

L. KERVAN

**PREUVES
EN GEOLOGIE
ET
PHYSIQUE**

**DE
TRANSMUTATIONS
A FAIBLE ENERGIE**

maloine s.a. éditeur paris 

L. KERVAN

PREUVES EN GEOLOGIE ET PHYSIQUE DE TRANSMUTATIONS A FAIBLE ENERGIE



PREUVES
EN
GÉOLOGIE ET PHYSIQUE
DE
TRANSMUTATIONS
A FAIBLE ÉNERGIE

Du même auteur, même éditeur :

TRANSMUTATIONS NATURELLES, 2^e édit., 1966

Préface de Jean LOMBARD, Géologue

**LES TRANSMUTATIONS BIOLOGIQUES
EN AGRONOMIE** 1970

**TRANSMUTATIONS A FAIBLE ENERGIE
NATURELLES ET BIOLOGIQUES**, 2^e édit., 1972

PREUVES EN BIOLOGIE,

de Transmutations à faible énergie (à paraître)

(T. I, 2^e édit., remplaçant **Preuves des Transmutations Biologiques**
de 1968)

Aux éditions « Le Courrier du Livre » - Paris - 1966 :

**A LA DECOUVERTE DES TRANSMUTATIONS
BIOLOGIQUES**

traduit en anglais : **Biological Transmutations**,
Crosby Lockwood, Publish, London.

traduit en italien : **Alla Scoperta delle trasmutazioni biologiche**,
Edagricole - Bologna.

Condensé des ouvrages des Editions MALOINE (en anglais) :
Biological Transmutations, par Michel Abehsera. Edit. Swan
House Publish. Co., 338, Crown-Street - Brooklyn (U.S.A.).

C. Louis KERVRAN

PREUVES EN GÉOLOGIE ET PHYSIQUE

DE

TRANSMUTATIONS

A

FAIBLE ÉNERGIE

25 figures



LIBRAIRIE MALOINE S. A. ÉDITEUR

27, Rue de l'École-de-Médecine - 75006 PARIS

1973

INTRODUCTION

J'ai publié en 1968 un ouvrage intitulé « Preuves relatives à l'existence de transmutations biologiques ». En 1972 il était presque épuisé et à la demande de l'éditeur je commençais la rédaction de la 2^e édition.

Toutefois, au cours de ce travail, il m'est apparu qu'après ce délai de 4 ans, je ne pouvais pas me contenter de retouches légères pour une « nouvelle édition, revue et corrigée » ou « revue et augmentée ». Une branche de mes travaux s'est en effet tellement développée depuis cette date qu'il me faut en tenir compte et ne plus faire état seulement des transmutations biologiques.

Je l'ai marqué d'ailleurs dans la réédition, en 1972, de mon ouvrage de 1964 : « Transmutations à faible énergie », resté épuisé plus de trois ans, faute de trouver le temps de le refondre suffisamment. J'y ai apporté de nombreux faits nouveaux pour montrer combien le type de transmutation dont j'avais diffusé le principe à partir de 1959 trouvait des applications nombreuses, constituait la seule explication possible, non seulement en biologie, mais encore en géologie.

Car si les transmutations biologiques étaient possibles, c'est parce qu'il y avait une structure du noyau des atomes qui n'avait pas été vue par la science classique. Les transmutations biologiques n'étaient donc qu'un cas d'application du principe que j'avais dégagé, qu'on a souvent appelé « l'effet Kervran », et que j'ai appelé « transmutation à faible énergie » pour éviter toute confusion avec les transmutations radioactives classiques. Dès 1959 j'évoquais ces transformations constatées en géologie et inexplicables autrement que par mon concept du phénomène. Ainsi était réuni un faisceau convergent de l'existence de transmutations abiotiques. C'est un point que j'ai développé dans une partie de la réédition précitée de 1972.

Toutefois l'ouvrage où étaient regroupées les « Preuves » du phénomène ne citait que des expériences biologiques. Car, à cette époque, c'est seulement par la biologie, animale et végétale, que l'on pouvait prouver la

réalité des transmutations de ce type. Je pensais certes à des expériences qui seraient abiotiques, qui ne mettraient en œuvre que peu de paramètres physiques bien connus, pour voir si nous pouvions réunir les conditions permettant de telles transmutations.

C'est au début de 1967 que se précisèrent dans mon esprit ce que pourraient être de telles expériences, mais il fallut attendre le début de 1971 pour passer au concret. Je donnerai dans un chapitre le calendrier de cette recherche qui ne s'est achevée qu'en mars 1973.

Elle fut positive, et constitue un grand tournant de la science, dans divers domaines. J'ai pensé, devant les échos profonds qu'elle a soulevés, qu'il était préférable de scinder en deux la réédition de l'ouvrage groupant les « Preuves ». Le premier volume sera réservé aux « preuves biologiques ». Mais ce sera un livre entièrement nouveau, à jour des dernières expériences réalisées, abrégé du fait du second volume, qui est celui-ci et qui expose des aspects physiques. Comme à peu près tout ceci est nouveau, que les sujets n'ont pas été abordés dans l'édition de 1968, ce volume paraît le premier ; le tome I suivra sous peu.

A titre de transition entre le biotique et l'abiotique, le présent ouvrage commence par un chapitre sur les pierres, mais sur les pierres « malades », altérées par un effet microbien. Les micro-organismes y produisent des transmutations, transformant par exemple des pierres siliceuses en pierres calcaires.

Cette transition nous conduit ensuite à développer les observations et expériences sur les modifications de roches par une action purement physique. Cela permet de séparer les facteurs, car en biologie le nombre de paramètres est si élevé que l'analyse des causes est complexe, voire impossible, devant notre ignorance de tant de phénomènes du vivant. Certes le problème énergétique est différent ; l'organisme vivant a des moyens très fins que nous ignorons, même en chimie, puisqu'il peut réaliser à froid la combinaison d'un atome d'azote et d'un atome d'oxygène, que nous ne pouvons produire en laboratoire qu'à la température de l'arc électrique ou à très forte pression et haute température, pour le moment du moins (la bionique s'efforce de rechercher et d'imiter les moyens utilisés par les enzymes et il n'est pas exclu qu'on arrive sous peu à faire de telles réactions en utilisant un oligo-élément convenable - utilisé aussi par les enzymes - tel que le cobalt, le molybdène). Mais en physique il en est de même : il nous faut une énergie à tout autre échelle pour réaliser ce que fait la nature avec une très faible énergie. Peu importe la question d'échelle, il faut d'abord voir si nous pouvons reproduire le phénomène, l'étude du « rendement » viendra plus tard.

L'expérience positive, achevée en 1973, est en quelque sorte un aboutissant de mes travaux. Elle montre, sur le plan de la physique, pourquoi des transmutations biologiques peuvent se comprendre alors que

la physique nucléaire classique n'apportait aucune explication acceptable à des faits irrécusables. Cette expérience a été réalisée par deux grands organismes officiels, le C.N.R.S. et le B.R.G.M., avec en outre un apport du Muséum National d'Histoire Naturelle, l'appui du service culturel du ministère des Affaires Etrangères pour faciliter la diffusion à l'étranger etc. La collaboration synthétisée de grands organismes officiels est un gage de la valeur accordée à ces travaux qui ne sont plus mon seul fait.

Tous ceux qui s'intéressent à la biologie à un titre quelconque tireront profit de la lecture du présent ouvrage pour se convaincre, et convaincre les hésitants, de l'existence d'un phénomène que ne pouvait pas voir la science classique, engagée dans une voie unique, aux horizons limités. Ce livre est de ce fait indispensable au médecin, allopathe ou homéopathe, de médecine humaine ou vétérinaire, au diététicien, à l'agronome, au cultivateur, à l'éleveur. Il l'est tout autant au géologue conduit à repenser bien des chapitres de sa science partie de concepts imaginés il y a 150 ans et figée depuis, comme l'a écrit Georges Choubert : il a vu, dans mes travaux, l'explication qui manquait à cette science et à ses dérivés : pétrographie, minéralogie, volcanologie etc. Des applications au génie civil, à l'urbanisme faciliteront la compréhension de certains comportements du sol et du sous-sol ; la pédologie non plus ne saurait ignorer le phénomène.

Je souhaite que le présent ouvrage soit une incitation pour beaucoup de scientifiques à aller de l'avant dans la voie que j'ouvre ici. Je l'ai ouverte du fait de ma formation de généraliste, nécessaire pour procéder aux synthèses mettant en œuvre des disciplines très variées, pour comprendre, interpréter, discuter tout ce qui était observé. Car il fallait discuter avec les spécialistes de la physique, de la chimie, de la biologie, de l'agriculture, de la géologie etc. Aussi, pour commencer, ai-je cru bon de mettre au début du tome I un « hors-d'œuvre » qui permettra au lecteur de comprendre comment j'ai pu dominer suffisamment ces diverses disciplines pour essayer de savoir ce qui se passait, ce qui expliquait les observations, aspect évidemment subjectif, car seuls les faits comptent.

Il appartiendra maintenant aux spécialistes de fouiller le détail, d'aller plus avant, chacun dans sa branche.

PREMIERE PARTIE

**RECHERCHES ET ANALYSES D'ORIGINES DIVERSES
PROUVANT DES TRANSMUTATIONS EN GEOLOGIE**

ALTERATION BIO-METAMORPHIQUE DES PIERRES DES MONUMENTS

J'ai montré dans un livre de 1963 (Transmutations Naturelles), avec photos à l'appui, que des pierres réputées inattaquables comme le granit, pouvaient s'altérer gravement, se « pourrir », alors que pas loin de là des menhirs se dressent fièrement depuis 4 000 ans et se portent bien. Dans certaines conditions d'ambiance, des pierres dures, comme le granit, peuvent voir leurs sculptures s'évanouir, la pierre devient friable, cela sous une action microbienne (fig. 1).

Mais il ne s'agit pas seulement de dégradation physique. Il se produit aussi une action bio-physico-chimique. En général, la biochimie classique est restée incapable de comprendre ce qui se passe, car c'est qualitativement et quantitativement que la composition de la pierre « malade » change. Autrement dit, il y a une transmutation, il y a augmentation d'un composant, diminution d'un autre, cela sans apport ni migration, sans « départ », ni « arrivée », sur place, de façon endogène.

1) Altération des grès des monuments kmers

Deux spécialistes du laboratoire de protection des matériaux du Muséum National d'Histoire Naturelle ont été chargés d'une mission au Cambodge, M. P. Fusey et M^{lle} G. Hyvert. Ils communiquèrent les résultats de leurs recherches à l'Académ. des Sc., par une note du 29-6-64, pour des grès d'un temple d'Angkor. Pour simplifier, je ne donnerai que les analyses de quelques éléments. Il y a eu production intense de calcium dans les pierres d'un parement externe. Les auteurs, avec qui j'étais en contact et connaissaient mes travaux, savaient que le calcium pouvait provenir, d'après moi, de la transmutation du silicium, du magnésium ou



Cliché Kervran.

FIG. 1 - Eglise de Sizun — Pilier extérieur droit du porche. La pierre est malade surtout à l'intérieur du porche ; l'attaque du chapiteau est très visible.

du potassium ; aucune autre origine n'était connue. Voici les résultats, d'après leur note à l'Acad. des Sc., groupe 13, p. 6 573 :

	SiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃
grès sain	63,0	1,40	2,50	1,20	0	4,50
— altéré	35,8	17,34	2,64	1,20	15,70	2,0

(on voit que SiO₂/CaO passe de 4,5 à 2)

Un calcul, que j'ai effectué d'après ces valeurs, montre que Ca et Si + C seraient équivalents : la diminution quantitative de silicium correspondrait à l'augmentation de calcium (fig. 2).

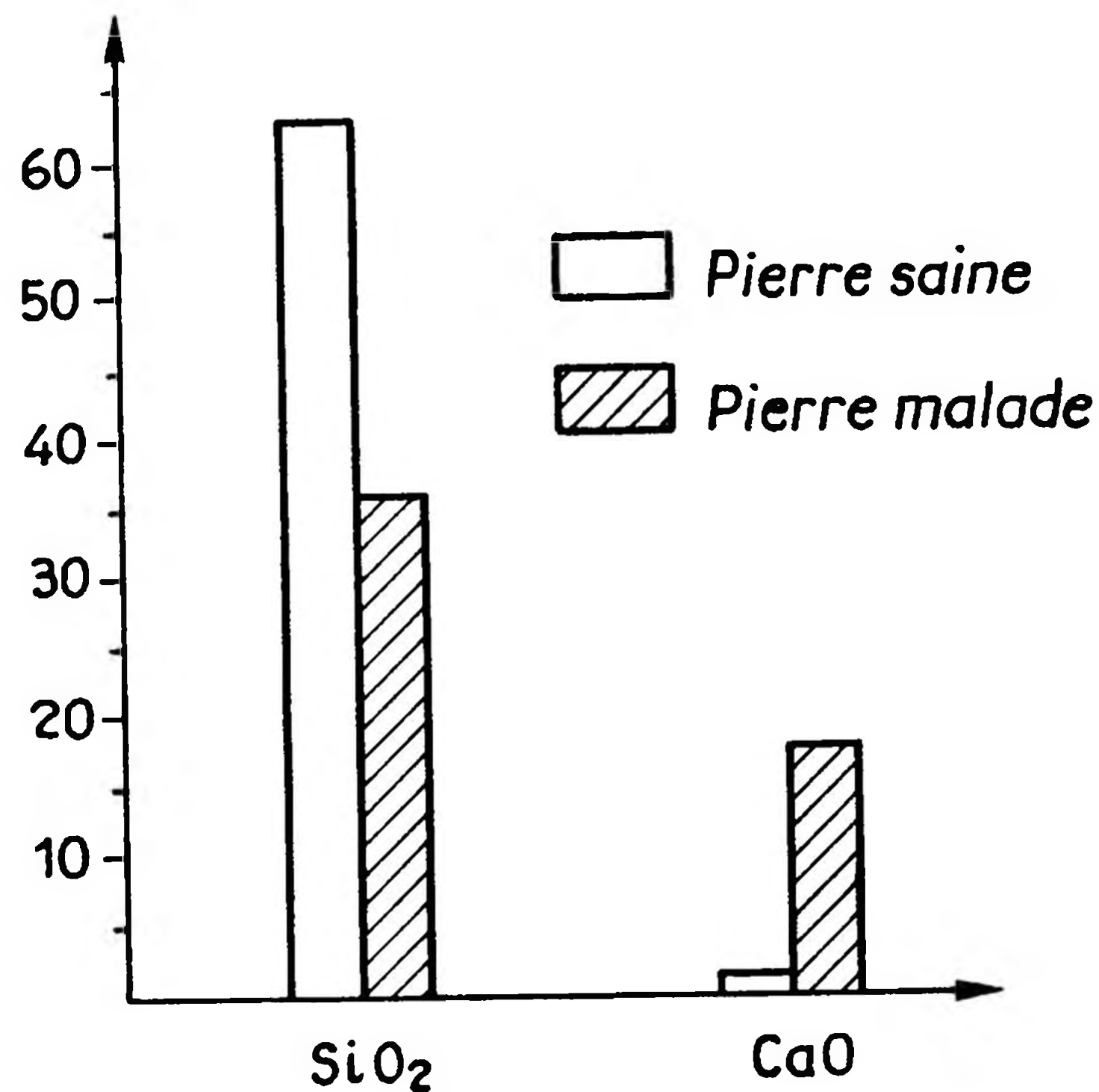


FIG. 2 - Variations de la silice et de la chaux dans la pierre d'un temple d'Angkor (sous l'effet de streptomyces).

On voit que Mg et K n'ont pas varié de façon significative et, à mon avis, seule la forte baisse du silicium peut expliquer la forte augmentation du calcium, qui est multiplié par plus de 12 (l'étude a porté aussi sur les effets possibles de la pluie, mais les analyses données montrent que cette action est négligeable).

Ces grès sont formés de grains de quartz et de feldspath agglomérés par un ciment argilo-ferrugineux avec des traces de calcaire, sous forme de calcite ; mais la proportion de ce ciment est faible eu égard au volume de la roche. Or dans la roche altérée, le calcium apparaît sous forme de sulfate.

Les auteurs ont constaté que sur les parties les plus altérées les prélèvements de micro-organismes ont donné un nombre élevé de Streptomyces, appartenant à 7 espèces différentes. Ils exposent objectivement les résultats et ne présentent aucune explication.

Pour ma part, je ne vois là qu'un cas de plus de l'application de la transmutation $_{14}\text{Si} + {}_6\text{C} :=: {}_{20}\text{Ca}$, formule déjà établie pour des recalifications par la silice organique (de prêle de printemps) etc, recoupée par une foule d'observations convergentes que l'on trouve dans mes autres ouvrages, et qu'il est inutile de répéter ici. Le carbone utilisé par les micro-organismes pourrait venir du CO₂ de l'air, car l'altération se fait en surface ? Il s'agit de microchampignons aérobies.

Il est important aussi de remarquer la forte baisse du fer : 55 % (dans un autre temple du Cambodge, à Banteay Srei, dans un grès ferrugineux est apparu du manganèse, en traînées noires) (fig. 3).



FIG. 3 - Banteay Srei - Pilier d'angle N.E. de la première enceinte : maladie noire diffusant selon les stratifications du grès. On voit nettement la reprise de la maladie sur une pierre nettoyée.

(Photo communiquée par M. Groslier, directeur des recherches archéologiques de l'École Française d'Extrême-Orient, Conservateur des Monuments d'Angkor).

2) La maladie des grès de la cathédrale de Strasbourg

Cet édifice est construit avec des grès des Vosges. Certaines parties très exposées aux pluies sont gravement altérées. L'étude de cette détérioration a été confiée à une commission de sept spécialistes. Celle-ci a publié un rapport en 1967, préfacé par B. Monnet, architecte en chef des Monuments Historiques.

De nombreuses analyses ont été faites, soit sur des efflorescences ou des pellicules superficielles, soit au sein même de quelques pierres. La surprise fut grande de constater (comme à Angkor) que des grès siliceux, réputés peu calcaires, s'étaient, en surface, transformés en un matériau friable contenant jusqu'à 40 % de gypse. Toutefois le rapport n'attire pas l'attention sur l'importante diminution de la teneur en silice des pierres, et c'est ce qui motive le présent exposé. Le phénomène est parallèle à celui qui a été observé à Angkor-Vat : la chaux augmente là où la silice diminue. Il n'y a pas de variation significative de l'alumine, ni du magnésium (le potassium n'a pas été toujours dosé). On trouve dans cette étude des phrases comme : « Les maladies des grès de la cathédrale de Strasbourg, comme ceux de la cathédrale de Fribourg... sont caractérisées par la présence anormale de gypse ($\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Ce point fondamental... est inattendu car les grès utilisés ne sont pas réputés calcaires... L'origine du calcium est un problème nouveau » (pour les enquêteurs du moins).

Le fait que ce calcium apparaisse sous forme de sulfate est estimé normal, le soufre étant imputé à l'atmosphère de la ville. Mais certainement ce ne peut être le cas pour Angkor... Le problème est donc plus complexe que cette imputation a priori au SO_2 de l'air urbain. Les auteurs du rapport ne discutent pas sur cette origine du soufre, mais sur le mécanisme de sa transformation en sulfate. Ils reconnaissent que là ce n'est pas clair, car les prélèvements de micro-organismes n'ont porté que sur l'identification des thiobacilles ; or la densité de ceux-ci n'est pas en rapport direct avec la teneur en sulfate.

Je ne discuterai pas ici ce problème de l'origine du soufre, le présent chapitre étant axé sur le passage de Si à Ca. Je l'ai abordé dans d'autres ouvrages, et dans des exposés lors de congrès internationaux sur l'altération des pierres des monuments. Je dirai seulement que si, dans certains cas, l'augmentation de la teneur en soufre de l'atmosphère des villes, (par le développement des foyers domestiques et industriels chauffés au mazout, qui peut contenir jusqu'à 4 à 5 % de soufre, ce qui représente une masse considérable) a déclenché un processus de dégradation brusque et rapide des pierres, calcaires ou non, des monuments, il n'y a là qu'une explication insuffisante. Passé un certain seuil, en un endroit, il y a stimu-

lation, déclenchement du phénomène de formation de soufre par des micro-organismes dont le gène opérateur se trouve débloquenté par la pression du soufre. Cette étude des causes de l'attaque subite du soufre fait l'objet de recherches dans divers pays ; elle est loin d'être terminée car cette imputation par trop sommaire à la seule toxicité de l'atmosphère urbaine se révèle en fait bien plus complexe (on peut voir quelques échantillons d'études dans les comptes rendus du 1^{er} Colloque Internat. sur la détérioration des pierres en œuvre, présidé par V. Romanovsky, à la Rochelle - sept. 72) et je n'y reviendrai pas ici.

Par contre, à part mes travaux, je ne connais aucune étude, même à l'étranger, sur l'origine de ce calcium si abondant. L'explication pour le soufre est facile à imaginer. Pour le calcium aucune idée ne peut être exprimée pour placer cette augmentation dans le cadre des connaissances classiques. De sorte qu'on esquive le problème ; on donne les valeurs résultant des analyses et pas de commentaire. Ou alors on procède par affirmations gratuites ; on dit que ce calcaire qui n'existait pas à l'origine - selon certains membres de la commission - n'a pu venir que du sol, par migration... à travers des pierres imperméables ; par capillarité à partir des joints en mortier à la chaux. Ou encore qu'il n'y a pas eu d'augmentation du total de CaO contenu à l'origine dans la pierre, que CaO a migré du cœur de la pierre vers la périphérie, d'où de fortes concentrations de CaO en surface. D'où une phrase qui résoud le problème sans discussion : « Un calcul simple montre que *le grès à meules contient bien assez de calcite pour fournir tout le calcium contenu dans les surfaces d'altération* », (c'est souligné dans le texte). Mais dans un texte collectif il se trouve toujours quelques auteurs assez intelligents et à l'esprit scientifique solide pour glisser des phrases ou des faits qui viennent montrer que non seulement il n'y a pas unanimité mais qu'il a été possible de faire « passer » des indications assez précises pour contredire de telles affirmations acceptées, ou tolérées par abstention, par une majorité.

