."	Matière organique									37.000	56 II
Lignite	Lignite									35 à 40.000	
Protogine	Zircon			355							62 I
"	"			242							
Protogine	microcline.						41 ± 1				60 IV
tronc d'arbre	Matière organique									330 ± 80	63 II
"	"									280 ± 80	
Granodiorite	Zircon			736							62 I
Migmatite	"			770							
Granodiorite migmatitique	biotite.						292 ± 4				60 IV
Granite aplitique	muscovite						237 ± 4				
Migmatite	Zircon			410							62 I
Paragneiss	biotite.						144 ± 3				60 IV
Migmatite strobilaire	"						266 ± 4				
Granite	Zircon	286 ± 10		460							62 I
"	"	"		350							
"	biotite						225 ± 3				60 IV
"	Zircon							167 ± 10			62 III

	✓	" " Pierrehese	" "	" "		316 ± 75				
	✓	" " Longevolle	" "	" "		193 ± 75				
	✓	" du Mont Jean	" "	" "		242 ± 75				
	✓	" " Sapey	" "	" "		153 ± 75				
	✓	" de Perrelle	" "	" "		214 ± 75				
	✓	" " Richesse.	" "	" "		242 ± 75				
	✓	" " Montgilbert	" "	" "		284 ± 75				
	✓	" " Bouvillard.	" "	" "		223 ± 75				
	✓	" d' Argentine.	" "	" "		237 ± 75				
	✓	" des Mouches.	" "	" "		163 ± 75				
	✓	" du Fond de France	" "	" "		344 ± 75				
	✓	" de Saint Hugon.	" "	" "		149 ± 75				
	✓	Argiles d'Eybens (près Grenoble.)	Tronc fossile de "pinus sp."	Matière organique						
	✓	Vaugland (Chambery)	Lignite	Lignite						
MONT-BLANC	✓	Aiguille du Midi	Protogine	Zircon			355			
	✓	Carrière de Piaz le Fort (E du massif)	" "	" "			242			
	✓	Le Chapeau (mor de Glace)	Protogine	microcline.					41 ± 1	
	✓	Moraine du glacier de Tacoumaz	tronc d'arbre	Matière organique						
	✓	Moraine du glacier de Tacoumaz	" "	" "						
AIGUILLES ROUGES	✓	Série de Fully (E du massif)	Granodiorite	Zircon			736			
	✓	Série de Fully (cote de du Rhône - N du massif)	Migmatite	" "			770			
		Série de Fully	Granodiorite migmatitique	biotite.					292 ± 4	
		" "	Granite aplitique	muscovite					237 ± 4	
		Série des Aiguilles Rouges (au-dessus de Salvan)	Migmatite	Zircon			410			
		Série des Aiguilles Rouges.	Paragneiss	biotite.					144 ± 3	
		" "	Migmatite stratoïde	" "					266 ± 4	
		Granite de Valloisine	Granite	Zircon	286 ± 10		460			
		" "	" "	" "			350			
		" "	" "	biotite					225 ± 3	
	" "	" "	Zircon						167 ± 10	

Granodiorite migmatique	biotite.					292.74			60IV
Granite aplitique	muscovite					237.54			
Migmatite	Zircon		410						62I
Paragneiss	biotite.					144.3			60IV
Migmatite striatoïde	" "					266.4			
Granite	Zircon	286.10		460					62I
" "	" "			350					
" "	biotite					225.3			60IV
" "	Zircon						167.10		62III
granodiorite	" "			350					62I
Granite central de l'Aar	biotite verte.					23.			59II
Granite central de l'Aar	Roche totale.	249.40							63IV
" "	biotite	18.5.2							
granite	biotite brun-vert	73				75			59II
" "	" " "					78			
" "	Roche totale.	193.21							62VII
Granite.	Roche totale	256.22							
	biotite	54.3							
	Microcline	102.8							
	Albite.	2.200.250							
Gneiss	biotite.	298.12							63IV
" "	" "	305.12							
" "	biotite décolorée.	170.27.							
Granite	biotite.	271.11							
Pegmatite	muscovite.	312.12							
" "	" "	287.12							
" "	" "	309.30							
Granite									
Gneiss	biotite.							Moyenne des 3: 100.	60VI