Pour « justifier » cette teneur élevée en chaux on est allé rechercher dans une carrière un « grès à meule », assez riche en calcaire. Mais ainsi que je l'ai écrit aux responsables de la cathédrale, il est impossible que le monument ait été construit avec de telles pierres. On peut toujours faire un calcul simple, en partant d'une base fausse. Mais les analyses montrent que la teneur en calcaire de cette pierre est considérablement plus élevée que la teneur des parties superficielles des pierres altérées ; et il y a contradiction à dire que cette teneur élevée en calcium à la surface vient d'une migration à partir du cœur de la pierre. Ce que contredit d'ailleurs l'analyse du cœur de quelques pierres, car si la surface est déjà moins riche en CaO que la prétendue pierre d'origine, cela correspondrait à une migration centripète et le cœur serait plus riche que la surface. Des analyses montrent que c'est l'inverse, nous allons en donner un exemple. Bien

entendu il ne peut y avoir montée à partir du sol, sur des dizaines de mètres de hauteur, à travers des joints parfois en plomb ; si c'était une montée à partir du sol, ou des joints de mortier, on trouverait le maximum au bas des pierres, et aux pierres les plus basses ; il n'en est rien. La concentration de CaO est seulement là où les pierres sont le plus exposées à l'humidité, car les micro-organismes ont besoin de beaucoup d'eau. Mais, partant d'une idée fixe, on n'a recherché que les thiobacilles ; or il semble qu'il pourrait s'agir essentiellement de micro-champignons, d'après mes recoupements. Ces micro-champignons, de la famille des moisissures et peut-être, en association, des levures pénètrent dans les infractuosités de la pierre, donc là où il y a des sculptures en creux qui retiennent l'eau ; les actions du gel et du dégel sur la surface des pierres provoquent de petites fissures facilitant la pénétration et la rétention d'eau, mais cette pénétration reste superficielle et atteint rarement 5 centimètres. Ce sont donc les sculptures qui vont surtout se dégrader, les pierres fines et élancées, clochetons, pinacles etc.

Un pinacle, pierre monolithique d'environ 2,30 m de hauteur, dressée verticalement, à la face sud, très exposée aux pluies, a été descellé. Il y a été fait 3 coupes ; l'une d'elles au sommet, pyramide très élancée et sculptée, donc très vulnérable et fortement altérée. Mais voyons les deux coupes faites dans le corps, sections rectangulaires de 26×23 cm environ, parce que ces dimensions permettent de comparer la partie intérieure

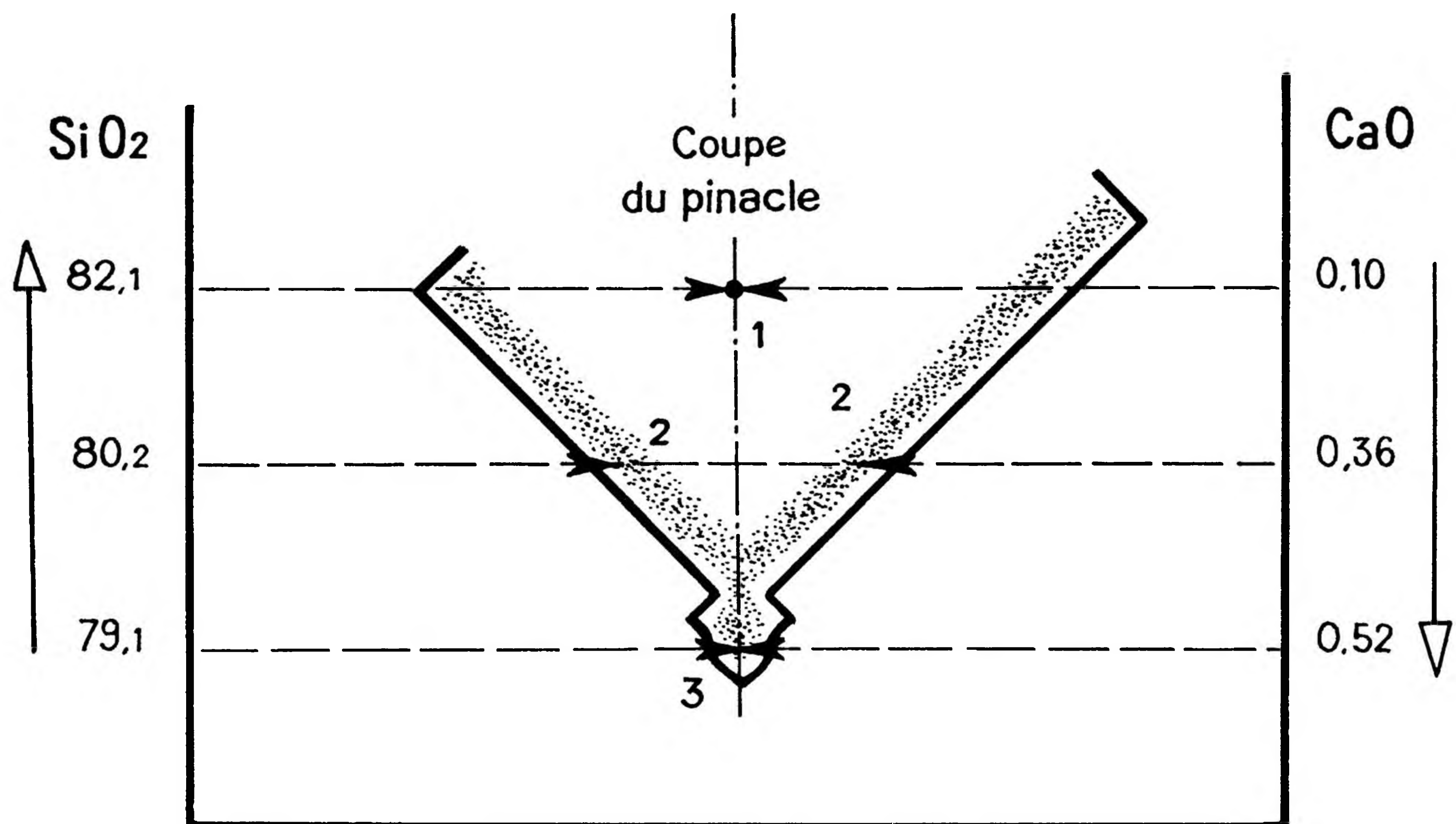


FIG. 4 - Coupe schématique d'un pinacle de la cathédrale de Strasbourg. Variations, en sens inverse, de SiO_2 et de CaO

- 1 - au cœur de la pierre,
- 2 - dans l'auréole de surface,
- 3 - dans l'arête ouvragée.

et la partie extérieure de la pierre. Chaque angle de la pierre comporte une « baguette », sculptée en relief. Appelons 1 le cœur de la pierre, 2 la partie extérieure qui forme une auréole blanche de 0,5 à 1 cm d'épaisseur et 3 l'arête ornementale (baguette verticale) (fig. 4). Les valeurs sont :

	SiO ₂	CaO
1	82,1	0,1
2	80,2	0,34
3	79,1	0,52

On voit que le cœur, non altéré, contient peu de CaO ; il n'y a guère qu'une trace de calcite, à la limite inférieure du dosage, la sensibilité de telles analyses ne pouvant descendre au-dessous de 1/1 000 ; on est donc ici à ce seuil minimal. La pellicule 2 contient 3,4 fois plus de CaO et l'arête décorative 5,2 fois plus ; c'est la coupe qui est à peu près au premier tiers inférieur de ce monolithe. Ici les analyses ont porté sur de nombreux éléments. Il n'y a pas de variation significative de Al₂O₃, ni de MgO, de K₂O.

Il n'est pas inutile de s'arrêter un peu aux ions carbonate et sulfate. Au cœur de la pierre il y a 0,49 % de CO₃⁻ et 0,18 % de SO₄⁻. En (3) il y a respectivement 0,36 et 0,86 %. Donc le carbonate a diminué de 26 %, mais le sulfate a augmenté de 377 % (4,77 fois plus). Pour moi, je ne puis qu'en conclure que le carbonate, n'ayant pas beaucoup varié, l'abondance du sulfate ne peut pas venir du carbonate. Dans l'autre coupe, faite plus haut dans le fût rectangulaire de ce pinacle, on observe la même chose : il y a environ baisse de moitié du carbonate tandis que le sulfate est multiplié par 13. Ainsi le calcium lié au carbonate reste sans grand changement et la forte augmentation du sulfate indique une autre origine de Ca que celui qui était sous forme de calcite. Il y a là une convergence de plus pour montrer qu'il s'est produit une formation endogène de Ca. Mais à aucun moment le rapport, dans le texte, ne commente la baisse de la silice, pourtant très accusée. Elle est facile à mettre en relief, dans divers prélèvements effectués, en rapprochant les valeurs citées.

	SiO ₂	CaO	SiO ₂ /CaO	CaSO ₄
Echantillon 6P	45,3	16,6	2,7	38 % (efflorescence) (pellicule)
— 7P	82,5	0,25	330	

On voit l'écart considérable du rapport silice/chaux.

7P est un prélèvement de la partie superficielle d'une pierre de la tour, au niveau de la 2^e galerie ; elle est peu altérée. 6P qui contient près de 40 % de gypse est remarquable à un autre titre : cette pierre avait déjà

été remplacée en 1951 ; elle reçoit les éclaboussures d'une gargouille. Cette forte dégradation de la surface s'est donc faite en 16 ans. Nous pourrions citer une dizaine d'échantillons en les groupant comme ci-dessus. Ce sont tous des prélèvements de surface. Mais il est important de se pencher sur des pierres massives, coupées. Voici une pierre de balustrade ; elle supporte une main-courante et a été coupée en 5 tranches.

Près du scellement, elle est protégée des pluies par le corps de l'édifice.

	SiO ₂	CaO	SiO ₂ /CaO	CaSO ₄
Au sommet	77,8	0,57	136	< 2 %
Au milieu	81,1	0,19	420	> 1
A la base	82,5	< 0,1	1 000	0

A la base, protégée, non altérée, CaO est pratiquement indosable (il n'y a donc pas eu migration à partir du scellement ; il n'y a aucune trace d'auréole calcaire à la surface ; plus on monte, plus on quitte l'abri, plus la pierre s'altère, s'enrichit en CaO, s'appauvrit en SiO₂, le calcium se groupe d'ailleurs dans une « auréole » superficielle, seul endroit où il se forme, sous l'action microbiologique, et à l'état de sulfate.

Il serait fastidieux de multiplier les exemples, tous convergents, et il m'a paru préférable de faire ressortir à l'évidence cette baisse de la silice quand la chaux augmente (le calcium est dosé sous forme de CaO, par convention, par les chimistes, bien qu'ici il soit sous forme de sulfate exprimé, souvent, en SO₄, au lieu de SO₃). Le diagramme ci-contre a été limité à 12 prélèvements pour ne pas trop surcharger le dessin (fig. 5).

Commentaire

Très souvent l'intérieur des pierres montre une teneur en CaO très faible. Les trois premières tranches de la pierre de la balustrade mentionnée précédemment en partant du bas, protégé, n'ont pas 0,1 % de CaO ; c'est donc une estimation, au-dessous de la limite de sensibilité des analyses. Evidemment de ce fait, dans ces trois tranches l'ion CO₃⁻ est indosable et le tableau indique 0 ; il en est de même pour les ions SO₄⁻, tout comme pour SO₃ ; partout zéro. C'est là une indication de plus, si besoin en était, pour montrer qu'il ne peut y avoir modification biochimique à l'intérieur des pierres, que les micro-organismes n'y pénètrent pas. Nous sommes donc bien devant un phénomène de surface, ne touchant en profondeur que un ou deux centimètres, le plus souvent, rarement un peu plus : cela peut dépendre de la stratification de la pierre, de sa pose en

délit (sur chant). Mais c'est en tout cas un phénomène de transmutation par voie biochimique. Rien ne se passe au cœur des pierres.

Je suis sensible au fait que M. Monnet m'ait donné accès aux résultats des études faites à Strasbourg, ainsi que M. Jeannette, du C.N.R.S. chargé de certaines recherches. Ces premiers résultats ont été surtout une prise de conscience et M. B. Monnet est conscient qu'il y a autre chose que ce qui a été vu. Il a obtenu d'ailleurs des crédits pour continuer cette étude. Souhaitons qu'elle permette en tout cas d'arrêter l'altération déjà si importante. L'agent actif étant microbien, il faut tout d'abord arrêter cette « épidémie » en détruisant les micro-organismes par un produit mouillant, pénétrant bien la partie poreuse superficielle de la pierre (j'ai rappelé que

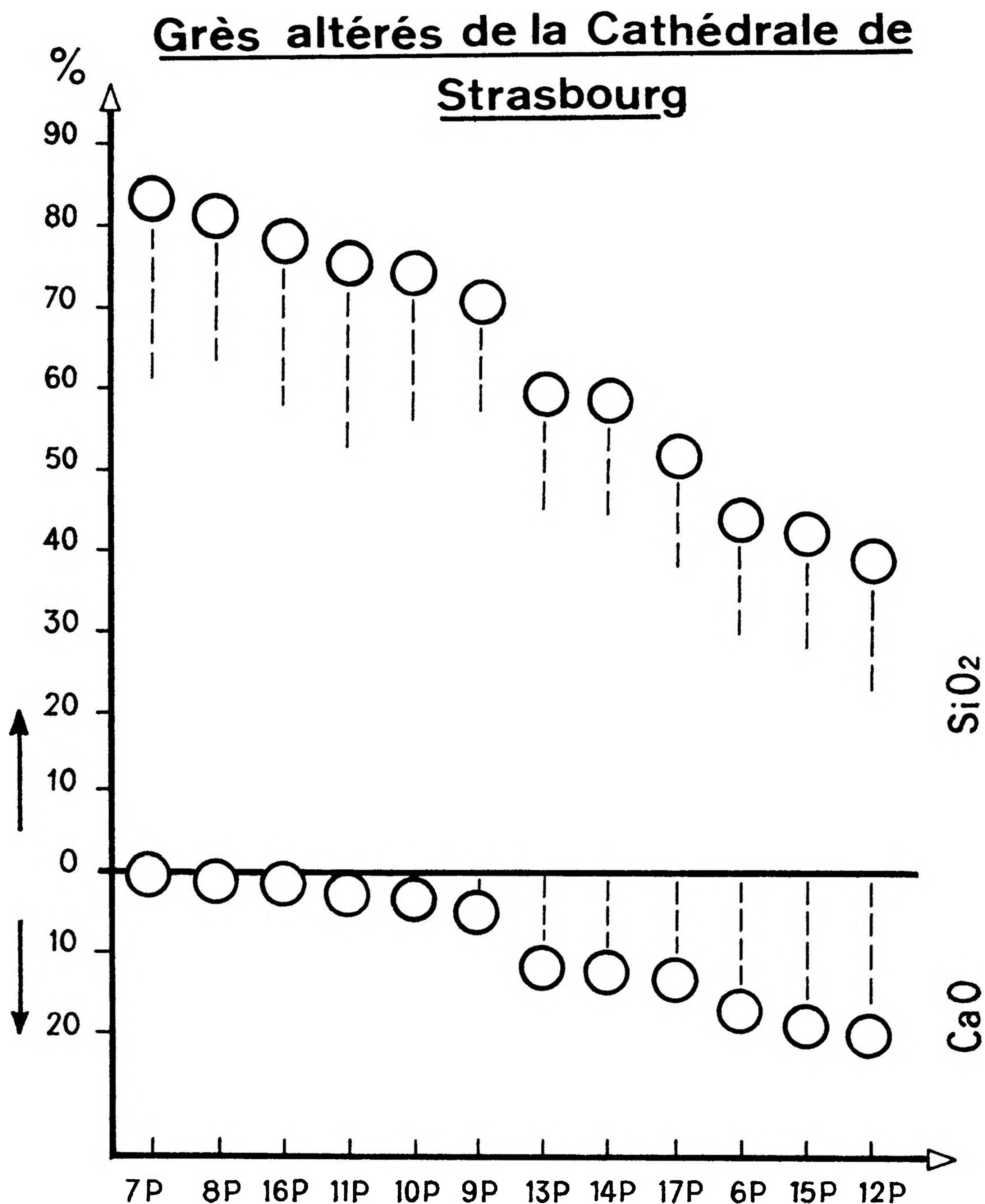


FIG. 5 - 12 prélèvements classés dans l'ordre décroissant de SiO₂; quand SiO₂ diminue, CaO augmente.

j'ai stoppé une telle « maladie » de la pierre, en la tamponnant abondamment avec un antiseptique simple comme l'eau de Javel concentrée, mais il y a lieu de choisir l'antiseptique en fonction de la flore microbienne responsable). C'est un problème qui préoccupe de nombreux pays et en avril 1973 j'ai présenté une étude sur ce sujet à Rome, à un congrès international, dont l'organisateur est le prof. A. Paleni (les comptes rendus seront publiés). Il est mis dans le commerce aussi des enduits transparents qui protègent les pierres, produits qui n'ont pas encore tous fait leurs preuves. La restauration des monuments doit en tenir compte, et pour les pierres à remplacer, on évite les grès hétérogènes qui ont des lits phylliteux, argilo-micacés, ferrugineux qui alternent avec les quartz et les feldspaths, permettant parfois de profondes infiltrations d'eau, accompagnées des micro-organismes dévastateurs. Ce problème intéresse le monde entier, mais il retient aussi l'attention des géologues qui voient là un cas de plus de changements métamorphiques s'expliquant par « l'effet Kervran ».

3) **Géotechnique - Géologie du Génie Civil et des grandes infrastructures**

Ce qui précède trouve une application en géotechnique, en géologie du génie civil aussi bien urbain que rural. Il intéresse l'ingénieur qui étudie la géologie des sols, l'architecte des grands ensembles ou des villes nouvelles, des quartiers rénovés, l'ingénieur des études d'infrastructure des autoroutes, des places publiques, des parkings, des aérodromes etc. Partout où l'on modifie la structure superficielle du sol il faut avoir présent à l'esprit le phénomène exposé dans ce chapitre.

En effet, sous une grande surface de bitume, de béton, se modifient certains paramètres naturels du sol. On le recouvre d'une large chape imperméable (par les immeubles, les voies d'accès, de dégagement, de stationnement etc). De ce fait les conditions thermiques et hygrométriques du sol sont modifiées sur une profondeur parfois importante.

Assez souvent, l'humidité se trouve augmentée car les remontées d'eau ne peuvent plus s'évaporer à la surface du sol. En outre, pour des raisons diverses (présence d'immeubles, chape de bitume absorbant la chaleur solaire...) la température sous-jacente augmente sensiblement et reste presque constante ; on a noté des sols où elle avoisinait 25 à 30° toute l'année, plus parfois. En somme toutes les conditions sont réunies pour favoriser la prolifération microbienne, en général anaérobie.

Dès lors il faut connaître la composition de l'immédiat sous-sol et voir si une prolifération microbienne est de nature à modifier profondément la nature de l'arène sous-jacente. Il y a là un aspect qui a été très peu étudié. Je ne puis donner ici un large éventail des possibilités, mais deux exemples vont en montrer l'importance.

Le propriétaire d'une grande ferme, dotée de nombreux engins

modernes, voulait éviter que l'hiver sa cour soit une aire défoncée par ces engins, qu'on puisse y circuler sans s'enfoncer dans la boue ; il fallait éviter qu'elle devienne un borbier. Il se décida à la recouvrir de sable surmonté d'une chape goudronnée. Au bout de quelques années il constata que sa cour devenait impraticable du fait de creux et de bosses très accentués. Il fit crever la couche goudronnée pour constater avec surprise qu'il se trouvait sous cette chape de la roche schisteuse pourrie, à fleur de sol. Lorsqu'il m'en fit part, je lui expliquais ce qui s'était passé.

Le remède pourrait consister en la dissémination de petits carrés non recouverts de goudron, pour que la terre respire, qu'elle s'assèche, se refroidisse (quelques arbres, des massifs floraux etc.). Ou alors se contenter de quelques trous par lesquels on pourra déverser de temps en temps une solution bactéricide, ou simplement basique afin d'augmenter le pH du sol car le plus souvent les bactéries responsables ne prolifèrent qu'en milieu acide.

Le risque d'une telle action est plus grave dans un quartier habité car il peut aller jusqu'au soulèvement d'immeubles, de façon irrégulière, avec tous les risques qui s'ensuivent. C'est ce qui est arrivé dans un quartier nouveau d'Ottawa.

Le sous-sol y est formé surtout de schistes un peu pyriteux. Or du fait de l'altération apportée par la couverture du sol, par les rues et les immeubles, la prolifération bactérienne s'y est développée au point que le schiste a été transformé en gypse. Le gypse qui cristallise avec deux molécules d'eau a un volume plus grand que ses composants. Dès lors la roche foisonne et la lentille de schiste s'est gonflée au point de soulever un grand immeuble, irrégulièrement, car la roche n'est pas homogène. Certaines parties se sont soulevées plus que d'autres, des cloisons ont remonté, risquant de traverser les plafonds, des fissures sont apparues. Le soulèvement de la dalle du sous-sol d'une aile ajoutée à un bâtiment a atteint 10 cm en quelques années ; là le soulèvement a été en moyenne de 0,18 cm/mois, ailleurs 0,1 cm/mois.

Le remède a consisté à abaisser le plan d'eau sous l'immeuble, par un drainage afin d'aérer le sous-sol, d'empêcher la prolifération des bactéries anaérobies ; de plus comme il s'agissait de bactéries acido-résistantes, des thiobactéries par exemple, qui peuvent produire de l'acide sulfurique, il fallait alcaliniser le sous-sol par une solution sodique (leur pH optimal de prolifération est voisin de 2, mais elles prolifèrent encore à $\text{pH} = 1$; par contre, au-delà de $\text{pH} = 4$ à 4,5 elles sont en sommeil). Le drainage avait abaissé le niveau de l'eau d'environ 4 m (étude de Penner, v. bibliogr.).

Dans certains cas il ne s'agit pas d'une transmutation par les micro-organismes. Il ne s'y produit que des réactions classiques de solubilisation par des micro-organismes. La question a été étudiée par exemple par

J. Berthelin, du Centre de Pédologie du C.N.R.S. de Nancy pour une arène granitique. A Ottawa il semble qu'il y avait dans le schiste assez de soufre et de calcium pour expliquer la formation de gypse ? Toutefois il ne s'agit que d'une déduction de la part des chercheurs car il n'était pas possible de faire un bilan précis sur la masse de schiste du sous-sol. On n'a pu étudier que quelques échantillons en partant du concept classique de l'invariance de la matière. Or un bilan précis, comme nous l'avons montré pour les grès siliceux de la cathédrale de Strasbourg, a établi qu'ici le calcium était en quantité trop faible pour justifier la teneur finale en gypse et c'est pourquoi, pour Ottawa, un doute sur le mécanisme réel peut subsister. Peu importe, sur le plan pratique et quoi qu'il en soit il y a là un phénomène à ne pas oublier.

4) Des points d'interrogation en Géologie

La Géologie est une science difficile qui ne peut s'étudier complètement en laboratoire. Elle s'est constituée, au sens propre du terme, à partir d'observations superficielles qu'elle a tenté d'expliquer à partir de quelques notions de physique et de chimie du siècle dernier. Puis elle a extrapolé ses vues « de surface », telles qu'elle se les expliquait, aux « couches » du sol plus profondes, à partir d'un nombre de postulats non négligeables. Cela l'a vite conduit à des impasses. C'est seulement depuis quelques dizaines d'années qu'on dispose de moyens de forages profonds, de sismique réflexion etc. qui ont conduit les géologues professionnels à remettre en cause certaines images nées de déductions faites il y a plus d'un siècle, par nos ancêtres, en fonction de la science d'alors. Pour les spécialistes de la géologie, leur métier, leur occupation de tous les jours, toute leur vie, le contact avec la réalité les conduit à nuancer l'enseignement qu'ils ont reçu dans leur jeunesse, à rejeter même totalement certaines vues qui se sont révélées fausses. Par contre, chez les enseignants le virage est plus long à prendre, et n'est pas à portée de tous : ceux qui consentent à réviser leur enseignement, à dire à leurs élèves, à l'âge de soixante ans, l'inverse de ce qu'ils ont enseigné pendant trente ans à d'autres générations d'étudiants, sont des hommes exceptionnels, courageux, d'une grande honnêteté scientifique. Ils ne sont pas légion et c'est pourquoi l'évolution de l'enseignement, de la matière enseignée, est si lent, tendance renforcée encore par la tradition administrative.

Il n'est nullement dans mon intention de faire ici un large tour d'horizon de toutes les affirmations gratuites que l'on trouve encore dans la plupart des traités de géologie, et depuis longtemps dépassées. Incidemment, j'en ai signalé quelques-unes, en passant, dans mes diverses publications depuis 1960. Voici quelques échantillons, en bref.

Houille

La cosmogénèse est à revoir en fonction des possibilités de passer au Silicium, en partant d'Azote. Ce serait la réaction $2.7\text{N} \rightarrow {}_{14}\text{Si}$, valable pour tous les isotopes stables de ces deux éléments. Le Silicium peut se transformer de plusieurs façons et je l'ai montré dans d'autres ouvrages, avec des schémas explicatifs. L'une de ces réactions que j'ai détaillées est celle qui peut s'écrire ${}_{14}\text{Si} \rightarrow {}_6\text{C} + {}_8\text{O}$. Elle a pu se produire sous l'effet de fortes pressions élevant la température, lors d'une orogénèse par exemple, comme l'Hercynien etc.

Cela expliquerait la formation de bancs de houille ; non pas de la façon imaginée et irréfléchie présentée dans les manuels scolaires. Ce n'est pas parce qu'on trouve des empreintes de fougères etc. dans de la houille que celle-ci provient du carbone des plantes. Que n'a-t-on imaginé pour « appuyer » cette hypothèse, accumulant les invraisemblances. Je ne les discuterai pas ici. Si une feuille laisse son empreinte, c'est qu'elle a été enrobée par la matière qui est devenue le charbon « de terre », mais elle n'a pas donner cette matière d'enrobage. L'analyse chimique révèle aussi qu'il est totalement impossible que les composés hydrocarbonés tirés de la houille puissent venir du bois ; les études sont nombreuses et irrécusables (on sait aussi qu'il y a des pétroles d'origine abiotique, v. p. 73, 1^{re} édit. de « Preuves »).

Il ne saurait être question de nier la présence de végétaux profondément transformés dans la houille, mais elle ne représente qu'un très faible volume. Des professeurs de géologie commencent à reconnaître que l'origine végétale de la houille est inexacte. Dans la 6^e édit. de son livre « Les Roches » (PUF, Paris-1968). A. Cailleux note (p. 52) que les débris végétaux ne forment dans la houille que des lits très minces (de 1 à 5 mm) provenant de diverses parties de plantes variées, y compris du bois qui a été très aplati (pression tectonique de formation). Mais la partie la plus importante est le « durain » dur, mat, ne tachant pas les doigts (alors que le « charbon de bois » des végétaux transformés, le « fusain », très friable, noircit les doigts). Il « forme des lits souvent épais et très étendus. Il est fait de schiste et de minuscules spores ». Les charbons gras (ou flambants) sont riches en durain.

Passage de la dolomie au calcaire (et l'inverse)

Nous avons, dans des ouvrages précédents, signalé la formation de dolomie à partir du calcaire, de nos jours. A juste titre A. Cailleux (livre précité) signale deux époques, où le phénomène est de sens inverse, puisqu'il dit (pp. 63 et 64) que « le pourcentage des calcaires augmente et celui des dolomies diminue du Cambrien au Crétacé ». Au Précambrien il n'a pas été trouvé de trace sensible de calcaire, dans l'Archéen ; plus tard,

à l'Algonquien il y en a un peu mais les dolomies sont « moins rares que les calcaires ».

Le calcaire apparaît de façon sensible au Primaire, lié à la silice surtout (feldspaths alcalins etc). Dès le Cambrien il augmente de façon constante jusqu'au Crétacé. C'est ce que j'ai appelé le passage de l'ère de la silice à l'ère du calcaire par la réaction $_{14}\text{Si} + _6\text{C} \rightarrow _{20}\text{Ca}$. Mais l'on observe aussi un autre phénomène semblant montrer qu'une partie de ce calcaire est très vraisemblablement venue du magnésium ; c'est la réaction $_{12}\text{Mg} + _8\text{O} \rightarrow _{20}\text{Ca}$. Et dans un autre ouvrage A. Cailleux déclare que depuis le Précambrien jusqu'à nos jours il semble que le magnésium est devenu 12 fois moins abondant. Dans son livre « Les Roches », il écrit : « Le pourcentage des calcaires par rapport à Calcaire + Dolomie varie parallèlement : 35 jusqu'au Silurien, 76 au Carbonifère, 94 à 95 du Crétacé au Tertiaire, 91 à 92 depuis ». Autrement dit, en simplifiant la

Ca

formule, $\frac{\text{Ca}}{\text{Ca} + \text{Mg}}$ augmenterait jusqu'au Crétacé, pour rester sensi-

blement constante tout le long du Tertiaire et diminuerait depuis. On peut alors se demander si la variation signalée en diminution pour Mg ne vient pas recouper toutes les indications que nous avons données dans nos précédents ouvrages, montrant une « métasomatose » des dolomies, qui augmentent, de nos jours, dans les calcaires, en général jusqu'à une profondeur relativement faible, montrant une intervention de micro-organismes ; (c'est aussi le cas des massifs coralliens, riches en calcaire en surface, et à partir de 200 m de profondeur la dolomie l'emporte).

Cette double interrelation entre Ca/Mg et Ca/Si est notée aussi par A. Cailleux sous une autre forme : « La silice s'est substituée au calcaire, ou inversement. La dolomie s'est substituée à la calcite et la limite entre calcaire pur et calcaire dolomitique, peut être suivie au millimètre près, recoupant les strates à l'emporte-pièce, dessinant des arabesques parfois visibles sur photo d'avion (environ de Colomb-Béchar) ».

**

Que de révisions en perspective dans divers chapitres de la géologie ! Mais notre but ici n'est pas de montrer de telles convergences afin de mettre en relief les invraisemblances de trop de chapitres de l'enseignement classique. Ce ne sont pas des citations que nous avons pour but de regrouper. Nous voulons essentiellement apporter des faits pour que le lecteur puisse lui-même se faire une idée nouvelle d'une géologie basée sur des expériences et non plus sur de seules déductions imaginées.

GRANITISATION

Le problème de la formation du granite est des plus importants en ce qui concerne le cheminement de la recherche sur le mécanisme de physique nucléaire qui permet de mieux comprendre comment des transmutations peuvent être produites par une action biologique.

Certes, dès ma première publication, transmise en 1959 à l'éditeur, et parue en juillet 1960, je montrais que les convergences étaient nombreuses pour dire que des transmutations du même type que celles observées en biologie existaient aussi en milieu abiotique. Notamment l'évolution de la nature de la croûte terrestre ne se comprenait pas sans faire intervenir des transmutations de nature tout à fait différente de celles de la physique classique. Cela impliquait une révision de la structure des noyaux des atomes, de certains atomes tout au moins. Je l'avais exposé près de différentes instances officielles et officieuses, à partir de 1959.

Cela attira l'attention du grand géologue Jean Lombard, membre du Conseil d'Administration du C.N.R.S., secrétaire général du Centre d'Etudes Géologiques et Minières (organisme antérieur au Bureau des Recherches Géologiques et Minières) vice-président de l'Union Internationale des sciences géologiques et chargé par l'UNESCO de dresser la carte géologique de l'Afrique. C'est dire son audience internationale. Il m'ouvrit en 1959 les colonnes de la « Revue Générale des Sciences » pour ma première publication et accorda en 1963 une préface à mon ouvrage « Transmutations Naturelles ». Jean Lombard voyait dans mes travaux une explication à un phénomène de métamorphisme qu'il avait observé sur des granites au Cameroun : du potassium venait... de nulle part, remplaçant du sodium n'allant... nulle part ; on ne le retrouvait pas, pas plus que les masses de potassium apparues n'avaient d'origine dans le voisinage ; la seule explication possible était donc que le potassium s'était formé sur place, aux dépens du sodium, qui avait disparu.

Il me faisait connaître un travail de 1952 de Georges Choubert, ingénieur géologue, docteur ès sciences, alors chef du service géologique du Maroc. Il devint ensuite chef du Bureau de Cartographie Géologique

Internationale. J'ai cité cette étude dès la première édition de « Transmutations Naturelles ». J'y fais allusion aussi dans la 2^e édition de « Transmutations à faible énergie ». Je ne reprendrai pas ici ces citations. Je voudrais seulement apporter quelques passages complémentaires pour montrer combien, dès 1952, Georges Choubert avait bien exprimé que toutes les théories en vigueur sur la formation des granites étaient pleines de contradictions qui ne disparaissent qu'à condition d'admettre des réactions nucléaires.

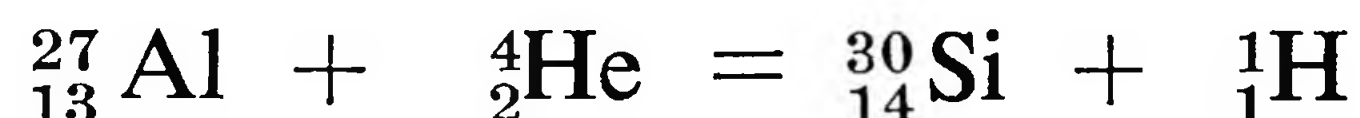
Dans son « Introduction » à une étude de plus de 40 pages - outre 4 pages de références - il écrit : « Dans une note succincte présentée à la Société Géologique de France en 1947, j'ai proposé l'application des connaissances actuelles en matière de physique nucléaire à certains phénomènes géologiques, notamment à l'origine des granites » (par ailleurs G. Choubert a indiqué que l'idée lui en est venue, en observant une formation granitique très caractéristique au Maroc ; rappelons que la première bombe atomique est de 1945 ; nos connaissances en physique nucléaire étaient encore « jeunes » et bien incomplètes). « L'hypothèse que j'ai émise et que j'ai appelée *hypothèse de palingénèse nucléaire* consistait à expliquer la naissance du magma granitique (ou de ce qui en tient lieu) au sein des chaînes plissées par le déclenchement soudain, au cours des paroxysmes tectoniques, de gigantesques réactions nucléaires en chaîne »... « Mais toutes les autres hypothèses concernant l'origine des granites ont-elles une base bien établie ? Peuvent-elles avancer des preuves indubitables ? Résistent-elles à des critiques ? Elles ont l'avantage évident d'exister et même de nous être enseignées : dès notre plus jeune âge nous « savons » que le magma granitique ou ce qui en tient lieu, vient de la profondeur. Cette notion est devenue quasiment un dogme... D'autre part, jusqu'à ces temps derniers le principe de l'immuabilité de la matière ne permettait pas de concevoir leur naissance sur place. Or ce principe qui est à la base des théories actuelles devient chancelant. Nous savons maintenant que l'atome n'est pas immuable, qu'on peut le dissocier, qu'on peut également fusionner deux atomes pour en obtenir un troisième. Puisqu'on arrive à provoquer ces transmutations au laboratoire, on peut admettre avec une quasi-certitude que la nature peut en produire aussi. De là à supposer que les granites naissent sur place, il n'y a qu'un pas... ».

Puis G. Choubert passe en revue les « contradictions entre les principes de granitisation et les théories actuelles sur l'origine des granites », pour finalement conclure « que de quelque côté qu'on aborde l'étude critique des théories actuelles de granitisation, on aboutit à des impasses ».

Il cite une étude intéressante de P. Lapadu-Hargues qui, en 1949, établissait, par une méthode statistique, que l'on aboutissait à un stock constant d'atomes en admettant que des schistes argileux aboutiraient aux granites et aux granulites. En remplaçant les atomes Al (qui disparaissent)

par les atomes Si (qui apparaissent) il écrit « cela pourrait indiquer que la compensation Si-Al se fait d'une façon à peu près complète ».

Or G. Choubert fait remarquer que l'on connaît depuis longtemps la réaction qui avec un noyau alpha donne du silicium stable, avec expulsion d'un proton. C'est le type de réaction connu depuis Rutherford en 1919 et qui s'écrivait alors :



Mais dans d'autres conditions opératoires Irène et Frédéric Joliot-Curie montraient en 1934 la première réaction de radioactivité artificielle, Al, avec un α , donnant ${}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$, et ce phosphore radioactif se désintègre avec projection d'un électron positif β^+ pour laisser ${}_{14}^{30}\text{Si}$, stable. Le passage possible, puisque réalisé en laboratoire, de Al à Si confirmait une observation faite en granitisation : Al figure dans les « départs », Si dans les « apports ». Après avoir cité Lapadu-Hargues, G. Choubert écrit : « Devant de si troublantes constatations, il est difficile de se défendre de la seule conclusion qui s'impose, la seule qui soit logique à mon sens : les « apports » ne sont autres que les produits de transmutation nucléaire sur place des « départs ».

Cependant quand il passe à la tentative d'expliquer par les connaissances classiques de physique nucléaire il est bien obligé de constater qu'il y a autre chose. Certaines formations ne s'observent que là « où la transformation de la matière se ferait lentement... on doit envisager toute une gamme de processus nucléaires ne se distinguant que par la vitesse de réaction... Il est évident que cette évolution lente de la matière se fait en milieu solide, sans passer par la phase magmatique ».

Ainsi il ne peut accepter d'expliquer toutes les observations par des explosions nucléaires, des réactions en chaîne brutales. Les conditions de réaction en chaîne sont délicates à obtenir, sur des volumes comme ceux des massifs granitiques. Aussi, pendant quelques années le problème ainsi posé en 1952, et bien posé, par G. Choubert reste en l'état, jusqu'à ce qu'il eut connaissance de mes travaux par Jean Lombard, ce qui lui a alors permis de reprendre ses études sur la formation des granites et de toutes les roches dites « éruptives », laves etc, sur des bases nouvelles. Désigné en 1965 comme membre d'une mission chargée de l'étude des granites de l'Ouest Afrique, par l'UNESCO, les travaux furent publiés par cet organisme international en 1968. J'ai donné plusieurs pages d'extraits, de citations, dans la 2^e édition (1972) de « Transmutations à faible énergie », auxquelles je renvoie le lecteur, pour ne pas me répéter ici. On verra toute l'application qu'il a faite de mes travaux pour expliquer les observations relatives à ce granite. Ce massif de l'Ouest Afrique a été coupé en deux par la dérive des continents. La partie occidentale est maintenant au

Nord-Est du Brésil et la même commission a été envoyée au Brésil pour continuer l'étude commencée en Afrique de l'Ouest. Le rapport de G. Choubert a été publié dans les numéros de novembre et de décembre 1970 de la « Chronique des Mines et de la Recherche Minière » (absorbée par le BRGM). Là aussi j'ai cité des passages montrant l'utilisation de mes travaux pour justifier les explications sur la genèse du granite.

Cela montre l'impact de mes recherches en géologie, leur diffusion mondiale par des organismes internationaux. Si bien qu'un scientifique, au courant de mes travaux en parlant un jour à un géologue s'entendit dire (me rapporta-t-il) : « Mais enfin, je ne comprends pas votre insistance à m'exposer les travaux de M. Kervran comme si vous vouliez me convaincre : voilà plusieurs années que nous n'avons pas, en géologie, le moindre doute sur leur valeur ; c'est pour nous la seule explication qui a mis fin à nos contradictions et elle s'impose à tous » (et le professeur de géologie bien connu de la faculté des sc. de Paris, R. Furon, écrivait, en 1968, dans la Rev. Génér. des Sc. « Si nous ne pouvons pas encore expliquer les aspects théoriques des transmutations d'éléments par voie biologique, le fait capital est qu'elles existent, et personne ne le nie plus ». On ne pourrait citer tous les témoignages d'approbation des milieux géologiques et il m'était signalé de Suisse, en 1972 un ouvrage de géologie pratique publié en France en 1971, à l'usage des ingénieurs des entreprises de travaux publics, d'études des sols et fondations, consacrant plusieurs pages pour condenser l'essentiel de « l'effet Kervran » ; cela chez un grand éditeur scientifique.

Je ne développerai pas plus avant ce chapitre sur la granitisation, malgré son importance car 20 pages lui ont été consacrées dans « Transmutations à faible énergie », édition de 1972. C'est sur de nouveaux aspects que porteront les chapitres suivants, la granitisation n'étant qu'un cas particulier. Elle comporte des phénomènes de métamorphisme qui sont voisins de certains autres métamorphismes, constatés dans des roches variées. L'étude de quelques-uns de ces métamorphismes permettra de descendre d'un degré dans l'analyse du phénomène constaté globalement dans le granite. Nous en verrons divers aspects.

J'insisterai surtout, dans ce qui suit, sur des réactions qui conduisent

+H⁺

à Al \rightleftharpoons Si, afin de ne pas faire un ouvrage trop volumineux et m'en

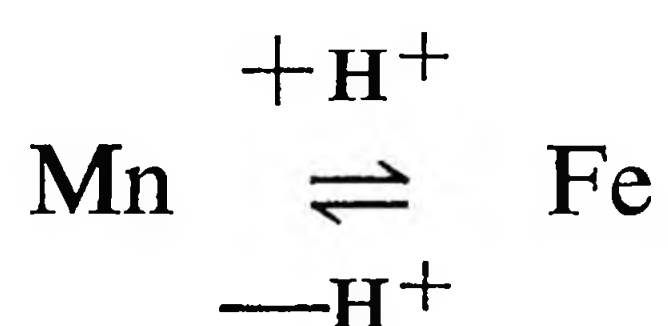
-H⁺

tenir surtout à une convergence de constatations montrant que cette transmutation est observée et notée de tous côtés, depuis longtemps (on verra entre autres une étude de 1908 de L. Duparc). Mais en granitisation comme dans d'autres métamorphismes, il y a aussi des variations de Fe, de Mn, de Mg, de Ca, de Na, de K.

Comme nous l'avons vu dans les altérations des pierres des monuments, je ne puis sans donner trop de volume à ce livre, citer beaucoup de recoupements pour d'autres réactions, aussi bien établies cependant.

J'ai noté, pp. 70-71 de la première édition (1968) de l'ouvrage « Preuves », des constatations faites en pédologie : Demolon et Batisse mirent dans une case lysimétrique 800 kg de granite broyé, laissé 15 ans à l'air libre, donc en milieu non aseptisé, soumis à l'action des bactéries. Le contrôle de l'entraînement par l'eau de pluie était fait. Ils constatèrent une baisse sensible de Si, une augmentation moyenne de Al, Mg et Fe, une faible augmentation de K et de Ca.