Série de Tully	Granodiorite migmatique	biotite.							272 ± 4
" "	Granite aplitique	muscovite							237 ± 4
Série des Aiguilles Rouges (au-dessus de Salvan)	Migmatite	Zircon			410				
Série des Aiguilles Rouges.	Paragneiss	biotite.							144 ± 3
" "	Migmatite stratoïde	" "							266 ± 4
Granite de Vallorcine	Granite	Zircon	286 ± 10		460				
" "	" "	" "			350				
" "	" "	biotite							225 ± 3
" "	" "	Zircon							167 ± 10
Massif de l'Azuille (col de la Forclaz)	granodiorite	" "			350				

AAR STOP.

Rätenschboden	Granite central de l'Aar	biotite verte.							23.
Grishorn	Granite central de l'Aar	Roche totale.	249 ± 40						
Granite central de l'Aar.	" "	biotite	18,5 ± 2						
Granite de Mittagfluh	granite	biotite brun-vert	73						75
" "	" "	" " "							78
" "	" "	Roche totale.	193 ± 21						
Granite de Mittagfluh à Tschingelbrücke	Granite.	Roche totale	256 ± 22						
		biotite	54 ± 3						
		Microcline	102 ± 8						
		Albite.	2.200 ± 250						
Boebi Erstfeld.	Gneiss	biotite	298 ± 12						
" "	" "	" "	305 ± 12						
" "	" "	biotite décolorée.	170 ± 27						
Gasterntal - Gastern.	Granite	biotite.	274 ± 11						
Galerie Obmand - Stausee Granite de Tödi	Pegmatite	muscovite.	312 ± 12						
Entre Mittelplatte et Etylhütte.	" "	" "	287 ± 12						
Restalp - Lötschentel	" "	" "	309 ± 30						
Granite de Gastern	Granite								
Gneiss d'Estfeld.	Gneiss	biotite.							

		Albite.	2200 ± 250					
	Boebi Erstfeld.	Gneiss	biotite	298 ± 12				
	" "	" "	" "	305 ± 12				
	" "	" "	biotite décolorée.	170 ± 27				
	Gasterntal - Gastern.	Granite	biotite.	271 ± 11				
	Galerie Oberrand - Stausee. Granite de Tödi	Pegmatite	munovite.	312 ± 12				
	Entre Mittelplatte et Etzlihütte.	" "	" "	287 ± 12				
	Restalp - Löttschentel	" "	" "	309 ± 30				
	Granite de Gastern	Granite						
	Gneiss d'Erstfeld.	Gneiss	biotite.					
	Cornienne de Rotbergli. (Vallée de l'Aar.)	Cornienne schisteuse						
SAINT GOTTHARD	Gamsboden - Mäheli. Hospental. Gotthard pass.	Gneiss	biotite	13,5 ± 2,4		275 ± 15	280 ± 15	300 ± 50
	" "	Gneiss	Zircon					-10 ± 80
	" "	Gneiss	Feldspath sodi-potassique					
	Fibbia - Stausee Lucendo Gotthard pass	" "	biotite	16 ± 1,9		290 ± 15	305 ± 20	390 ± 60
	" "	" "	Zircon					
	Sedrun	Gneiss à biotite et grenat	biotite.	42 ± 5				
	Medell - Pardatsch Lukmanierstrasse.	Gneiss	biotite	21,7 ± 5,6				
	" "	" "	Zircon			290 ± 20	315 ± 20	340 ± 60
	Val Drais Lukmanierpass	Streifengneiss	biotite	32,3 ± 14				
	" "	" "	Zircon			485 ± 20	520 ± 25	560 ± 90
	Rotondo Chuebodenhorn	Granite	Zircon			140 ± 8	140 ± 10	170 ± 70
	" "	" "	Feldspath. sodi-potassique					-380 ± 80
	Granite de Medel	" "	biotite.					
	" "	" "	biotite.					
	Val Piora	ortho et paragneiss	biotite.					
	Val Nafis. Taveloch (marif)	pegmatite	munovite.	295 ± 14				
	Tunnel du St Gotthard.	filonien	galène		260 ± 70			
Dans gneiss de Fibbia. St Gotthard pass	" "	" "		270 ± 70				
Val Caldinno	" "	" "		340 ± 80				
Bernina	Granite	Zircon			260			
" "	" "	" "			295			
Habkern près de Thun.	" "	biotite						
" "	" "	" "	267 ± 11					