Cette augmentation de Al avec baisse de Si est notée aussi par Winkler et je le rappelle pages 72 à 74 de l'édition précitée. A la page 113 de l'édition française de Winkler, lors de la synthèse du granite, il note en outre une baisse de K avec une augmentation de Na. Page 114 il précise que dans le métamorphisme des grenats pauvres en Ca, riches en Mn, il y a diminution de Mn et augmentation de Fe (cela a été constaté au Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache dans l'analyse par activation neutronique sur des graines en germination). L'inverse a été relevé sur les monuments de Banteay Srei au Cambodge et l'on peut écrire :



Mais malgré le grand intérêt économique que présente le fer, je ne puis, dans cet ouvrage, reproduire la totalité des observations faites et publiées, montrant que cet élément varie toujours dans les métamorphismes des minéraux où il est présent alors que la physique classique le met dans les éléments les plus stables, au bas de la courbe qui sépare les dégagements d'énergie par fusion ou par fission, courbe de l'énergie moyenne par nucléon, notion fondamentalement fautive. Dans les altérations des grès siliceux des monuments du Cambodge il est noté une diminution des oxydes de fer de 55 %. A la cathédrale de Strasbourg il y a aussi des diminutions de Fe de 50 %. On retrouve de fortes variations de Fe dans la formation d'impactites. Nous verrons plus loin une expérience que nous avons fait réaliser par des organismes officiels et montrant un autre aspect de la variation du fer : dans certaines conditions, par des moyens physiques, il peut diminuer pour donner du chrome.

Nous comprendrons mieux, après lecture des chapitres suivants, que maintenant surgissent de tous côtés des faisceaux de recoupements convergents montrant diverses modifications de nombreux éléments lors du métamorphisme des minéraux. Il suffit de mettre un fait en évidence pour que l'attention se porte sur lui, alors qu'auparavant on lisait cela de façon distraite, l'œil glissait sans s'y arrêter. Cela ne donne que plus de mérite à

G. Choubert et il y a lieu de le complimenter pour la perspicacité de son étude de 1952.

Ces travaux de G. Choubert ont porté leur fruit. Même les enseignants, que l'on dit en général en retard au moins d'une génération, se sont rangés à son avis irréfutable (sans le citer, ce qui est... « normal » bien sûr). On trouve par exemple dans un ouvrage « *Elément de Géologie* » - 3^e édit. 1971 de P. Bellair et Ch. Pomerol, au chapitre sur l'origine du granite (p. 181) la phrase : « Le granite apparaît donc comme une formation essentiellement continentale. Sa mise en place sans déranger les terrains préexistants milite en faveur d'une genèse locale, à partir du matériel sédimentaire métamorphique ». P. 87 ils écrivent : « Les granites, termes ultimes du métamorphisme... ne doivent rien au magma et ne sont pas passés par l'état liquide : ils ne sont donc ni magmatiques, ni ignés ». Nous connaissons l'esprit ouvert de Bellair et félicitons-le d'être en avance, avec Pomerol, d'une génération sur leurs collègues (sur beaucoup du moins, car je n'ai garde d'oublier les autres enseignants R. Furon, A. Cailleux etc qui, eux aussi, ont montré que les faits s'opposaient aux enseignements classiques). Bellair et Pomerol montrent pourquoi le granite est une formation due à l'orogénèse, à des pressions et élévations de températures car on ne trouve pas de granite sur le fond des océans. Ch. Pomerol et R. Fouet (v. bibliog.) reprennent ces arguments (p. 104). Ils donnent aussi quelques indications sur les récents travaux de synthèse du granite. Mais trop de professeurs de géologie restent encore au concept d'une sorte de « convection » des roches, où des roches sédimentaires, par « enfoncement synclinal » gagneraient les profondeurs où se trouvent réunies les conditions de température et de pression pour être transformées en un granite fluide qui remonterait à la place de ces roches qui descendent. Curieuse vue des esprits qui imaginent et sont satisfaits de leur imagination, car cela est contraire à l'observation. Si c'était là le mécanisme nous assisterions en permanence à des remontées de granite ; or seules les orogénèses sont à l'origine des massifs de granite ; cette rotation de roches solides est impossible car si les partisans de ce circuit déclament que le granite remonte liquide, ils ne disent pas comment les roches solides descendent...

Il ne saurait être question de citer ici des écrits de professeurs de géologie qui, de plus en plus, admettent et enseignent que la formation du granite est bien celle dont des géologues professionnels comme G. Choubert, Jean Lombard, etc. se sont faits les défenseurs. Reproduisons seulement, pour terminer, quelques lignes du professeur A. Cailleux, dans son livre précité « *Les Roches* » édit. de 1968, p. 35 : « L'absence de retroussement des roches encaissantes au contact des intrusions granitiques, leur prolongement fréquent dans le granite sous forme d'enclaves, indiquent que le granite résulte (...) d'une sorte de métamorphisme. Et de

ce fait, des séries aujourd'hui ramenées au jour en de nombreux points du globe montrent, sur 10 à 20 km de coupe, le passage graduel des schistes sédimentaires aux roches métamorphiques (micaschistes et gneiss) puis au granite. Au cours de cette transformation, qui part d'une roche solide et aboutit à une roche solide, le granite (...) reste-t-il toujours solide dans sa masse, comme le suggère la comparaison des données métallurgiques ? » Les faits que nous rapportons dans les chapitres suivants permettent de répondre à la question posée par A. Cailleux.

Dans le présent chapitre, comme dans le chapitre sur la géologie de mon ouvrage « Transmut. à faible énergie », j'ai cru bon de citer longuement G. Choubert qui est à l'origine de ces observations. Chacun sera frappé par la pertinence des explications qu'il a réunies. Par cela j'ai voulu attirer l'attention du lecteur sur l'importance de sa contribution dans la connaissance de la granitogenèse et rendre à César... car on oublie par trop de le citer. Certes il est difficile de dire qui, le premier, a pensé à une transmutation dans les métamorphismes : d'après Bellair et Pomerol (ouvr. cité), dès la première moitié du XIX^e siècle, Scheerer, Boué, Deville et Virlet d'Aoust admettent « la transmutation des roches sédimentaires en granite » Mais à cette époque ce mot avait un sens bien vague et il semble bien que c'est G. Choubert qui, le premier, depuis que nous savons exactement ce qu'est une transmutation (notion du début du XX^e siècle), en a fait l'application à la granitisation.

METAMORPHISME DE CERTAINS MINERAUX

1) Bref historique

Des observations pertinentes sur le métamorphisme des roches ont été faites depuis longtemps. Même depuis bientôt 200 ans on a tenté de les reproduire par la fusion des composants de quelques minéraux.

En 1883, Léon Bourgeois, préparateur au Collège de France, ancien élève de l'École Polytechnique de Paris, présente une thèse de doctorat ès sciences intitulée « Reproduction, par voie ignée, d'un certain nombre d'espèces minérales appartenant aux familles des silicates, des titanates et des carbonates ».

Il indique, dans son Introduction, qu'il a surtout eu pour but de compléter la série des silicates anhydres reproduits par F. Fouqué et A. Michel-Lévy, en appliquant la méthode de fusion ignée sans intervention d'aucun fondant. Il ne s'agit donc pas d'une méthode nouvelle. Déjà, avant lui, de telles recherches avaient eu lieu. Son but est essentiellement de montrer que des silicates métamorphiques de composition connue, mais non encore reproduits par synthèse, peuvent être obtenus en fondant leurs composants.

Les détails opératoires restent imprécis. Jamais la température n'a été mesurée (on n'en avait pas les moyens) et l'auteur se contente d'une estimation à vue, avec des expressions comme : température du « rouge sombre », du « rouge vif », du « rouge blanc » etc. De sorte qu'il n'y a rien de précis à tirer de cette thèse, citée seulement à titre historique, car elle reporte à des travaux antérieurs. L'identification des roches et la comparaison entre roches naturelles et de synthèse était faite par des moyens physiques : densité, angle des axes optiques des cristaux, étude en lumière convergente ou polarisée ainsi que par des analyses chimiques. La recherche se faisait empiriquement, par tâtonnements et approches successives en variant les proportions moléculaires jusqu'à ce qu'on retrouve sensiblement, sur le minéral de synthèse, les mêmes propriétés optiques que sur le cristal naturel.

Il est à remarquer que ces études ont été suggérées par le fait que dans les scories des hauts-fourneaux on trouve des cristaux d'alumino-silicates divers, analogues à des minéraux naturels connus. Mais ces

observé que le grès « se transforme graduellement en quartzite grisâtre... et qu'il passe aux variétés grenatifères et amphiboliques ». « La présence de restes organiques... vient à son tour montrer avec la dernière évidence l'influence métamorphique à laquelle le terrain fut soumis. Il n'est pas permis d'admettre que ces masses fossilifères aient possédé à l'origine les concentrations minéralogiques que nous leur voyons aujourd'hui. Quel partisan de la *crystallisation directe*, ou de la *diagenèse* oserait soutenir que ces organismes vivaient dans un océan dont les sédiments se transformaient en partie en grenat et en amphibole !... Ces fossiles nous indiquent en outre l'âge des couches qui les renferment... » (le dévonien inférieur).

A. Renard, après examen stratigraphique, macroscopique et microscopique de ces minéraux dit : « On retrouve en effet, dans les lames minces, une partie des éléments primitifs qui ont conservé une partie des traits qu'ils possédaient avant la transformation des sédiments... Aucune raison ne milite en faveur du ramollissement de ces roches par la chaleur ; au contraire on reconnaît même qu'elles n'ont jamais été à une température élevée... » et il énumère divers arguments : « la présence simultanée de graphite et des silicates à base de protoxyde de fer, comme le mica, l'anorthite etc. ne s'explique pas... si l'on admet l'intervention d'une haute température car il en serait résulté une production, au moins partielle, de fer à l'état métallique ». Pour A. Renard, c'est uniquement la pression orogénique qui a agi, avec une élévation modérée de la température, du fait de la pression.

Dans les terrains en formation horizontale on n'observe jamais de métamorphisme. On ne le voit que dans les plis dus à la pression qui a soulevé les couches. Du moins, dit-il « il est à penser que la quantité de travail n'a pas été uniquement employée à des effets mécaniques » du fait des transformations chimiques observées dans la composition des roches métamorphisées. « M.A. Geibie... m'a fait suivre pas à pas les transformations qui s'opèrent dans les couches à mesure qu'elles se redressent et se plient. On les voit d'abord dans une position se rapprochant de l'horizontale ; les roches ont alors les caractères d'un grès ; à mesure qu'elles se relèvent, les bancs... passent à des quartzophyllades ; bientôt les mêmes couches prennent une allure plus tourmentée, elles se transforment alors en micaschistes et se chargent en silicates, parmi lesquels le pyrope abonde. Nulle part on ne découvre de roche éruptive dont on pourrait évoquer l'action de contact... »

Et, pour conclure : « les modifications des roches que j'ai étudiées trouvent surtout leur explication dans la propriété que possèdent les solides de se souder, de réagir chimiquement et de prendre une texture cristalline sous l'influence de la pression, comme l'ont si bien mis en lumière les expériences de M. Spring » (Bull. de l'Acad. de Belgique, 1880, p. 323).

Nous ne devons pas être surpris de ce phénomène puisqu'à l'école on nous montre que deux blocs de glace soumis à une pression l'un contre l'autre se soudent sous l'effet d'une fusion à la surface de contact. Ainsi il y a 100 ans le principe de la transformation chimique de certaines roches sous l'effet d'une forte pression et d'une élévation de température modérée, n'allant pas jusqu'à la fusion, a été étudié et admis. Par contre, A. Renard le reconnaît, on n'avait aucune explication valable du mécanisme de changement chimique. Ce dont on était certain c'est qu'il se produisait, sur place, sans apport extérieur possible. Lorsqu'il écrivait, il est probable que l'on n'avait pas procédé à des analyses des roches encaissantes, car il n'en fait pas état. De sorte qu'on ne pouvait pas étudier un échange possible et préférentiel, des concentrations par diffusion, pour passer d'une roche à l'autre. Cela est d'ailleurs implicitement écarté en reconnaissant qu'il n'y avait pas fusion, donc pas de mise en commun de l'ensemble des constituants qui auraient ensuite cristallisé sélectivement, en fonction de divers paramètres, au refroidissement. A. Renard fait remarquer que les plans de clivage, les angles optiques ne varient pas ; il n'y a donc pas eu nouvelle cristallisation ; il donne de nombreux autres arguments que nous ne pouvons citer tous ici et c'est seulement ses conclusions que nous pouvons retenir.

2) Pyroxènes et amphiboles

Il semble que les études sur le pyroxène ont porté tout d'abord, et le plus souvent, sur des échantillons venant de l'Oural ; d'où le nom d'ouralite parfois donné, encore de nos jours, aux amphiboles provenant d'un métamorphisme (d'un changement de « forme ») du pyroxène, de sorte que pour bien des auteurs, le mot ouralite est synonyme d'amphibole ; l'ouralitisation est la transformation de pyroxène en amphibole.

Des recherches furent faites par Gustave Rose (Rais nach dem Ural, 1842, t. II, p. 371). Il étudia des cristaux d'augite inclus dans une porphyrite. Ces cristaux semblaient avoir été formés au sein de la porphyrite, donc au détriment de celle-ci, bien que la composition chimique fut différente. Simple remaniement chimique, une sélection entre constituants de la porphyrite, pensait-on. Peu à peu ce « raisonnement » prenait corps, était admis comme vérité et l'on expliquait ainsi toutes les observations faites sur les roches métamorphiques, notamment des alumino-silicates alcalins.

Cette « explication » de « sélection » chimique fut développée ensuite, surtout par Becke à la fin du XIX^e siècle (Einiges über die Beziehung von Pyroxen und Amphibole in Gesteine Tschermaks Petrog. Mittheil. Bd XVI, p. 324) ; puis par H.G. Washington (The magmatic alteration of hornblende and biotite - The Journal of Geology - April-May 1896).

Mais c'est surtout, et en premier lieu, semble-t-il au Suisse de Genève Louis Duparc que l'on doit l'étude profonde des comparaisons entre minéral d'origine et minéral terminal (le terminal est appelé « apport » parce que c'est celui que l'on trouve, et pour répondre au postulat admis depuis le milieu du siècle dernier, il a été « apporté » là où on le trouve - par quel moyen ? -, tandis que le « départ » est ce qui est supposé avoir occupé la place où l'on trouve « l'apport », et qui est parti, on ne sait où). C'est A. Renard qui semble avoir été le premier à mettre en doute ce chassé-croisé facile à imaginer, mais par trop simpliste, car il faudrait avoir une idée de l'origine localisée de l'apport, du point d'arrivée de ce qui est parti. Cela à travers des roches imperméables, sans mise en solution des minéraux d'ailleurs. L'hypothèse parut trop légère aussi à L. Duparc qui (sans citer A. Renard) est convaincu qu'il n'y a pas eu de départ ni d'arrivée, qu'il y a eu une transformation sur place, autrement dit que le métamorphisme est un phénomène endogène impossible à expliquer par de simples réactions chimiques. Il étudie ce phénomène dans une « Note sur les roches éruptives basiques de la chaîne de Belledune » (Alpes françaises, près de Grenoble) dans « Bull. des Serv. de la Carte géolog. de France », t. VIII, 1896. Il y écrit que « le pyroxène donne naissance à la hornblende » (une variété d'amphibole). Il alla aussi dans l'Oural et fit plusieurs publications au sujet de ces recherches, échelonnées de 1902 à 1907, entre le 59° et le 62° de latitude nord : L. Duparc et S. Jerchoff, Arch. de Genève, t. XXXIV-1902 ; aussi dans Bull. de la Soc. Min. de France, juin 1903, avec Pearce ; une autre étude, avec F. Pearce « Oural du Nord », Mém. de la Soc. de Phys. de Genève, t. V, 1905, p. 34. Enfin la synthèse de ses travaux parut dans le Bull. de la Soc. franç. de Minéral., en 1908, sous le titre « Sur la transformation du pyroxène en amphibole ». Nous allons, par quelques extraits de ces 30 pages, montrer qu'il avait bien vu le fond du sujet mais, à cette époque, aucune explication satisfaisante ne pouvait être apportée. Nous retiendrons surtout les variations de Al et de Si parce que nous disposons d'expériences très récentes recoupant bien ce passage de Al à Si (ou l'inverse, dans des minéraux de pH différents), expériences qui seront exposées plus loin.

L'amphibole provient du pyroxène

« Il n'est pas rare de voir un des clivages du pyroxène se continuer dans l'amphibole ». Il ne peut pas s'agir d'une « transposition moléculaire ». Cette hypothèse nécessiterait une composition chimique identique du pyroxène et de l'amphibole qui en résulte, ce qui n'est pas le cas. Voici un exemple d'analyses, d'une part d'un pyroxène, d'autre part d'une amphibole. La première série concerne une augite (variété de pyroxène riche en CaO : 24,44 %) ; l'autre pyroxène est un gabbro, moins calcique (5,19 %).

Dans ce qui suit, pour simplifier, nous ne tiendrons pas compte des variations des oxydes de fer, de calcium, de magnésium etc. Disons seulement qu'en général quand CaO augmente MgO diminue et les oxydes de fer augmentent. Cela pour les pyroxènes très basiques, comme l'augite. Par contre, c'est l'inverse pour les gabbros. Nous ne ferons état que des variations, en sens inverse, de la silice et de l'alumine.

Voici des valeurs, citées par L. Duparc, (d'après d'autres sources) :

	Pyroxène (augite)	Amphibole	Pyroxène (gabbro)	Amphibole
SiO ₂	50,87	52,82	53,53	52,73
Al ₂ O ₃	4,57	3,21	3,12	4,70
	55,44	56,03	56,65	57,43
FeO + Fe ₂ O ₃	2,93	4,78	18,63	15,47

Nous avons fait le total SiO₂ + Al₂O₃ pour montrer que la somme de ces deux minéraux reste sensiblement constante avant et après métamorphisme ; dans les deux analyses, à droite il y a un peu plus de 1 % de plus qu'à gauche. Or de telles analyses ne sont guère précises à 1 % près (les deux décimales résultent de moyennes). On peut donc dire que l'augmentation de Si dans l'amphibole est compensée par une diminution de Al, ce qui justifie l'écriture $_{14}\text{Si} - _1\text{H} \rightarrow _{13}\text{Al}$; la variation est importante puisque l'alumine, à droite, est d'environ 30 % plus faible qu'à gauche. Cela pour l'augite. Pour le gabbro, nettement moins basique, il y a la réaction inverse (rappelons qu'en général on classe comme basiques les minéraux où SiO₂ < 52 %) ; la silice diminue en passant à l'amphibole, tandis que l'alumine augmente ; l'écart sur le total de ces deux minéraux est de 1,4 %, valeur qui reste encore dans les limites de la précision analytique ; ici l'alumine augmente de 50 % environ, ce qui est en dehors de toute marge d'erreur possible. (Pour mémoire, nous indiquons aussi les fortes variations de Fe). « L'amphibole se développe sur la périphérie du pyroxène qu'elle circonscrit complètement, de sorte que celui-ci se trouve réduit à l'état de véritable noyau transparent et incolore enclavé dans la hornblende » (p. 7 - et fig. 6, gauche). » Quand il existe des inclusions de magnétite, elles peuvent se rencontrer indifféremment dans le pyroxène, dans l'amphibole, ou encore dans les deux minéraux à la fois ». La magnétite reste donc là où elle était ; c'est ce qui l'entoure qui se transforme, avec modification de la réfringence, celle du cristal de pyroxène différant

de celle de l'amphibole. On distingue deux modes principaux de transformation : l'amphibole entoure peu à peu le pyroxène qui se trouve isolé ; ou bien elle pénètre dans le grand cristal de pyroxène, le traverse, le fragmente et on a plusieurs morceaux de pyroxène isolés. Mais dans tous les cas, même dans les fragments de pyroxène, comme dans la plage d'amphibole, l'orientation optique est conservée, prouvant qu'il s'agit bien d'une transformation « d'un même cristal, morcelé par le développement subséquent de l'amphibole ». Parfois cependant l'amphibole peut naître au sein d'un cristal de pyroxène (fig. 6, droite).

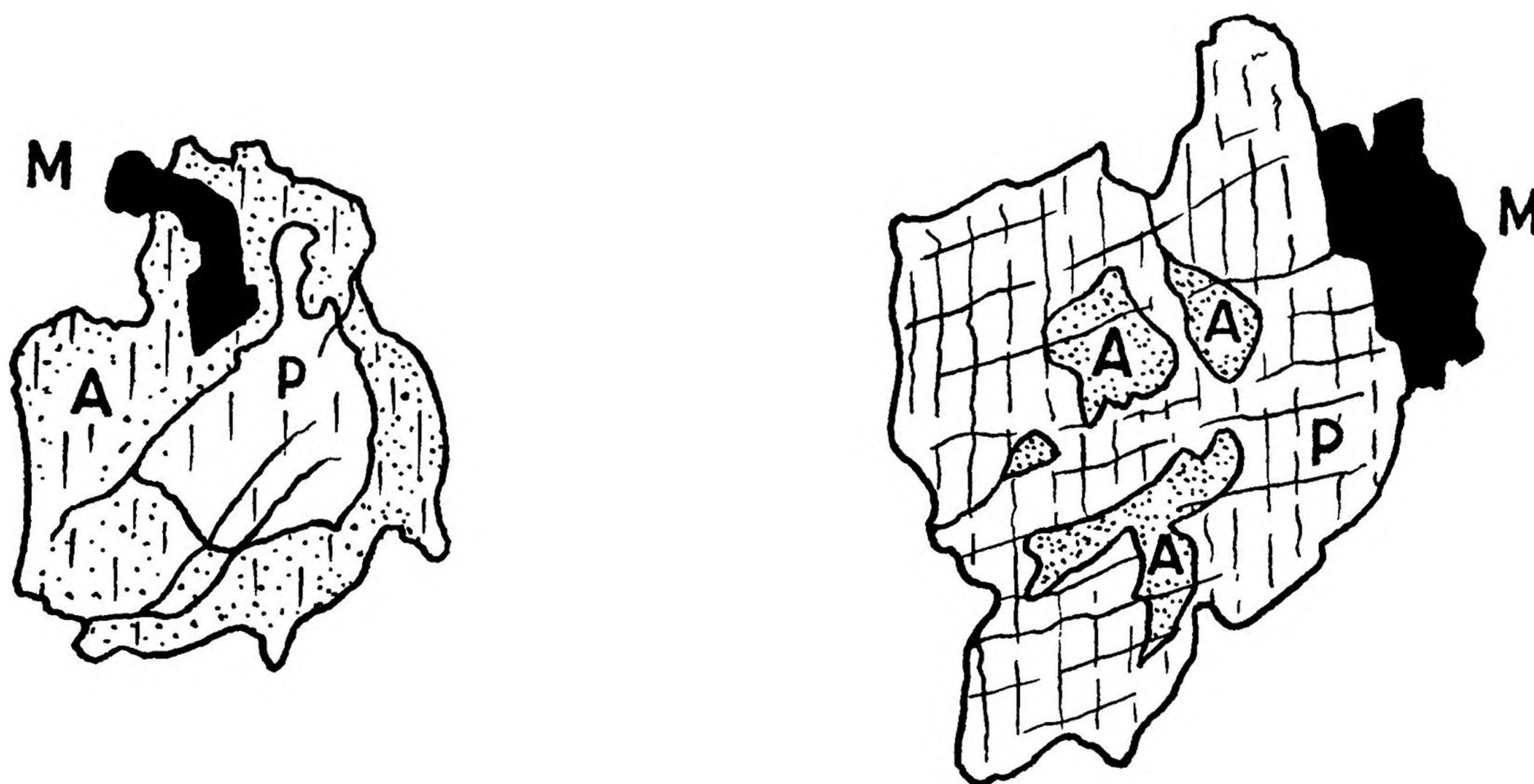


FIG. 6 - A gauche : noyau de pyroxène P enveloppé d'amphibole A.
A droite : plage de pyroxène au sein duquel s'est formé de l'amphibole (M = granules de magnétite)
d'après L. Duparc

Mêmes orientations des clivages et des cassures qui se continuent du pyroxène dans l'amphibole.

Voici d'autres analyses, faites par Duparc ; l'amphibole obtenue vient d'une variété de hornblende.

	Pyroxène	Amphibole
SiO ₂	50,91	43,34
Al ₂ O ₃	2,64	12,60
FeO + Fe ₂ O ₃	53,55 10,07	55,94 18,36

Ici l'écart sur les totaux est voisin de 4 %. Le rapport SiO₂/Al₂O₃ qui était de 19 dans le pyroxène n'est plus que de 3,5 environ dans l'amphibole. L'alumine a augmenté de 375 %. Duparc commente ainsi ces résultats : « Ces analyses montrent tout d'abord qu'il n'y a pas identité chimi-

que, mais au contraire différence complète entre les deux minéraux, portant sur presque tous les éléments. L'amphibole est plus basique que le pyroxène (moins de SiO_2), considérablement plus riche en alumine et plus pauvre en chaux, le fer y est plus abondant... les alcalis enfin s'y rencontrent en notable proportion » (on remarque en effet l'apparition de K_2O qui n'existe pas dans le pyroxène de départ, mais CaO diminue ; MgO diminue, Na_2O apparaît ; la forte variation de CaO , qui passe de 23,33 à 12,91 % est compensée par une forte augmentation d'oxydes de fer qui passent de 10,07 à 18,36, soit environ 86 % d'augmentation).

« La transformation du pyroxène en amphibole n'est donc pas le fait de transformations moléculaires, puisqu'il y a départ de certains éléments chimiques et apport d'autres éléments ». « Quand on examine de plus près l'amphibole de certaines variétés dioritiques, on arrive à la conviction que celle-ci est un produit de la transformation du pyroxène et nous écrivions déjà (en 1902) : « Il n'est pas impossible que la hornblende soit purement accidentelle dans ces roches et que les filons aient été primitivement feldspathiques : l'amphibole proviendrait alors d'un pyroxène... ».

Duparc multiplie les exemples d'analyses qu'il a faites ; il n'est pas possible de les citer toutes et prenons quelques exemples complémentaires, pour montrer que son étude est basée sur de nombreuses recherches (mais ne retenons que silice et alumine, pour alléger : (nous donnons en fin de chapitre, à titre indicatif, l'analyse complète).

	Pyroxène	Amphibole
SiO_2	43,52	41,26
Al_2O_3	17,50	20,09
	61,02	61,35

Ici les deux totaux sont très proches et quand Si diminue, Al augmente sensiblement de la même quantité, compte tenu du rapport Si/Al.

Il donne aussi des séries d'analyses de diverses hornblendes, de plagiophites, de diorites-aplites qu'il serait fastidieux de reproduire.

Il y a donc incontestablement un métamorphisme dit-il ; il n'en voit pas la cause et comme d'usage dans ces cas « nous sommes obligés d'admettre la présence d'un fluide capable d'effectuer cette transformation consistant en perte de silice... et en adjonction d'alumine... ». Le résultat est nettement constaté, nettement établi mais l'explication, en ce début du XX^e siècle, est l'hypothèse d'un « fluide » inconnu : « il y a métamor-

phisme, au sens strict attaché à ce terme ». Mais admettre l'action d'un fluide est embarrassante : « cette épigénie magmatique transformant le pyroxène semble difficile à réaliser car la diffusion d'un fluide est toujours pénible dans un tel milieu ». Et comment concevoir la migration d'un fluide à travers ces roches imperméables ? Il appartenait à Georges Choubert, puis à Jean Lombard, 40 ans plus tard, de penser à une action nucléaire, puisque de toute évidence le métamorphisme des roches, tel qu'il était admis depuis un siècle, était mis en doute depuis un demi-siècle mais, faute d'explication scientifique acceptable, on se contentait, comme Duparc, de montrer les contradictions et les impossibilités des théories classiques.

Notons que non seulement les observations, les analyses, montrent que c'est bien le cristal de pyroxène qui devient amphibole, et ce métamorphisme a été reproduit en laboratoire. Duparc donne quelques détails sur cette synthèse et montre que Chrustchoff a obtenu de la hornblende synthétique en chauffant les constituants en présence d'eau, en vase clos, à 550°C et 200 atmosphères. Il a également été possible à la pression atmosphérique, à 1 000°C, de détruire de l'amphibole pour donner du pyroxène. Dès lors on se trouve, pour ces minéraux, entre deux limites de stabilité tenant à la température et à la pression et on peut tracer un diagramme des points d'eutexie déterminant les plages où l'on obtient du pyroxène ou de l'amphibole. Mais les transformations observées sur les cristaux naturels semblent montrer que le métamorphisme a pu se produire sans fusion ; l'essentiel était de montrer que l'on pouvait passer de l'un à l'autre.

A titre complémentaire, donnons une analyse plus détaillée de L. Duparc :

	Pyroxène	Amphibole	soit
SiO ₂	43,52	41,26	—
Al ₂ O ₃	17,50	20,04	+
MgO	7,48	8,14	+
CaO	17,70	14,64	—
K ₂ O	0,35	0,16	—
Na ₂ O	1,28	1,68	+
FeO + Fe ₂ O ₃	11,90	13,75	+

On voit une baisse de SiO₂ en regard d'une augmentation de Al₂O₃ ; baisse de MgO et augmentation de CaO ; baisse de K₂O et augmentation de Na₂O. Il y a une variation du fer de plus de 15 % (Duparc sépare les oxydes ; si nous les totalisons c'est parce que, dans d'autres chapitres, la

séparation des oxydes de fer n'a pas toujours été faite et elle est impossible avec certaines méthodes comme l'analyse par microsonde électronique ; c'est pour avoir des valeurs partout comparables que nous donnons le total).

En général on remarque que le fer augmente dans le métamorphisme d'une roche très basique et diminue dans une roche peu basique ou acide, où d'ailleurs, le plus souvent il est en quantités plus fortes comme s'il y avait une compensation entre Fe et Ca. Mais cela n'est pas toujours aussi net et il convient de ne pas extrapoler d'une façon absolue. Il ne nous est pas apparu qu'une variation de Fe était toujours liée à une variation en sens inverse de Ca. Les variations du fer paraissent avoir des origines multiples. Nous avons vu que Fe peut être lié à Mn ; là encore ce n'est pas toujours vrai et pour le moment (1973) nous n'avons pas encore pu dégager des règles permettant à coup sûr de prévoir la « métasomatose » du fer. Mais une technique, dont nous ferons état plus loin, à propos de nos dernières recherches (1973), va certainement permettre rapidement une telle étude.

*
**

Le présent chapitre a pour objet d'ouvrir de nouvelles perspectives à l'étude du métamorphisme des minéraux : elle ne peut plus ignorer les transmutations, pressenties depuis près d'un siècle, mais inexplicables par la science d'alors. L'idée d'une transformation non chimique est renforcée par les observations de L. Duparc au début du XX^e siècle et nous venons d'y puiser un exemple, le passage du pyroxène à l'amphibole. Simple échantillon car il ne saurait être dans notre propos de présenter ici un large inventaire de tout ce qui a déjà été étudié sur cet aspect du métamorphisme. L'albitisation a attiré l'attention de Jean Lombard. Il a vu qu'elle était inexplicable par les théories classiques, contredites par ses observations sur les granites du Cameroun, alors que nos travaux permettaient de comprendre ce qui s'était passé. D'autres études de ce genre ont été faites. Nous verrons celles de Korolkov, en Russie, montrant le passage de l'orthose à la muscovite. Dans d'autres conditions, on observe l'inverse : passage de la muscovite à une variété d'orthose, le microcline. On sait aussi que le plagioclase sodico-calcique $\text{Ca} [\text{Al}_2 (\text{Si}_2\text{O}_8)]$, $\text{Na} [\text{Al} (\text{Si}_3\text{O}_8)]$ serait plus ancien que l'orthoclase $\text{K} [\text{Al} (\text{Si}_3\text{O}_8)]$ qui en serait dérivé. L'albite $\text{Na} [\text{Al} (\text{Si}_3\text{O}_8)]$ serait une formation tantôt contemporaine, tantôt postérieure à l'orthoclase.

Le plagioclase perdrait un proton sur son Ca pour donner K, d'où l'apparition de l'orthoclase (ou orthose) monoclinique autour du plagioclase, représentée par la première partie de la formule ; la seconde reste, c'est l'albite, de sorte que l'orthose « s'extrait » en quelque sorte et laisse sur place l'albite qui forme une couronne autour de la plage de plagioclase

non transformé. Mais elle aussi peut contribuer à augmenter l'orthose, à ses dépens, en se transmutant par addition d'un noyau oxygène sur le noyau Na pour donner K. On constate que dans d'autres conditions tectoniques il y a une réaction inverse : l'orthose diminue pour augmenter l'albite (albitisation). Cela sans transfert de K ni de Na, qui n'ont pu migrer et seule une formation sur place est compatible avec les observations.

Je ne peux développer cette partie, renvoyant à la préface de Jean Lombard à mon ouvrage de 1963 (réédité en 1966) dans « Transm. Nat. » ou à son étude publiée par l'UNESCO. Aussi à l'ouvrage en russe de V.B. Neiman (chapitre rédigé par Korolkov). En Italie des recherches ont été faites par Fausto Doro sur des roches du Piémont (je ne sais si elles ont été publiées ; l'auteur m'a transmis diverses photos et notes, des coupes au microscope etc, sur les liens entre plagioclase, orthose, albite notamment). C'est dire que dans divers pays cette recherche sur le métamorphisme se développe, dans l'optique de transmutations, car c'est la seule optique qui permette d'y voir clair.

EXPERIENCES SUR DES EFFETS DES TEMPERATURES ET DES PRESSIONS ELEVEES

(Une conférence au Congrès de Géochimie à Moscou en 1971)

Nous avons vu surtout le fait que des observations, des analyses et des synthèses avaient permis de penser que du silicium augmentait au détriment d'aluminium qui diminuait ; ou l'inverse selon les conditions. Les analyses faites sur les massifs granitiques et sur les roches encaissantes montraient le même phénomène. Il fut confirmé lorsqu'on réalisa la synthèse du granite (v. « Transmut. à faible énergie »). Voici une autre expérience dont j'ai eu connaissance trop tard pour l'insérer dans la réédition de 1972 du livre précité. Je l'ai connue par un texte en anglais traduisant la conférence faite en russe par G. Choubert au 1^{er} congrès international de géochimie de Moscou, en juillet 1971, le russe et l'anglais étant les langues officielles du congrès (à ma connaissance, à ce jour, il n'y a pas eu de publication faite en français). Le texte anglais est dû à G. Cherotzky.

Il s'agit de la discussion d'analyses faites dans du granite après une explosion atomique souterraine ; de telles données sont assez rares, car ce n'est pas souvent que des « civils » sont admis à ces expériences conduites par des militaires, la bombe atomique pour application à des travaux publics n'étant pas encore dans le commerce... Je ne donnerai ici qu'un condensé, d'après le texte anglais. Je limiterai aussi cette note à la variation Al → Si. Tout d'abord, dans sa communication, G. Choubert a rappelé sa position sur la granitisation. Voici le résumé.

« *Introduction* » - Je vais présenter une nouvelle hypothèse sur la genèse du granite, ou plutôt du magma granitique. En fait je posais le principe de cette hypothèse pour la première fois en 1952, car déjà, à cette époque, il me semblait que le problème du granite se posait en termes de physique nucléaire. Mais cette idée resta en sommeil, car je ne disposais pas de faits suffisants pour la défendre. Or aujourd'hui ces faits sont assez nombreux pour que je me décide à présenter mon hypothèse à un congrès international, hypothèse que j'ai appelée « la palingénèse nucléaire ».

La théorie classique, connue de tous, remonte à 150 ans, pendant lesquels on a discuté avec beaucoup d'imagination sur de nombreux sujets, mais sans jamais mettre en doute les hypothèses de départ elles-mêmes, tout en discutant sur les incompatibilités entre ces hypothèses et les observations.

Il est nécessaire de tenter une nouvelle approche du problème de la genèse du granite afin de mettre un terme à des discussions qui se sont révélées vaines pendant 150 ans, car c'est la base même de la théorie qui est à revoir (un condensé de cette théorie est donnée dans *Transmut. à faible énergie* - 1972).

1) **Essence de la granitisation**

a) Le problème de base est le suivant : une masse de schiste disparaît pour être remplacée par une masse de granite sensiblement de même volume. Le schiste qui occupait cette place voit sa composition augmenter fortement en SiO_2 , K_2O , Na_2O et CaO ; tandis que Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , FeO diminuent. Ce changement porte sur environ 10 % de la masse totale du granite, ou encore de la masse du schiste disparu. Les comparaisons sont faites entre les analyses du granite et du schiste encaissant. Il s'agit donc d'une masse énorme qui est ainsi transformée, des dizaines de milliers de kilomètres cubes parfois.

b) Le nouveau matériel granitique s'est formé à haute température, due à une haute pression et aurait cristallisé en se refroidissant, après le paroxysme de la pression d'orogénèse, et vers 700 à 800°C, du fait de la présence de vapeur d'eau à la température critique.

c) La fusion intervient très brusquement, dès que les conditions de température et de pression sont atteintes. Mais du fait que la pression se maintient, ne diminuant que lentement, sur plusieurs millions d'années parfois, la cristallisation ne se fait que très lentement après le maximum de la pression tectonique.

Hypothèses existantes

Aucune hypothèse existante ne donne une explication suffisante de ces trois points. Les controverses sont nombreuses et nous devons nous limiter à quelques exemples.

Comment, dans l'hypothèse d'une origine magmatique du granite cette masse en fusion peut-elle prendre une place là où il y a déjà de la matière ? Il faudrait qu'en avançant, cela a été dit, la masse en fusion « digère » celle qu'elle va remplacer, ce qui, n'importe comment, entraîne une augmentation de volume, non observée.

Diverses autres impossibilités sont examinées : en profondeur, le Précambrien ne contient pas de roches de la composition du gneiss. Et comment le magma passerait-il au moment du maximum de la pression de l'orogénèse ?

Car il est bien admis que la granitisation est liée aux plissements : calédoniens etc. La granitisation ne saurait dépendre d'un « réservoir » préalable. Il n'y a pas de « racine » sous les masses de granites. Jamais on n'a pu trouver de « cheminées » les reliant à un « réservoir » sous le Précambrien qui est resté intact sous le granite.

La seule conclusion est que la formation du granite se fait en surface : 10 à 30 km en moyenne, rarement 50 km. Elle se produit au sein des schistes déjà en place, comprimés et portés à haute température.

Nouvelles hypothèses

Il nous faut donc bien admettre que le granite ne vient de nulle part, qu'il s'agit d'une transformation sur place, de schistes essentiellement. La modification chimique porte sur 10 % de la masse totale.

Puisque la nature des composants a changé, cela implique une transmutation de 10 % de la masse et j'ai appelé ce phénomène la « palingénèse nucléaire ». Elle est maximale au moment de la pression de formation de la chaîne de montagne, et là où la pression atteint son maximum. Si elle est très rapide, la cristallisation est lente, de même que la formation ultérieure de magmatites et de gneiss.

2) Réaction nucléaire : transmutation-type

Les lois de physico-chimie classiques ne permettent pas d'expliquer un tel phénomène, d'où, je le sais, des réticences vis-à-vis de mon hypothèse. En 1952 je ne disposais d'aucun fait permettant de penser à une explication de cette palingénèse nucléaire, évidemment sans rapport avec les explosions atomiques.

Réactions nucléaires en biologie

Mais ces dix dernières années, un scientifique français C.-L. Kervran a montré à diverses reprises le rôle important joué par des réactions nucléaires dans le règne végétal et animal. Cela peut être montré par différents procédés : germination de graines, évolution des sols, formation de la coquille des œufs, formation de la carapace des crustacés etc. En toute probabilité ces « transformations à faible énergie » sont principalement dues à des enzymes, dont l'importance en biologie est bien connue.

Les principes dégagés par Kervran sont de nos jours appliqués à

l'agriculture, où des fertilisants biologiques remplacent progressivement les engrais chimiques, souvent inadaptés aux besoins biologiques des cultures et parfois dangereux pour l'homme et les animaux. Afin d'expliquer ces réactions nucléaires, Kervran propose un nouveau modèle de la structure atomique. Celle du noyau n'est pas homogène. Il se compose de protons caractérisés par une très forte énergie de cohésion interne (par exemple un bloc oxygène, un bloc carbone etc.) alors que ces blocs sont faiblement liés entre eux.

Cette liaison à faible énergie facilite la désintégration des atomes ou leur formation. Parmi ces différentes réactions, nous pouvons mentionner la capture d'un proton à partir d'un noyau voisin...

Explosion atomique souterraine

Les archives concernant les explosions nucléaires souterraines sont en général inaccessibles et cependant il est intéressant de connaître le comportement des roches à haute pression et haute température.

Heureusement que le Commissariat français à l'Energie atomique a permis une étude, lors de l'explosion en Afrique, à In Eker, non seulement par les physiciens mais aussi par les géologues. Cela a permis à J. Fauré de réunir une documentation pour sa thèse et nous y puisons les précisions ci-après.

L'explosion a eu lieu à 300 mètres de profondeur dans le massif granitique de Tan Afella qui s'est formé lors de l'orogénèse de l'Ahaggar (Hoggar) dernière granitisation précambrienne. L'énergie fut de un kilotonne de TNT. L'explosion créa une chambre hémisphérique de 15 mètres de diamètre. Dans cette chambre, les parois furent en partie volatilisées près du point de tir. Puis elle se remplit de granite broyé provenant de la voûte qui s'effondra peu après. La température contre la paroi a été calculée comme étant de 2 400°C et la pression de 400 kilobars (la partie volatilisée fut suivie d'une partie liquéfiée qui se vitrifia en refroidissant).

Au-delà de la zone fondue, mais non vitrifiée, qui recristallisa, et qui s'étendait sur 7 m environ de moyenne de rayon autour du point de tir, le granite était pulvérisé sur 3 m de rayon environ. Plus loin, sur un rayon de 26 m environ, à partir du point de tir, il était seulement fracturé. Au-delà de ce cercle, et à l'intérieur d'un cercle concentrique de 36,5 m de rayon il a été procédé au prélèvement de carottes-témoins, afin d'avoir des témoins non-altérés, aussi près que possible de la roche perturbée.

Ces carottes furent analysées et comparées aux analyses des carottes prélevées sitôt refroidissement dans les zones fondues, pulvérisées et fracturées. Les valeurs furent reportées sur un graphique (je le commenterai plus loin ; G. Choubert avait utilisé le schéma établi par Fauré ; je n'en ai

gardé, pour plus de clarté et l'agrandir, que la partie concernant la silice et l'alumine - fig. 7). On voit que dans le granite fondu la silice est passée de sa valeur moyenne de 76 % à un maximum de 81 % ; tandis que l'alumine, de 13 % s'abaissait à 8 %. Ces écarts, par rapport aux moyennes, s'atténuent à mesure qu'on s'éloigne du point de tir pour redevenir normaux avant le début de la zone fracturée.

La seule explication possible est qu'il y a eu une transmutation à faible énergie (cette expression signifiant qu'il ne s'agit ni d'une fission de l'aluminium, ni d'une fusion du silicium selon les lois de la physique nucléaire classique). L'augmentation de SiO_2 correspond sensiblement, en quantité, compte tenu du rapport initial Si/Al, à la diminution de Al_2O_3 , selon le modèle indiqué par Kervran : $_{13}\text{Al} + {}_1\text{H} :=: {}_{14}\text{Si}$. Le graphique montre nettement les courbes inverses de ces deux minéraux.

Il est assez remarquable de constater que tout près de la paroi il n'y a pas eu de transmutation. On peut penser qu'une telle explosion n'induit pas dans les roches de transmutations classiques. La radioactivité ne viendrait que de la bombe ? Cela signifierait que l'énergie développée est insuffisante pour obtenir des fusions et des fissions du type classique dans les constituants du granite. Cette énergie serait cependant trop violente pour induire des transmutations selon « l'effet Kervran », qui est « un effet de douceur », de glissement plutôt, impossible sous un choc violent. C'est ce qui fait que les réactions selon « l'effet Kervran » ne commencent qu'à plusieurs mètres, là où température et pression avaient bien baissé. D'ailleurs à ces endroits la roche n'était pas radioactive ; il s'agit donc bien de transmutations autres que celles que décrit la physique nucléaire classique.