DOMAINE PENNIQUE

Annexe II

MASSIF LOCALISATION	Nature de l'échantillon	Minéral utilisé pour la mesure	ÂGÉS OBTENUS (en millions d'années.)					Indexe bibliographique	
			Méthode au Rubidium Strontium	Méthode au Plomb total	Méthode aux isotopes du Plomb.				Méthode au Potassium Argon
					Pb 206 U 238	Pb 207 U 235	Pb 207 Pb 206		
	Preit - Val Maira (Cone)	micaschiste	minéralisation en U		215 ± 12				58 III
	" "	micaschiste	" "		165 ± 8				
	Salabessa - près de Preit	Sables poreux	" "		97 ± 5				
	Bric Colme	Schistes minéralisés en U	" "		180 ± 9				
Massif de DORA MAIRA.	Sud de Torre Pellice	Micaschistes mésocata	muscovite phengitique	99 ± 18					64 IV
	Rose - Sud Torre Pellice	Orthogneiss	biotite	52 ± 10					
	Région de Coazze	orthogneiss	biotite	42 ± 10					
	Vallée de la Varaita Bramano	Pegmatite	muscovite	40 ± 7					
	Vallée du Chisone	Diorite gneissique	biotite	29 ± 4					
Massif du G ^o PARADIS et zone de SESIA-LANZO		migmatite	Zircon		340				57 I
		Granite	Zircon		350				60 IV
		Gneiss ocellé	biotite				45 ± 1		
	Vico - zone de Sasia Lanzo	Diorite	biotite				30 ± 1		
Massif du M ^o ROSE	Mappe du Mont Rose	migmatite	Zircon		665				62 I
	Granite du Mont Rose	Granite	Zircon		362				
NAPPES SIMPLO-TESSINOISES	Sud-Ouest de Villadossola	gneiss leucocrate	biotite	19,7 ± 1,7					
	" "	" "	muscovite	34,3 ± 3,5					
	" "	" "	muscovite	33,6 ± 3,3					
	Ouest de Villadossola	gneiss à deux micas	biotite brune	19,7 ± 3,9					
	Cava di Mica	Schistes & biotite au contact héridotite	biotite brune	25,9 ± 5,4					

Massif du M ^r ROSE	Nappe du Mont Rose	gneiss	Zircon		665				62 I
	Granite du Mont Rose	Granite	Zircon		362.				
NAPPES SIMPLO-TESSINOISES	Sud-Ouest de Villadossola	gneiss leucocrate	biotite	19,7 ± 1,7					
	" "	" "	muscovite	34,3 ± 3,5					
	" "	" "	muscovite	33,6 ± 3,3					
	Ouest de Villadossola	gneiss à deux micas	biotite brune	19,7 ± 3,9					
	Cava di Mica	Schistes à biotite au contact héridotite	biotite brune	25,9 ± 5,4					
	" "	Pegmatite	grande muscovite	204 ± 6,5					
	" "	" "	muscovite verte	210 ± 9					
	" "	" "	muscovite fine	109 ± 6					
	" "	" "	" "	198 ± 7					
	" "	" "	Uraninite		167 ± 7	152 ± 8			
	" "	" "	" "		162 ± 7			175 ± 100	
	" "	" "	" "		142 ± 6			150 ± 35.	
	" "	gneiss à deux micas	muscovite	33,9 ± 8,2					
	" "	" "	" "	33,9 ± 8,2					
	Verampio	gneiss granitoïde	Zircon		270				62 I
	Coeco (zone de la Maggia.)	gneiss	biotite	16,0 ± 1					61 III
	Brione - Ticino	gneiss	biotite	17,5 ± 1,9					
	" "	" "	" "	16,9 ± 1,9					
" "	" "	" "	16,0 ± 3,6					62 VII	
" "	" "	" "	15,9 ± 3,9						
" "	" "	muscovite	16 ± 20						
" "	" "	biotite	16				18		
" "	" "	muscovite					19	60 II	
Corippo (zone des Racines)	gneiss	biotite					18		
Croppo (zone des Racines)	"	"	19,3 ± 0,7					62 VII	
Beura (zone des Racines)	"	"	21,2 ± 1,3						
Verrana (zone des Racines)	pegmatite	muscovite	27					63 III	
Nappe de la Margna	gneiss	Zircon		637.				62 I	