*
**

J'arrête-là le condensé établi d'après la traduction anglaise de l'exposé de G. Choubert, pour voir d'un peu plus près les graphiques.

Celui qui a été reproduit par G. Choubert, d'après J. Fauré, indique en ordonnées les teneurs pour cent de SiO_2 et de Al_2O_3 des granites. Pour chacun de ces minéraux la bande centrale indique les limites de la dispersion des analyses sur les témoins. Les abscisses sont proportionnelles aux distances, par rapport au point de tir. Il y a parfois plusieurs analyses pour une même distance. A chaque point figurant la teneur en silice, correspond un autre point donnant la teneur en alumine de la même carotte, donc sur la même ligne verticale représentant un forage (fig. 7).

Il m'a paru suggestif de reporter ces valeurs sur un autre graphique, compte tenu du rapport initial entre Si et Al, car il est évident qu'une grande variation relative d'Al ne donnera qu'une bien plus faible variation

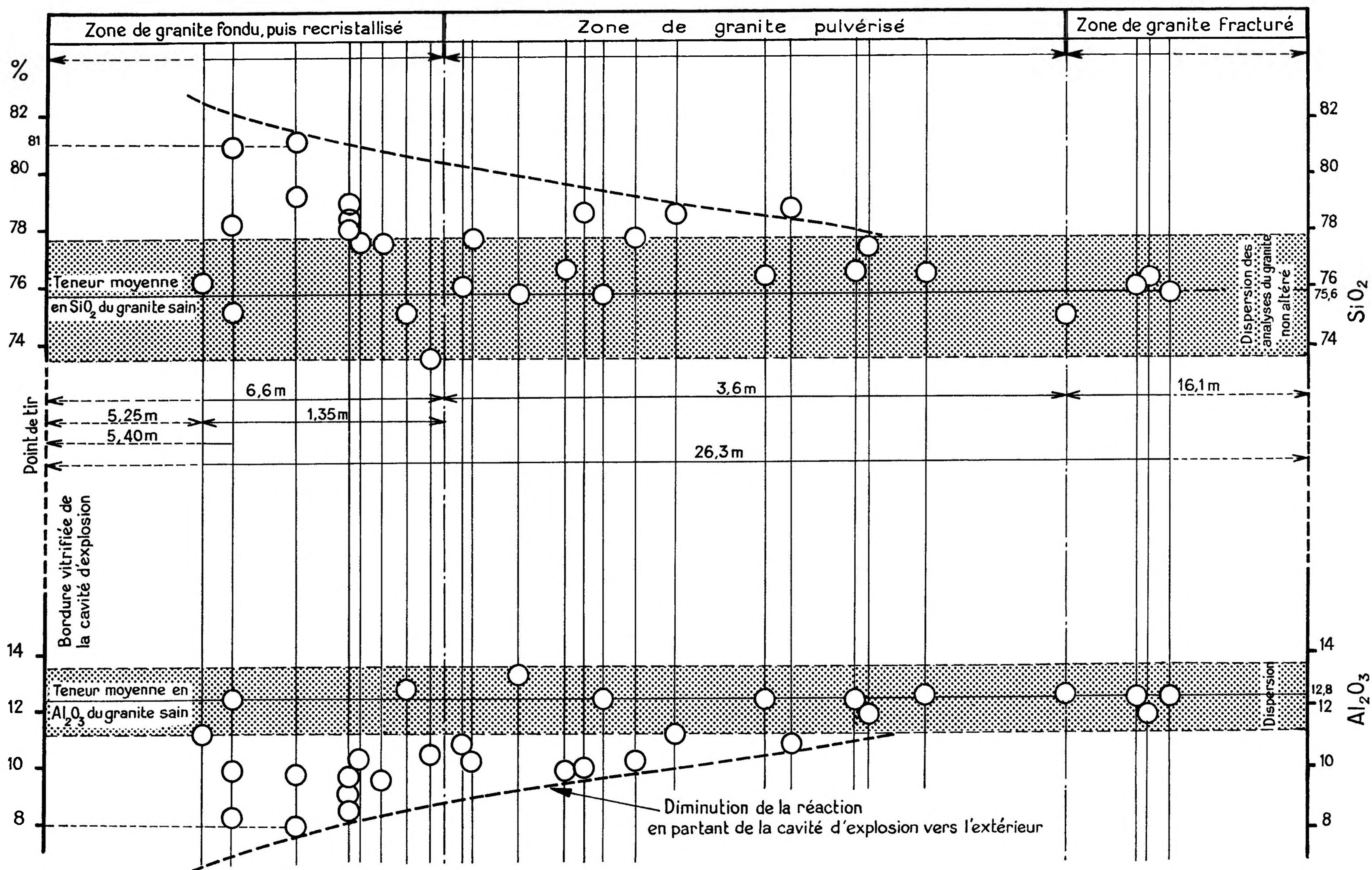


FIG. 7 - Variation de SiO₂ et Al₂O₃ dans les granites d'In Eker (Hoggar) sous l'effet d'une explosion atomique souterraine. - La transmutation de ¹³Al en ¹⁴Si (Al diminue, Si augmente) commence à 5,40 m du point de tir - (Les lignes verticales correspondent aux forages de prélèvements de « carottes » pour analyses)

relative de Si ; la moyenne de l'alumine était, dans le granite non-altéré, de 12,8 % et la silice de 75,6 % ; l'échelle de l'alumine a donc été multipliée par ce rapport silice/alumine et l'échelle a été inversée et compensée. On voit dès lors que les deux courbes sont symétriques (fig. 8).

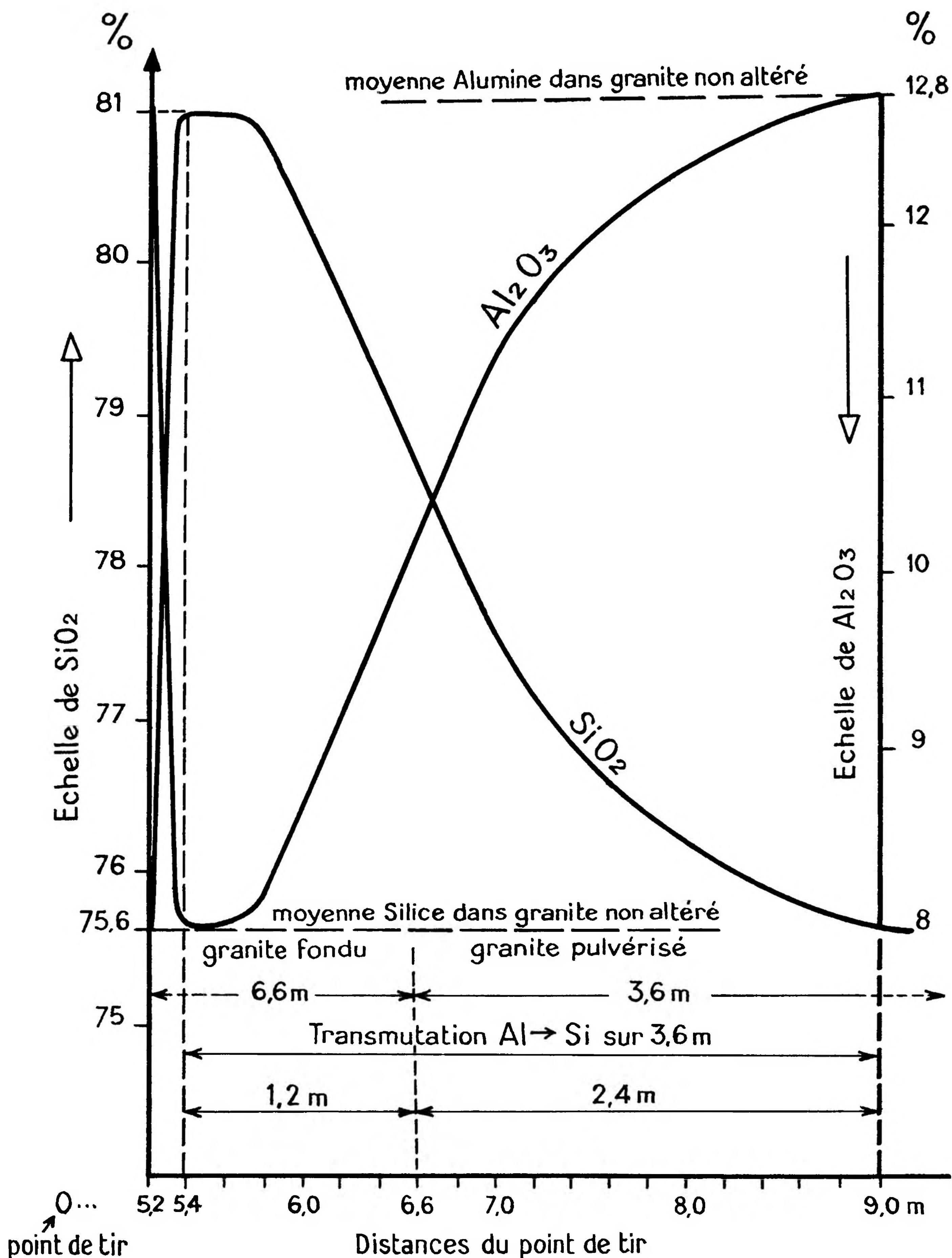


FIG. 8 - Explosion atomique souterraine dans du granite. Augmentation de Si, diminution de Al.

Dans le granite non-altéré, éloigné du point d'explosion de plus de 27 mètres, le rapport silice/alumine est de 75,6/12,8, soit 5,9 fois plus de silice que d'alumine. Une forte diminution de l'alumine ne peut donc conduire qu'à une faible augmentation relative de la silice, alors qu'en

poids l'augmentation de la silice et la diminution de l'alumine s'équilibrent sensiblement. Il y a environ 37,5 % de diminution de l'alumine et 6,8 % d'augmentation de la silice, là où la transmutation a été maximale. Or $37,5/6,8 \simeq 5,5$, valeur assez proche du rapport initial de 5,9 ; l'écart est voisin de 7 % ce qui est inférieur à la dispersion des analyses dans un matériau aussi hétérogène que le granite (d'où la bande de dispersion dans le premier graphique). Nous pouvons donc dire, dans ce cas, que l'augmentation de la silice est compensée par une diminution correspondante de l'alumine. S'il n'y avait pas sensiblement égalité entre ces valeurs, on pourrait penser soit que Si a, au moins en partie, une autre origine, soit que Al ait donné autre chose, ce qui ne résulte pas des analyses des autres éléments, quantitativement, bien qu'il y ait eu des variations qualitatives, mais très faibles, eu égard à celles de Si et de Al (en fin de chapitre nous verrons ces variations qualitatives des autres éléments analysés).

L'échelle compensée permet de mieux montrer ces valeurs inverses de Si et de Al et de les égaler sur un diagramme (fig. 8). Nous figurons les distances sur un rayon de la sphère de granite qui entoure le point de tir (point où a explosé la bombe équivalant à 1 kilotonne de TNT) de 2 en 2 dm. A 5,2 m de distance il ne se produit encore rien : température et pression, à cette distance dans la roche, sont trop faibles pour entraîner des transmutations radioactives selon le type de réaction de la physique nucléaire classique, mais trop fortes pour provoquer des transmutations selon ce qu'on a appelé « l'effet Kervran », non radioactives, à énergie considérablement plus faible que dans les fissions ou fusions classiques. Quand l'énergie aborde la sphère de granite de 5,4 m de rayon, les conditions de transmutation à cette énergie réduite sont réunies et la réaction se fait brusquement, entre 5,2 et 5,4 m, distance où elle atteint son maximum. Elle se maintient au voisinage de ce maximum sur une couche de granite de 0,4 m environ, puis décroît rapidement et à partir de 3,6 m du point où le phénomène a commencé il s'arrête, s'annule, température et pression étant insuffisantes à partir de cette distance, qui représente 9 m à partir du point de tir (le sondage fait à 5,2 m du point de tir ne montre aucune transmutation ; il est regrettable qu'un autre sondage, plus près encore, n'ait pas été fait, ce qui aurait permis une convergence de plus ; nous sommes ainsi conduit à admettre que c'est l'observation visuelle du terrain qui a décidé de placer le premier sondage, avec une seule carotte, à 5,2 m).

On remarque que le passage de Al à Si est maximal dans le granite qui, ayant ramolli, s'est refroidi en cristallisant. Il diminue très vite dans la zone de granite pulvérisé qui fait suite à cette zone fondue et recristallisée et à 2,4 m de la partie fondue dans cette zone pulvérisée, la transmutation cesse. Elle cesse donc bien avant la zone plus éloignée, celle du granite seulement fracturé qui a 16 m d'épaisseur.

Plus que le schéma détaillé des sondages, ce diagramme montre qu'une telle transmutation se fait dans une bande d'énergie très étroite : pression et température sont deux paramètres qui ne peuvent pas varier beaucoup pour produire certains métamorphismes ; on voit ici que l'essentiel de la transmutation ne se fait que dans une couche sphérique de moins de 0,50 m d'épaisseur, située à plus de 5,25 m du point de tir et moins de 5,80 m. Cela permet d'estimer grossièrement la fourchette des températures et pressions réunies (par rapport à ce qui a été calculé pour le point de tir, car on ne peut que les évaluer, aucune mesure directe n'étant possible).

De nombreuses expériences sont maintenant connues et leur convergence permet de serrer de plus près les conditions à réunir en laboratoire pour reproduire par synthèse divers métamorphismes de roches et de minéraux.

On pourrait peut-être penser que l'énergie mise en jeu est considérable et sans rapport avec la pression et la température provoquant la fusion pâteuse du granite, qu'il y a eu une transmutation classique, par onde de choc. Ce n'est pas possible, car une transmutation classique serait radioactive : elle résulte de l'occlusion d'une particule entrant par la force dans un noyau qui est de ce fait déséquilibré et qui rétablit son équilibre, plus ou moins vite, par le rejet d'une autre particule. Ici cela est impossible, il s'agit bien d'un type de transmutation tout à fait différent. De plus l'onde de choc (qui n'a jamais provoqué de transmutation classique) s'applique brutalement, en 10^{-8} seconde. Sa durée se place entre 10^{-7} et 10^{-5} s (selon les explosifs). Elle peut atteindre 10 Mb avec des explosifs classiques ; beaucoup plus avec un explosif nucléaire, mais faute de moyens de mesures directs on en est réduit à des calculs par trop aléatoires. L'onde de choc est toujours uniaxiale. Elle fait que le matériau se comporte comme un fluide. Elle se transmet trop rapidement et ne permet pas l'élévation de température d'une masse de granite. Elle agit mécaniquement pour pulvériser le granite, et plus loin le fracturer, mais elle n'a pas fait fondre le granite jusqu'au point où, très fluide, il se vitrifierait en refroidissant. Ce passage de l'onde de choc, dans le cas présent, semble trop rapide pour qu'il y ait pu avoir un réarrangement protonique, là où l'énergie de l'onde de choc était maximale, mais d'une application beaucoup trop brève et trop violente pour produire des transmutations que j'ai appelées à faible énergie, comme pour des transmutations classiques, qu'elle ne saurait produire en aucun cas.

Ce problème de l'énergie est d'ailleurs en général trop mal compris, du fait d'une simplification sommaire, de la confusion entre les différentes formes de l'énergie, de la déformation mathématique qui abuse de la transformation de l'énergie, simple opération automatique qui oublie la notion de physique. Il est faux de faire ces conversions sans réfléchir. Un

métamorphisme de roche nécessite en général une chaleur et une pression, deux formes d'énergie qui ne sont pas équivalentes puisqu'on ne peut pas remplacer l'une par l'autre, il faut les deux, simultanément. Autrement dit les lois d'équivalence de l'énergie sont trop souvent des vues de l'esprit et que de scientifiques l'oublient. Une valeur numérique exprimant une énergie est une expression trop sommaire. Il y a aussi une « qualité » de l'énergie. Si une énergie est appliquée pendant 10^{-6} seconde, on peut très bien avoir la même valeur numérique avec une force 10^6 fois plus faible, appliquée pendant un temps 10^6 fois plus long, ce qui ne signifie nullement que les effets seront les mêmes.

Convertir en chaleur l'énergie d'une onde de choc est une de ces vues de l'esprit sus-mentionnée ; l'onde se transmet, elle passe, elle va s'évanouir dans le lointain, insensiblement. Il n'y a là rien d'analogue à l'énergie cinétique d'une balle qui vient s'écraser contre une cible résistante, où l'énergie (partiellement) se convertit brusquement, et sur place, en chaleur qui peut faire fondre une balle de plomb par exemple. Cela dans le cas de l'explosion dans un massif de granite ; il n'en serait pas de même dans une enceinte close et résistante, où l'onde de choc se réfléchirait sur les parois internes, dissiperait son énergie dans un faible volume. Lors de l'explosion atomique souterraine ici citée, la chaleur n'a été suffisante pour ramollir le granite que jusqu'à 6,6 m du point de tir ; sur 3,6 m de plus il était pulvérisé par l'effet mécanique de l'onde de choc qui a passé, et sur 16,1 m de plus le granite présentait seulement des fractures s'atténuant en fonction de l'éloignement de la cavité d'explosion ; c'est donc dans une sphère de 26,3 m de rayon que s'est dissipée l'énergie ; au-delà l'énergie résiduelle était trop faible pour laisser une trace visible.

Nous reviendrons sur ce problème des pressions et des températures, puisqu'il a permis de réaliser en laboratoire des transmutations répondant à ce qu'on a appelé « l'effet Kervran », avec une énergie modérée, transmutations non radioactives.

**

Je terminerai le présent chapitre en signalant qu'à Moscou G. Choubert a fait état aussi des transmutations prouvées par l'analyse des tectites. Il y a là un aspect important et peu connu. Je le développerai plus loin. Voici la fin de la conférence de G. Choubert à Moscou.

Nous avons présenté notre hypothèse de palingenèse nucléaire et possédons maintenant des séries de faits prouvant l'existence de transmutations d'un type nouveau :

- les transmutations en biologie sous l'effet d'enzymes ;
- les explosions atomiques souterraines ;
- la formation d'impactites et de tectites ;

- le métamorphisme des roches par synthèse à haute pression et haute température ;
- les observations convergentes sur la granitogenèse ;
- les observations sur la formation de laves de certains volcans.

Tout cela ne saurait s'expliquer que par des transmutations répondant à « l'effet Kervran ».

Conclusion

Il y a 150 ans, nos ancêtres ont formulé des hypothèses en fonction des connaissances scientifiques d'alors. Leurs successeurs ont maintenu ces théories, ne voyant pas que cela conduisait à une impasse.

On n'a pas osé briser ces hypothèses malgré les contradictions flagrantes des observations. Si Becquerel, Curie n'avaient pas rejeté les anciens concepts il n'y aurait pas eu la découverte de la radioactivité. Il nous faut nous inspirer de leur exemple, sortir de l'impasse et admettre que la granitisation s'est produite sur place lors d'une orogenèse. Il n'y a aucun mystère au changement de la composition chimique du granite par rapport au schiste encaissant, au détriment duquel il s'est formé : la transmutation à faible énergie, selon l'effet Kervran, confirmé en biologie comme dans les laboratoires de géophysique, nous apporte l'explication qui manquait et que les géologues se doivent d'accepter, car il n'y a aucune autre explication valable.

**

Variations autres que Al et Si

L'explosion atomique souterraine dont il est fait état dans ce chapitre nous apporte divers enseignements, dont un est à retenir pour la suite : les transmutations ont été observées et étaient maximales dans la roche qui a ramolli et s'est recristallisée, mais pas là où elle s'est liquéfiée, vitrifiée au refroidissement. De plus la transmutation continue, mais moins intensément, dans le granite pulvérisé seulement, donc non porté à une température suffisante pour le ramollir. Cette observation est à rapprocher de ce que nous avons dit au chapitre sur le métamorphisme : A. Renard et L. Duparc apportent des faisceaux de recoupements divers montrant que la modification physique et chimique s'est produite en phase solide, sans fusion de la roche.

J'ai détaillé dans le présent chapitre surtout la variation de Al et Si, parce que les plus importantes ; le métamorphisme de ces deux minéraux est net, indiscutable. Les variations de Fe, Ca, Na et K résultent aussi des analyses faites (le diagramme ne donne pas d'indication sur Mg). Pour ces quatre autres éléments dosés, peu de sondages ont donné des valeurs au-delà de la bande moyenne de dispersion des analyses. Cependant il y a lieu de remarquer qu'il y a un net groupement des valeurs, tantôt au-

dessus, pour un élément, tantôt au-dessous de la ligne moyenne pour un autre. Il y a de ce fait une translation de la ligne moyenne. Autrement dit, la ligne qui indique la moyenne, au milieu de la bande de dispersion, est celle du granite-témoin, non-altéré. Or, du fait de l'explosion atomique, le regroupement des valeurs des analyses conduirait à établir, pour la roche métamorphisée, une nouvelle ligne moyenne ayant subi un glissement par rapport à la ligne moyenne-témoin, la seule qui soit tracée.

Il y a 5 valeurs nettement au-dessus de la bande de dispersion pour Fe, 2 pour Ca en dessous, pour Na 1 en dessus et 3 au-dessous pour K. Ces valeurs, en dehors de la bande de dispersion du granite non-altéré, accentuent en quelque sorte la tendance générale qui résulte de la translation marquée à l'évidence par les constatations ci-après :

Pour Fe_2O_3	15	dosages	au-dessus de la ligne moyenne	
	5	—	au-dessous	
				donc augmentation significative pour Fe (+)
Pour CaO	8	dosages	au-dessus de la moyenne du granite non-altéré	
	13	—	au-dessous	
				d'où une diminution de Ca (—)
Pour Na_2O	20	—	au-dessus	
	7	—	au-dessous	
				soit une augmentation de Na (+)
Pour K_2O	10	—	au-dessus	
	15	—	au-dessous	
				donc une diminution de K (—)

Les mêmes observations appliquées à Si et Al donnent :

SiO_2	23	—	au-dessus	
	4	—	au-dessous	(+)
Al_2O_3	4	—	au-dessus	
	21	—	au-dessous	(—)

Il y a là des convergences de plus montrant les variations en sens inverse :

de Si et de Al
de Na et de K

La variation du fer est significative aussi, mais ce granite était peu ferrugineux (1,4 ‰). Diverses données ne conduisent pas à établir, ici, une corrélation entre la variation de Fe et la variation inverse d'un autre élément ; Mg n'a pas été dosé, de sorte qu'on ne sait pas si la diminution constatée de Ca correspondrait à une augmentation de Mg.

TECTITES ET IMPACTITES

1) Au Congrès de Moscou - 1971

La communication de G. Choubert à Moscou abordait aussi, à propos de l'explosion atomique souterraine, les transmutations intervenues sur la paroi de la cavité d'explosion où la roche s'était liquéfiée et s'était vitrifiée au refroidissement. Il y avait là des « verres clairs » et des « verres noirs ». Dans les verres « clairs », par rapport à la roche environnante, le calcium avait augmenté, le magnésium diminué, en accord avec la formule de Kervran : $_{12}\text{Mg} + _8\text{O} := _{20}\text{Ca}$, dit-il. Je ne donnerai pas ici les valeurs numériques citées à l'appui.

Une vitrification se constate aussi dans le cas des tectites et des impactites, problème qui a fait l'objet d'un chapitre de l'exposé de G. Choubert et que je condense d'après la traduction anglaise.

La chute d'une grosse météorite produit une explosion dont l'onde de choc crée un cratère. Cette onde de choc entraîne des changements dans la roche atteinte : gaz, fusion, formation de nouveaux minéraux à haute température.

Le phénomène est un peu comparable à celui de l'explosion atomique souterraine et il est normal de songer à des transmutations nucléaires sur place. Les impactites résultent de la fusion de la roche et il y a projection de parties fondues, qui sont les tectites. Tectites et impactites ont une composition chimique différente de celle de la roche avoisinante, d'où l'hypothèse, imaginée, qu'elles étaient d'origine extra-terrestre. Il devient impossible de toute évidence de retenir une explication qui ne serait pas une transmutation.

De tels cratères ont été découverts récemment. En France, à Rochechouart, près de Limoges, on a trouvé un cratère vieux de 190 millions d'années (donc dans le Trias-Lias). Il a de 10 à 11 kilomètres de diamètre (d'après F. Kraut, 1969). Malheureusement Kraut n'a analysé à ce jour que deux impactites, l'une dans le gneiss, l'autre dans le granite, dans des régions assez éloignées l'une de l'autre, à l'intérieur de ce cratère.

Or, dans ces deux impactites, il y a plus de 2 fois plus de K_2O et beaucoup moins de Na_2O que dans le gneiss et le granite où elles ont été prélevées :

— Dans les deux impactites :

K_2O 10,65 et 10,95 % - Na_2O 0,27 et 0,40 %

— Dans le gneiss :

de 3,40 à 4,24 — de 1,83 à 1,86

— Dans le granite :

de 2,30 — 2,80 — — 2,15 — 2,37

Des écarts aussi élevés ne peuvent être expliqués que par une transmutation qui, selon « l'effet Kervran » s'écrit : $^{23}_{11}Na + ^{16}_8O := ^{39}_{19}K$.

Le plus grand cratère d'Europe de l'Ouest connu est celui de Ries, en Bavière (les tectites de Bohême-Moravie ont été appelées « moldavites » et ce nom est parfois étendu). Leur datation au potassium-argon donne de 14,5 à 15 millions d'années, ce qui est le Miocène. Il y a eu 32 analyses d'impactites, 29 de moldavites et 24 dans la roche encaissante.

Une météorite, à l'impact, perce la couche du Secondaire et explose au contact des gneiss du Précambrien. Elle projette alors des fragments transmutés sous l'effet de la chaleur et de la pression résultante de l'impact : ce sont les moldavites, ou tectites (il semble aussi que l'explosion qui en résulte viendrait d'une volatilisation partielle de la météorite, de la roche « impactée » et de la vapeur d'eau du sol environnant). Or, compte tenu des transmutations prévues par l'effet Kervran, et les confirmant, on constate à Ries que les tectites sont beaucoup plus riches en SiO_2 et en K_2O , tandis que Na, Al, Fe, Mg et Ca sont à des taux inférieurs.

Après 10 ans de discussions nombreuses, la majorité des scientifiques pense que les tectites sont bien d'origine terrestre et non météoritique.

Il y a seulement un autre cratère connu de météorite dans les granites ; il est en Côte-d'Ivoire. Par contre il y en a davantage dans des terrains plus récents Chine, Indochine, Archipel de la Sonde, Philippines, Est-Australie, Tasmanie etc, dans le Quaternaire, tandis que ceux du Texas et de Géorgie sont dans l'Eocène. Un petit cratère dans des grès siliceux de l'Ordovicien, à Aouelul en Mauritanie, a donné dans les tectites une augmentation de SiO_2 , une diminution de Al_2O_3 .

Les tectites ont une composition toujours éloignée de celle des roches volcaniques et des autres roches terrestres. Elles sont riches en silice (69 à 81 %), en fer, en calcium, parfois en magnésium. Mais il y a très peu de potassium et presque pas de sodium. Le taux d'alumine est relativement bas (11,1 à 13,5 %). Cette différence avec les roches encaissantes avait fait penser à une origine extra-terrestre. Nous voyons maintenant qu'il n'y

a plus de secret, qu'elles s'expliquent par des transmutations (la forte teneur en silicium viendrait d'une diminution de l'aluminium).

Il semble (d'après Chao-1963) qu'une grosse météorite commence à fondre la roche à 500 kilobars et 1 600°C. La volatilisation se ferait à 600 kb et 2 650°C. Stoffler et Arndt (1969) pensent que la fusion commence à 500 kb et 1 200°C. Elle ne se produirait plus au-delà de 600 kb et 2 200°C ; au-dessus, c'est la volatilisation, mais la gazéification n'est complète que pour 1 000 kb et 6 000°C. Par contre, on obtient (Winkler-1965) la fusion du granite vers 600 à 700°C (selon sa composition) et environ 2 kb, en présence de vapeur d'eau.

2) Cratères météoritiques du Canada

Dans une publication d'octobre 1972 de sa revue bilingue « Science Dimension », le Conseil National de Recherche du Canada donne quelques indications sur de gros cratères météoritiques découverts dans ce pays. Je le signalais à G. Choubert en novembre 1972, lui suggérant de bien vouloir si possible prendre contact avec ses collègues géologues du Canada, où il venait d'ailleurs de faire un séjour, afin de savoir si des analyses avaient été faites dans ces cratères. La moisson fut plus abondante que prévue : sur 18 cratères repérés, 9 d'entre eux avaient été l'objet de plusieurs analyses, faites surtout en 1971 et 1972 par Cunie, Roudot, Hasting, Denee et Adams.

G. Choubert a rédigé une note sur ce sujet pour le Bull. du Serv. Géol. du Maroc en 1973, travail détaillé qui aura environ 70 pages.

Dès leur arrivée, il m'a communiqué les résultats d'analyses reçus du Canada. Je les commenterai, uniquement d'après les valeurs chiffrées que j'ai regroupées. L'étude faite de son côté par G. Choubert tiendra compte des formations géologiques, sur lesquelles je n'insiste pas dans ce qui suit.

Il a été analysé 10 éléments ; parfois le fer a été dosé sous forme FeO et Fe₂O₃. Pour 9 cratères (où l'on possède plusieurs analyses), il y a eu en tout 146 échantillons prélevés dans la roche où s'est formé le cratère, soit un minimum de 1 460 analyses. Quant aux minéraux résultant de l'impact, ils représentent 196 échantillons (1 960 analyses au moins). D'où plus de 3 420 analyses, au total.

Les valeurs numériques ont été groupées pour en calculer les moyennes, pour chaque cratère et chaque type de roche impactée et métamorphisée par voie ignée. Les recherches ont porté surtout sur les plus grands cratères, parfois révélés d'abord par photo aérienne seulement. Par exemple celui de Sudbury, dans l'Ontario. Il semble avoir eu environ 100 km de diamètre ; les effondrements, l'érosion ont rendu incertains les contours, qu'on retrouve cependant de façon nettement visible sur

58 × 42 km, ce qui représente une superficie de terre remuée de plus de 2 milliards de mètres carrés. Celui de Manicouayan, dans le Québec, avec 61 à 65 km de diamètre a près de 4 milliards de m² de superficie. Celui de Charlevoix dans le Québec a 27 km de diamètre intérieur et 56 km pour le diamètre des terres déversées tout autour (la plupart de ces cratères, sur des centaines de mètres de sédiments, sont transformés en lacs de plusieurs centaines de mètres de profondeur). Plusieurs de ces cratères analysés dépassent 10, 20, 30 km de diamètre, donc des centaines de millions de m² de surface. A Brench (Ontario) un sondage, à 932 m, a montré que l'impact y avait laissé une trace ignée et métamorphisée de la roche. La profondeur du cratère est souvent de plusieurs centaines de mètres : plus de 400 m dans un « petit » cratère du Nouveau-Québec (Ungava Nord) pour un diamètre qui approche de 4 km. Celui de West Hawck (à cheval sur le Manitoba-Ontario), à peu près de même diamètre, a 200 m de profondeur ; il semble dater d'environ 150 millions d'années. Celui de Deep Bay (Saskatchewan) - vieux d'environ 100 millions d'années - avec plus de 4,5 km de diamètre a 240 m de profondeur. Et ce sont là de « petits » cratères devant les géants de plusieurs dizaines de kilomètres de diamètre qui, presque seuls, ont été analysés, à fin 1972.

Avec 2 milliards de m² de superficie, 500 m de profondeur, si l'on suppose un cône inversé, ou plutôt un tronc de cône, c'est encore environ mille milliards de tonnes de terre remuées. Nos bombes pour explosions atomiques souterraines ne font figure que de dérisoires « pétards » devant ces chutes de grosses météorites, catastrophiques pour le voisinage, mais heureusement très rares : une tous les 10 millions d'années ? Et peut-être que les plus grosses, susceptibles d'être captées par la Terre, sont maintenant tombées de sorte que nous n'en verrons plus ? Souhaitons-le. D'ailleurs, à cette cadence il est possible qu'il n'en est jamais tombé, de ces dimensions, depuis que l'homme existe (sauf en Russie, en 1908 ?)

Il ne saurait être question de reproduire ici les valeurs de toutes ces analyses, même groupées par moyennes, par cratère (on les trouvera dans la publication de G. Choubert). Je ne ferai état que des variations constatées dans les impactites, sans cependant citer les valeurs relevées pour le fer, le titane, le manganèse etc, pour me limiter à ce qui a été surtout étudié par ailleurs dans le présent livre.

Variation de Si → Al

Il est très caractéristique de constater que dans tous les cratères canadiens où ont été faits plusieurs analyses, en comparant les résultats obtenus sur 145 échantillons de la roche initiale avec les 196 de la « roche impactée », on trouve partout, sans exception, une baisse de la silice dans les roches altérées par l'impact de la météorite. Cette diminution de la

silice (la silice représente 65 à 70 % de la roche sur laquelle est tombée la météorite) a été, en moyenne sur l'ensemble, de près de 9 %.

En regard, nous notons une augmentation moyenne de l'alumine de 15 %, pour 107 des échantillons des pierres diverses métamorphisées par l'impact. Sur 89 échantillons on note, à l'inverse, une diminution de l'alumine, dont 43 pour un seul cratère où la roche percutée était fortement basique (avec des anorthites, charnockites etc). Il semble que le pH de la roche joue sur le sens de la variation de Al.

Variation de Ca → Mg

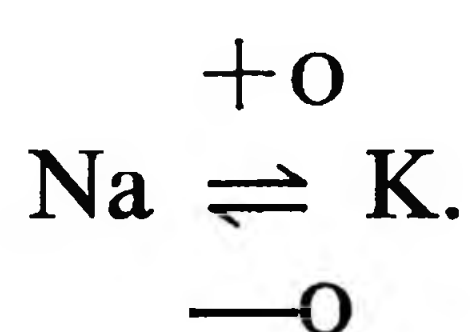
Dans ces cratères il y a eu une forte augmentation de Mg, puisque sur 190 échantillons dosés en Mg, il y en a 189 où une augmentation est constatée ; l'autre comporte une variation nulle ; il n'y a aucune diminution. En regroupant les moyennes par séries, sur 24 séries, il y en a 10 où l'augmentation moyenne dépasse 100 %.

En regard on note une diminution de CaO dans près de 50 % des cas (89 sur 196). Ce serait la variation ${}_{20}\text{Ca} - {}_8\text{O} ::= {}_{12}\text{Mg}$? Les augmentations constatées de CaO se sont produites surtout dans 3 cratères, sur roches basiques. Toutefois, dans certains cratères il y a augmentation à la fois de Ca et de Mg, ce qui implique une origine de Ca autre que Mg. (Nous avons vu que sur les grès des monuments, on a, en général, une augmentation de Ca en rapport avec une baisse de Si ; ce serait ${}_{14}\text{Si} + {}_6\text{C} ::= {}_{20}\text{Ca}$. Mais l'augmentation de Ca peut aussi venir de K ; c'est ${}_{19}\text{K} + {}_1\text{H} ::= {}_{20}\text{Ca}$ et nous allons voir qu'il y a dans certains cratères des diminutions de K.

Variations Na → K

Sur 196 échantillons, on n'en a trouvé que 21 où K diminue ; dans 8, pas de variation ; donc 167 sur 196 où il y a une augmentation de K, de 51 % en moyenne. Les échantillons comportant une baisse de K viennent des cratères dans les roches basiques.

En regard, Na diminue d'une façon générale : il y a 25 échantillons où il ne varie pas et 45 où il augmente, donc 126 où il diminue. Les augmentations proviennent surtout d'un cratère dans une roche basique : 34 échantillons et en outre 7 de variation nulle, sur le total de 8 nulles. En regard, dans ces mêmes échantillons, il y a diminution de K, de sorte que dans ce cratère on observe la réaction ${}_{19}\text{K} - {}_8\text{O} ::= {}_{11}\text{Na}$, alors que presque partout ailleurs on a ${}_{11}\text{Na} + {}_8\text{O} ::= {}_{19}\text{K}$ et l'ensemble peut se résumer par



A titre d'exemple citons les moyennes des variations sur des échantillons du cratère de Charlevoix, valeurs en pourcentages, (analyses de Roudot) :

SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	FeO + Fe ₂ O ₃
Dans la roche du cratère, moyenne de 11 analyses :						
64,70	14,48	1,08	3,88	3,48	4,11	6,10

Dans des impactites ignées,
moyennes de 3 analyses

62,70	16,0	2,0	2,40	2,5	5,1	6,48
— 3,0	+ 2,52	+ 0,92	— 1,48	— 0,98	+ 0,99	+ 0,38

d'où une variation % de

— 4	+ 12	+ 85	— 38	— 27	+ 24	+ 6
-----	------	------	------	------	------	-----

L'étude critique sur plus de 3 000 analyses montre ainsi à l'évidence une variation de la composition des roches lors de l'impact d'une grosse météorite et elle ne saurait s'expliquer que par une transmutation, la baisse d'un élément étant compensée par l'augmentation d'un autre (hasard peut-être, étant donné le petit nombre d'impactites dosées, on voit qu'il y a, dans le cratère ci-dessus, compensation entre la diminution de Na et l'augmentation de K : — 0,98 et + 0,99).

Pour montrer l'inversion du sens des réactions entre le Na et K selon le pH des roches encaissantes, voici un tableau où ces roches sont classées en basiques et acides.

Cratères météoritiques du Canada.

Cratères basiques : 2, 3 et 9	Nomb. d'éch.	FeO + Fe ₂ O ₃	Si O ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Roches de cratères (moyenn.)	59	5,07	62,74	16,88	1,47	4,26	3,38	3,96
Impactites totales (moyenn.)	60	6,30	55,90	18,35	3,07	3,74	3,71	2,89
Différences		+ 1,23	— 6,84	+ 1,47	+ 1,60	— 0,52	+ 0,38	— 1,13
Variation pour cent		+ 24 %	— 11 %	+ 9 %	+ 109 %	— 13	+ 11	— 28
Cratères acides : 4, 5, 6, 8, 17								
Roches de cratères	80	4,8	65,43	16,38	1,51	3,84	3,57	3,56
Impactites totales	95	5,41	60,59	17,12	2,40	2,68	2,14	5,45
Différences		+ 0,57	— 4,85	+ 0,74	+ 0,89	1,16	— 1,43	+ 1,89
Variation pour cent		+ 11 %	— 7	+ 4,5	+ 58	30	— 40	+ 53

Etude de G. Choubert

A partir des mêmes valeurs que j'ai utilisées et qu'il m'avait communiquées pour un premier dégrossissage et une critique, G. Choubert a établi un grand tableau détaillé qui sera reproduit, après réduction photo-

graphique, dans le Bulletin du Service Géologique du Maroc. Ce tableau constitue un document de grande valeur devant le grand nombre d'analyses qui y sont regroupées. Il met en évidence des variations considérables. Il faudra bien que les classiques trouvent une explication selon leur concept et ils ne l'ont pas fait jusqu'à présent, car c'est inexplicable par leurs lois. Comment justifier par exemple les augmentations du magnésium ci-après ?

Dans le cratère de Sudbury (Ontario) l'analyse moyenne de 34 échantillons d'impactites donne une augmentation de Mg de 136 %. Dans le cratère de Mandeuagan (Québec) moyenne de 6 échantillons de pseudotachylites, Mg augmente de 198 % : même cratère, moyenne de 37 analyses d'impactites, l'augmentation de Mg est de 100 %. Au cratère de Charlevoix (Québec) Mg augmente de 100 % dans des impactites siliceuses et de 85 % dans des impactites ignées. Au Mistalin Lake (Labrador) c'est une augmentation de Mg de 119 % aussi bien dans des impactites vitreuses que dans des brèches ignées. Au Carswell (Saskatchewan) c'est 200 % d'augmentation pour Mg dans des impactites vitreuses et 163 % dans les brèches ignées. Je ne puis tout citer. On a même trouvé au Brent (Ontario) à 952 m de profondeur une brèche ignée accusant une augmentation de Mg de 320 %.

On trouve des augmentations importantes de K_2O ; au cratère de Brent, selon les catégories d'impactites, il y a 124 % ; 111 % ; 87 % ; 78 %. Au Steen River (Alberta) 92 %. A l'East-Clearwater (Québec) 90 % etc.

Commentaires complémentaires

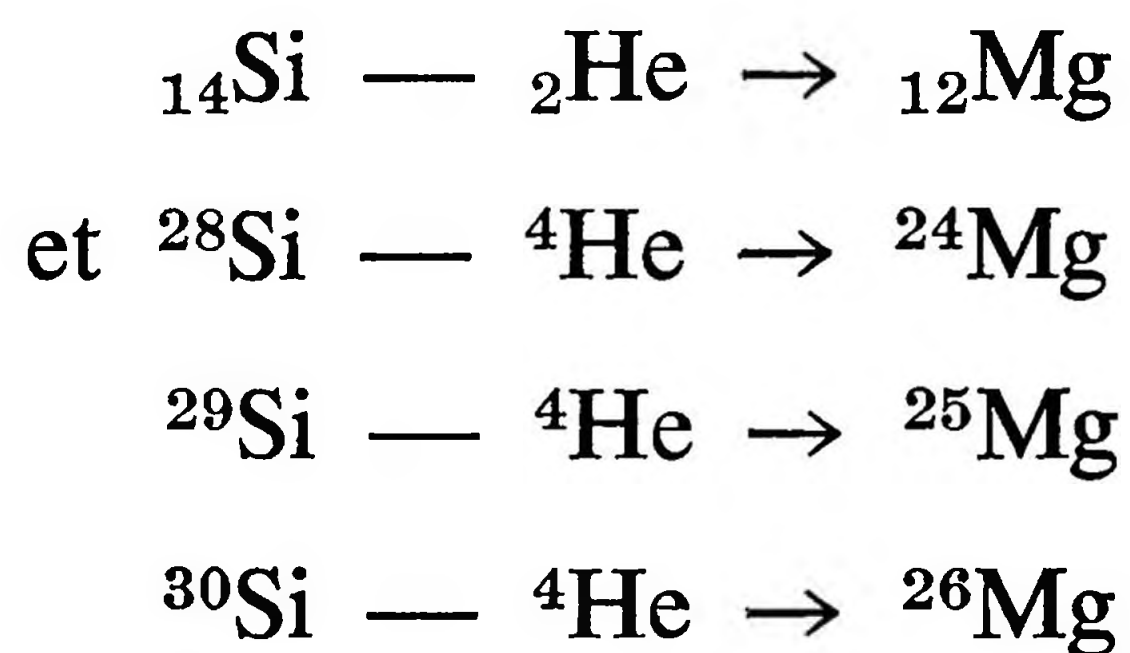
J'ai mis en évidence ces variations totalement en dehors d'une erreur opératoire et j'ai regroupé ces données en divers tableaux que j'ai transmis à G. Choubert ; je ne sais l'usage qu'il en fera. Il ne m'est pas possible de reproduire ici toutes les données numériques sur ce sujet, car ce n'est pour moi qu'un chapitre dans un ensemble, et j'ai voulu en montrer l'essentiel. Par contre G. Choubert va procéder à une publication importante, car je crois qu'il prévoit environ 70 pages au Bulletin du Service Géographique du Maroc et cette étude devrait paraître en 1973, au plus tard début 1974. Au moment où j'écris ces lignes, je n'ai pas eu connaissance du texte préparé par G. Choubert, mais certainement il présentera les différents aspects géologiques d'un tel phénomène qui a si longtemps divisé les géologues. Tous les spécialistes que le problème intéresse se reporteront à cette publication qui suivra probablement de quelques mois seulement la sortie du présent livre.