DOMAINE AUSTRO - ALPIN



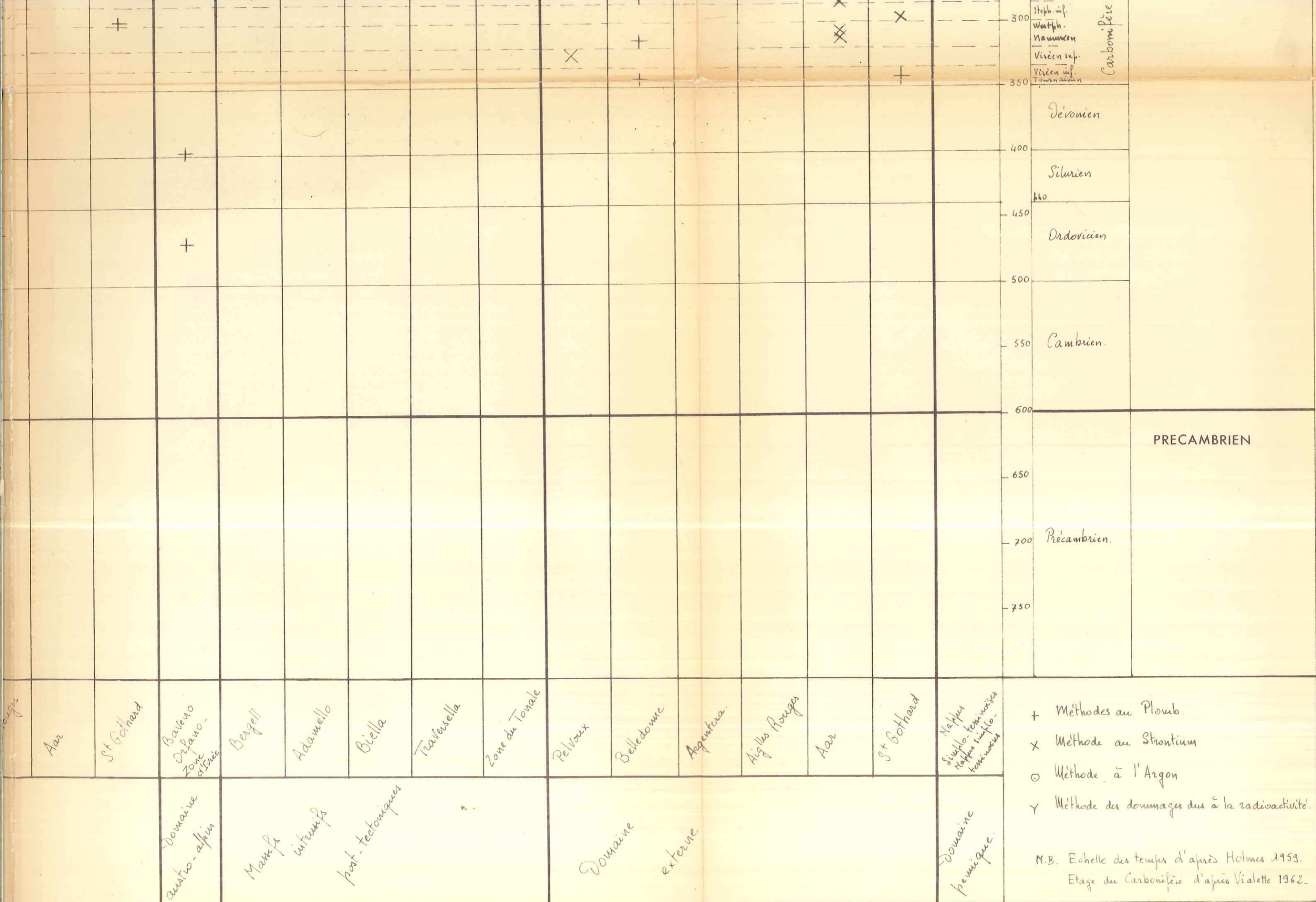
Annexe III

MASSIF	LOCALISATION	Nature de l'échantillon.	Minéral utilisé pour la mesure.	AGES OBTENUS en millions d'années.					Indexe bibliographique
				Méthode au Rubidium Strontium.	Méthode au Plomb total Strontium .	Méthode au Potassium Argon	Méthode des dommages dus à la radio-activité	Méthode des Halos pleochroïques	
Massif de BAVENO. (Près du lac Majeur.)		Monzonite quartzique	Zircon.				76 ± 8		62 II
		Monzonite quartzique	Zircon				73 ± 7		
		Granite	Zircon				96 ± 11		
		Granite	Zircon		463				62 I
		Granite	Zircon		398				
		Granite	biotite.				269		60 II.
MONTE ORFANO. (Près du lac Majeur)		Granite	biotite	274			268		60 II - 61 III.
		Granite	Feldspath potanique	275					
		Granite	biotite					120 > âge < 50.	58 I.
Zone d' IVRÉE	Finero.	Péridotite	phlogopite				246 ± 4		60 V
	Finero.	Péridotite	phlogopite	160 ± 100.					62 VII
	Albo. Nibbio.	Amphibolite	biotite	172 ± 13.					
	Zone de Strona.	gneiss	Zircon		613				62 I
		gneiss à biotite.	Zircon				266 ± 20		62 II
SILVRETTA	Frauenkirchen	Orthogneiss	muscovite	293 ± 12.					61 III - 62 VII
	Frauenkirchen	Orthogneiss	roche totale	356 ± 21					62 VII
	Radönt Graubunden	Gneiss à biotite	biotite	306 ± 13					61 III - 62 VII

MASSIFS INTRUSIFS POST-TECTONIQUES DES ALPES DU SUD

Annexe IV

MASSIF et LOCALISATION	Nature de l'échantillon.	Minéral utilisé pour la mesure.	AGES OBTENUS. <i>en millions d'années.</i>					Indexe bibliographique
			Méthode au Rubidium Strontium	Méthode au Plomb commun	Méthode au Potassium Argon	Méthode des dommages dus à la radio-activité	Méthode des Halos pléochroïques	
Massif du BERGELL (Intrusif dans les nappes penniques et austro-alpines inférieures)	Granite.	biotite.	25.					63 II
	Monzonite quartzique	Zircon				24 ± 3.		62 II
	Monzonite quartzique	Zircon				21 ± 3.		
		Zircon		25 ± 10.				60 III.
		Zircon.		30 ± 10				
Massif de L'ADAMELLO (Intrusif dans la zone insubrienne).	granite de Monte Capanne	granite					40	56 I.
	Diorite quartzique	Zircon				30 ± 4.		
	Diorite quartzique	Zircon				29 ± 3.		
	Granodiorite	Zircon				33 ± 4.		62 II
Massif de BIELLA (Zone de Seria Lanzo).	Syenite	Zircon				37 ± 4		
	Syenite	Zircon				40 ± 6		
Massif de TRAVERSELLA (Zone de Seria Lanzo)	Syenite	biotite			31 ± 1			60 IV
	Monzonite quartzique	Zircon				26 ± 3		
	Diorite quartzique.	Zircon				31 ± 4.		61 I
	Diorite quartzique	Zircon				29 ± 4		
Zone du TONALE	Diorite quartzique	Zircon				32 ± 3		62 I
	Diorite quartzique	Zircon				33 ± 2.		
	Melivolo.	Tonalite	biotite	21,8 ± 2,3.				62 VII



300
 350
 400
 450
 500
 550
 600
 650
 700
 750

Carbonifère
 Devonien
 Silurien
 Ordovicien
 Cambrien
 PRECAMBRIEN
 Précambrien.

Aar
 St Gotthard
 Baleino
Orfano-
Zone
alpine
 Bergell
 Adamello
 Biella
 Traversella
 Zone du Tonale
 Pelloux
 Belledonne
 Argentera
 Aigles Rouges
 Aar
 St Gotthard
 Mappe
Simplon-ferroviaire
Mappe-ferroviaire
terminales

Domaine
austro-alpin
 Massifs
intrusifs
 post-tectoniques
 Domaine
externe
 Domaine
peunisque.