On peut essayer d'évaluer par le calcul l'énergie dissipée par l'impact sur la Terre d'une telle masse qui arrive avec une vitesse qu'on estime (très élastiquement...) entre 50 000 et 250 000 km/h. Quoi qu'il en soit on aboutit à des énergies énormes. Si bien que des physiciens déclarent : rien d'étonnant qu'il y ait des transmutations, qu'on ne peut nier, devant l'éloquence des chiffres cités plus haut : 100 % de cas de variations de la silice, plus de 99 % de cas de variation de MgO. Si cela n'est pas étonnant pour eux c'est que les énergies ainsi calculées peuvent représenter des millions de fois celles de nos bombes atomiques. Mais une telle vue superficielle oublie que cette énorme énergie est répartie sur des centaines de milliards de tonnes de matière, des milliers de milliards pour les plus grands, alors que la bombe atomique ne représente que quelques kilogrammes de matière fissile : la densité énergétique n'est pas à la même échelle, et de loin. C'est pourquoi on peut ranger ces transmutations météoritiques dans la catégorie des transmutations à faible énergie massique, la faible énergie étant appliquée à chaque atome bien entendu.

Il y a une autre raison, montrant qu'il ne s'agit nullement des transmutations de la physique nucléaire classique. Celle-ci ne sait d'ailleurs pas réaliser toutes ces transmutations (fusion avec l'oxygène par exemple) et toutes celles qu'elle réalise sont radioactives, du fait même des procédés qu'elle utilise (nous le reverrons dans la partie suivante). Or jamais il n'a été trouvé de radioactivité induite dans ces cratères, ni de traces de fissions radioactives ; si la radioactivité primitivement induite avait disparu, on trouverait les « descendants ». Tous les géologues consultés sont unanimes pour dire qu'il n'y a aucune radioactivité autre que celle des roches naturelles, ni de trace qu'il y ait eu autrefois une radioactivité provoquée. Il s'agit donc bien des transmutations correspondant à « l'effet Kervran », qui sont non-radioactives, nous verrons pourquoi. Il ne peut en aucun cas être tenté une explication par la physique nucléaire classique. Les géologues en sont tous conscients, d'où leur intérêt pour de telles études qui, amorcées par G. Choubert, se répandent maintenant dans tous les pays où de tels cratères ont été trouvés : les « pluies » ou les « gerbes » de tectites et d'impactites observées en quelques points du globe ne sont nullement des « pierres » vitreuses tombées du ciel ; elles ont été formées de façon endogène dans et par la roche ayant reçu une grosse météorite. Les années à venir compléteront certainement l'inventaire de telles analyses. L'explication de G. Choubert est de 1971 ; c'est en 1971 et 1972 que le Canada a procédé aux analyses discutées précédemment ; d'autres cratères suivront là-bas, et dans d'autres pays. Cette page de la géologie qui a divisé les géologues pendant des années sur l'origine des tectites est maintenant tournée.

NOTA - On remarquera que la correspondance quantitative entre la baisse de Si et l'augmentation de Al n'est pas toujours parfaite ; de plus

elle ne peut jouer que sur un des isotopes de Si puisque Al n'a qu'un seul isotope stable. Il y a donc lieu de supposer que la variation de Si est liée aussi à la variation d'un autre élément et il est probable qu'il s'agit de Mg : autrement dit l'augmentation de Mg pourrait provenir, en partie, de la diminution de Si. Il s'agit là d'un type de réaction que nous n'avons pas rencontré en biologie, mais qui se produit sous l'effet de hautes pressions accompagnées d'une température élevée. Il s'agit d'une réaction avec perte d'une particule α . Nous la retrouverons dans un chapitre plus loin, à propos d'une expérience de laboratoire ou nous avons montré qu'elle existe bien. Ce qui lui donne une grande chance de probabilité, tant qu'elle n'aura pas été reproduite, c'est qu'elle est valable pour tous les isotopes stables des deux éléments Si et Mg. On a :



Dès lors, on peut se poser la question : Si se serait formé au refroidissement de la croûte terrestre, donnant, par perte d'un proton, Al (le Sial) ? Tandis que, plus en profondeur, sous plus forte pression et plus haute température, il aurait perdu un α pour donner Mg (Sima) ? Al et Si pouvaient dès lors ne pas exister lorsque la masse qui a donné la Terre était encore liquide ? Nous avons émis l'hypothèse que Si non plus ne pré-existait pas : il aurait pu se former à partir de N_2 , les deux isotopes stables de N donnant les isotopes stables de Si : ${}^{14}\text{N} + {}^{14}\text{N}$, ou ${}^{14}\text{N} + {}^{15}\text{N}$, ou ${}^{15}\text{N} + {}^{15}\text{N}$. A l'état gazeux il y avait N_2 , pas Si, ni Al, ni Mg ?

RECHERCHES EN RUSSIE

Plusieurs de mes ouvrages furent traduits en Russie et diffusés à un petit nombre d'exemplaires, dans les principales bibliothèques. Je ne l'ai su qu'assez longtemps après car la Russie n'admet pas les droits d'auteurs et ne prévient ni ces derniers, ni les éditeurs des reproductions d'ouvrages.

Cela me valut des lettres de divers scientifiques de l'U.R.R.S. : Dubrov, de l'Acad. des Sc. de Moscou s'intéressait aux influences cosmiques (variations du champ magnétique terrestre par exemple) sur les phénomènes biologiques ; il me faisait part de ses recherches sur des animaux et me demandait s'il y avait aussi une influence sur les transmutations biologiques, en fonction de l'orientation des cultures le long de la composante horizontale du champ magnétique terrestre. Kafanov de l'Institut de Biologie marine de Vladivostock me posait d'autres questions. Mais c'est surtout avec V.B. Neiman, secrétaire scientifique des Sciences Naturelles Cosmiques, section géologie et de la Société d'Astronomie et de Géodésie que s'engageait un grand échange de correspondance. Il publia début 1971 un ouvrage collectif qu'il intitula « Problèmes de Transmutations dans la Nature-Concentration et Dispersion », ouvrage qu'il m'annonça en 1970 et il me le fit parvenir dès son édition. C'est un recueil de textes traitant de contradictions entre la science classique et divers aspects de la géophysique, de la cosmogénèse, de la physique.

Une partie retenait spécialement mon attention : la Section II-Application à la Géologie par P.A. KorolKov (ou Korolkoff), professeur à Sverdlovsk. Il y développe une série d'observations faites sur la structure stratigraphique exceptionnellement nette et étendue du bassin de Verhnekamsk. Des figures montrent l'alternance des couches de chlorure de sodium, de chlorure de magnésium, de chlorure de potassium (comme dans tous les gisements dits « de potasse », ce dernier produit étant le plus important sur le plan économique). Dès mon premier ouvrage en 1962 j'avais signalé que de tels gisements ne pouvaient s'expliquer que par le

passage de Na à Mg (avec $+ H^+$) et à K (avec $+ O$). Dans le présent ouvrage je n'ai guère fait état de l'ensemble des recherches dans ce domaine et c'est pourquoi je ne détaillerai pas ici les observations de Korolkov. Je les mentionne seulement, comme une convergence de plus à ce que j'ai écrit par ailleurs, en rappelant aussi les nouvelles confirmations de passage de Na à K (ou l'inverse selon le pH des roches) dans les analyses faites sur les impactites au Canada.

Mais il est une partie importante de la section qu'il a traitée dans le livre qu'a fait éditer Neiman, c'est le passage de Si à Al, que je citerai plus longuement pour apporter une convergence de plus aux faits déjà mentionnés dans le présent ouvrage. Neiman certes les évoque aussi et on retrouve dans les textes qu'il a lui-même rédigés (sans me citer) les formules que j'ai diffusées plus de 10 ans plus tôt (1960) comme $2. {}^{14}_7N \rightarrow {}^{28}_{14}Si$. Korolkov développe le passage de Si à Al dans son chapitre « Métamorphismes spontanés des minéraux et des roches ». Pour lui il n'y a pas d'éléments stables. Ceux que nous classons comme stables auraient en fait une période très longue, donnée par une table des éléments (calculée, je ne sais sur quelles bases). Les trois plus stables seraient H, O et Si = 2.10^{15} années. Cette table ne figure pas dans le livre de Neiman ; Korolkoff me l'a fait parvenir en 1972, ainsi qu'un texte (qu'il appelle « thèse ») sur ses conceptions de ces « métamorphismes spontanés ». Il n'y a aucune raison de rejeter a priori un tel concept : ne vient-on pas de constater que dans certaines conditions des atomes d'un isotope stable du plomb se scindent en deux parties égales, spontanément, pour donner deux

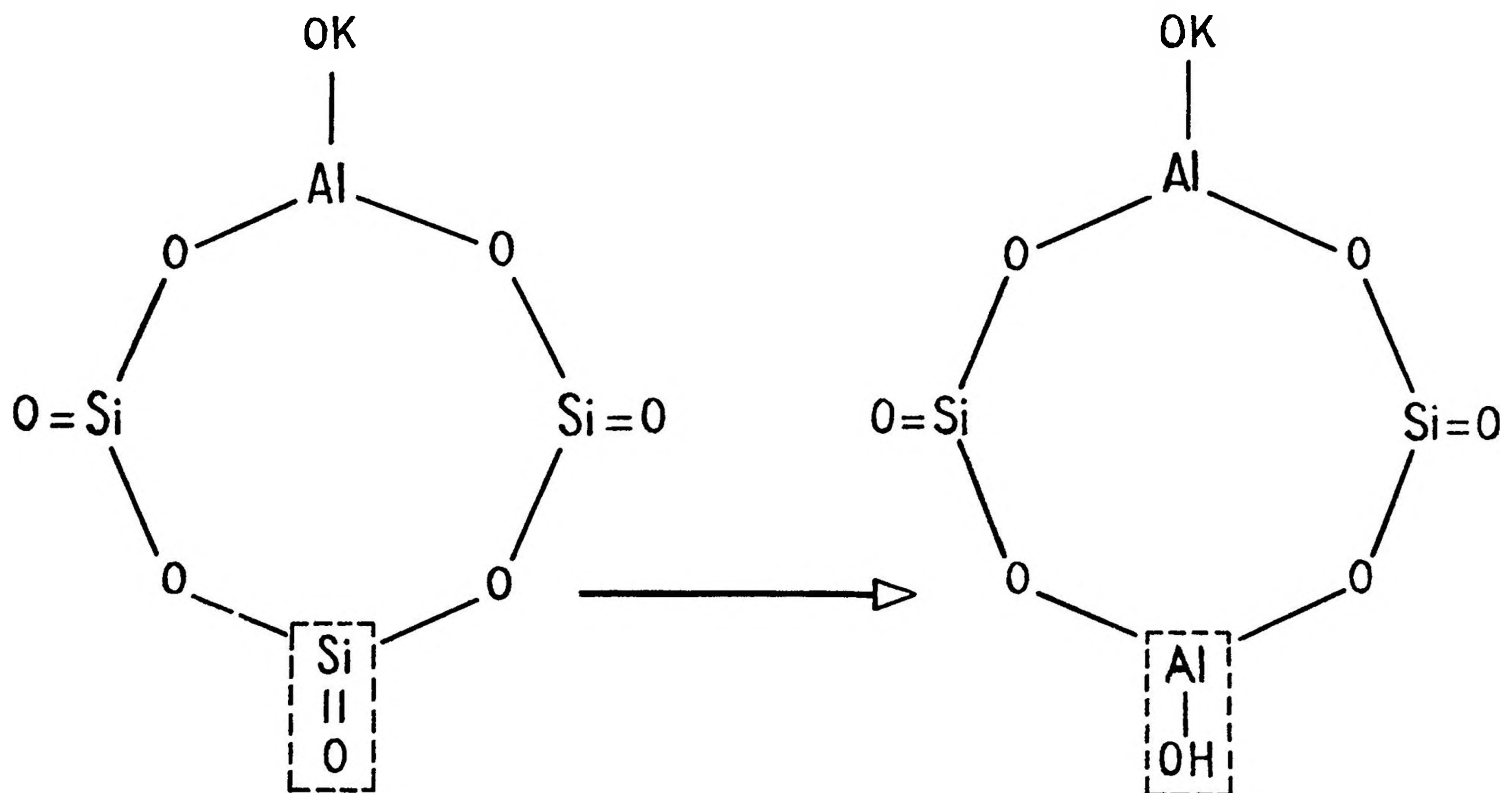


FIG. 9 - Passage de l'orthose à la muscovite
 Dans l'encadré de gauche, Si disparaît pour être remplacé par Al + H dans
 l'encadré de droite

(d'après P.A. Korolkov).

chrome ne pouvait venir que du fer de la chromite. Je rappelais que p. 63 de mon ouvrage de 1963 (1^{re} édit. de Transmut. Nat.), à propos du chrome, j'écrivais que « presque tous les gisements exploités ont entre 10 et 25 % de MgO et 15 à 30 % de FeO + Fe₂O₃ ».

Dans l'olivine proprement dite, il y a, en parties égales, de la forstérite Mg₂ (SiO₄) et de la fayalite Fe₂ (SiO₄).

La question que s'est posée Korolkov se résume en gros à : comment la chromite Fe, Cr₂ O₄ peut-elle naître dans l'olivine qui ne contient pas Cr ? Il envisage diverses transformations à partir de ces formules, mais aucune ne lui donne entière satisfaction. Nous verrons plus loin que c'est seul Fe qui peut donner Cr. En citant cet exemple, nous avons seulement voulu montrer qu'en Russie ces problèmes trouvent des échos favorables, des appuis, des confirmations. D'où, en 1971, le Congrès International de Géochimie dont j'ai donné un condensé en ce qui concerne l'exposé de G. Choubert. Un congrès de géophysique est prévu vers la fin de 1973. J'ai accepté l'invitation des Russes et ai fait parvenir le résumé de l'exposé que je pense y faire.

RECHERCHES AUX U.S.A. PAR SYNTHÈSE, SUR LE METAMORPHISME DE MINÉRAUX

1) Généralités sur des synthèses de roches silicatées

Nous avons vu que des synthèses de grenats ont été effectuées dès les premières années du XIX^e siècle, travaux répétés et diversifiés tout au long du siècle dernier. Au XX^e siècle il en a été de même.

On n'ignore pas non plus le suprême dédain de la plupart des scientifiques pour les travaux de leurs prédécesseurs : ils sont les seuls intelligents, ceux qui nous ont précédé n'ont rien produit de valable. Ou bien, par compassion, on leur accorde qu'ils n'avaient pas nos moyens actuels de travail, et l'on écarte froidement tout ce qui a plus de 10 ans. Il est de bon ton de ne donner aucune référence autre que ce qui a moins de 10 ans. Triste présomption humaine qui fait que l'on passe sous silence deux siècles de travaux convergents et positifs, qu'on ignore, faute de références, ce qui a déjà été obtenu, et qu'on recommence sans cesse dans les mêmes voies, pour ne rien découvrir de nouveau, ou si peu. Si bien que, les statistiques sont d'accord (mais leurs bases de départ ne sont-elles pas faussées ?) : 80 à 85 % des scientifiques sont des inutiles, des parasites du peuple car ils passent leur vie sans rien trouver de nouveau ; ils sont payés par le contribuable pour user leur temps, au détriment de ceux qui produisent. C'est à nuancer bien sûr, et je l'ai fait par ailleurs.

J'ai montré (tome I) que des analyses faites par Vauquelin sur la teneur en CaO de l'avoine à la fin du XVIII^e siècle étaient assez précises pour ne pas dépasser la dispersion des analyses actuelles, faites avec des méthodes différentes et par nos appareils de physique les plus à la mode à ce jour. Disons que nos méthodes actuelles sont plus commodes, à la portée de n'importe quel laborantin entraîné, qu'on a parfois réduit au rôle de manœuvre spécialisé sur un appareil automatique. Mais au fond ces méthodes ne sont pas toujours tellement plus précises qu'il y a 200 ans lorsqu'un grand maître faisait lui-même l'analyse. Certes il y a eu des

progrès et pour certains éléments il faut bien reconnaître que même depuis 50 ans il a été possible de faire des analyses assez fines, plus spécifiques que ce que nous avons connu dans notre jeunesse ; mais ce n'est pas une raison pour ignorer volontairement ce qui a été fait il y a plus de dix ans, avec d'autres moyens, beaucoup plus de mal peut-être, mais qui reste très valable dans son ensemble, et il est impossible d'écarter dédaigneusement d'un revers de main tout ce qui a été fait avant nous.

C'est cependant ce qu'on fait encore, très souvent et nous trouvons des travaux très récents, de 1971, sur le métamorphisme des minéraux où aucune référence ne va au-delà de 1957, comme si cette synthèse de minéraux avait commencé cette année-là.

Les conditions ont changé depuis le début du XIX^e siècle. Les progrès de la métallurgie permettent maintenant de construire des presses pouvant donner des dizaines de kilobars, alors qu'au siècle dernier il était rare d'atteindre quelques hectobars. Mais cela n'enlève rien à la valeur de ce qui a été accumulé depuis le début du XIX^e siècle ; nous avons seulement acquis de nouvelles connaissances, s'ajoutant aux précédentes, mais ne les détruisant pas, et les premières synthèses de roches silicatées remontent au début du XIX^e siècle.

Une synthèse des roches silicatées, selon une nouvelle technique, a été présentée par A. Michel-Lévy et J. Wyart (Reproduc. artific. de minér. silic. à haute pression - Mém. Soc. Géol. de France t. XXVI - fasc. 5 - n° 55 - p. 1-36 - 1947). En 1959, Wyart réalise une synthèse du granite. Puis Wyart et Sabatier en France, Winkler en Allemagne (c'est surtout Winkler qui a étudié ce problème en détail - se reporter à Transmut. à faible énergie - 1972) étendent cette étude. Des communications furent faites en France à l'Acad. des Sc.. J'apprenais par un ami, directeur d'un Collège d'Enseignement Secondaire du Sud-Est, la sortie, à Gap en 1966, d'une traduction française de l'ouvrage de 1965 de Winkler. J'allais en prendre connaissance à la bibliothèque du Bureau des Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.) qui venait de le recevoir. Il m'intéressait parce que j'y voyais une possibilité d'étudier en laboratoire de physique, de façon plus précise, le problème de la granitisation évoqué par G. Choubert, problème que je citais dans mon livre de 1963, préfacé par le géologue Jean Lombard. Et surtout, peut-être, une possibilité de recherches, par des voies purement physiques, des transmutations selon le processus mis en évidence par des observations en biologie. Mais si, même à une échelle différente d'énergie, il était possible de reproduire des transmutations en ne mettant en jeu que deux paramètres : température et pression, l'étude du mécanisme, au sein du noyau de l'atome, devenait plus facile que par la biologie, trop complexe pour séparer les causes, puisque si l'on sépare les causes, on n'a plus la vie, donc le mécanisme biologique. Car on se trouverait là dans un domaine expérimental totalement différent

de celui de la physique nucléaire classique, terriblement conservatrice, incapable de s'évader d'un chemin tracé depuis 1919, celui du bombardement des noyaux par des particules de plus en plus énergétiques : on a perfectionné les appareils, le détail, mais on a « oublié » de revoir le fond de la question : n'y a-t-il qu'une seule voie, montrée en 1919 par Rutherford, et pourquoi serait-ce la seule ?

Je me renseignais pour savoir quels étaient en France les matériels dont nous disposions. Au téléphone Wyart me confiait qu'il faisait très peu d'expériences car lorsqu'il lui fallait une presse disponible il lui fallait aller à l'étranger, pour les recherches qui l'intéressaient. Les rares matériels de France étaient pris par des programmes fixés par le Centre National de la Recherche Scientifique. Je prenais contact avec le laboratoire du C.N.R.S. spécialisé dans les Hautes Pressions, installé à Bellevue-Meudon, connaissant certains travaux de son directeur B. Vodar et de son directeur-adjoint J. Romond qui avaient fait une publication condensée des résultats de leurs recherches dans les numéros de janvier et de mars 1971 de la revue « Sciences », mais orientées surtout sur les effets physiques des hautes pressions sur les corps solides, non sur les roches métamorphiques. Leurs collaborateurs, comme Lacam, d'autres comme Coulomb, Velde etc. s'intéressaient aussi à ces nouvelles techniques. Je pus ainsi voir de quels matériels disposait ce laboratoire.

Le fichier de ce laboratoire (bibliographique) me fit trouver une référence qui retint particulièrement mon attention. C'était « Studies on Anorthite + Diopside₅₀ — Hedenbergite₅₀ at High Pressures et Temperatures » par Jagannadhan Akella et George Kennedy, de l'Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California-Los Angeles ; publication 852 de cet institut ; elle avait été publiée par American Journal of Sciences, vol. 270, February 1971, pp. 155-165. Je me procurais cette publication et pris contact par lettres avec J. Akella, car il apparaissait que le travail avait été effectué par Akella, du Geophysical Laboratory of the Carnegie Institution, Washington et que G. Kennedy était une « couverture », le « grand patron » de ce genre de recherches aux U.S.A., une caution. Un échange de correspondance avec Akella me permit d'avoir des détails complémentaires, et de préciser certains points sur ses recherches, son matériel.

Mais voyons d'abord quelques recherches antérieures faites aux Etats-Unis d'Amérique, le travail d'Akella n'étant pas un point de départ.

2) Augmentation du rapport Ca/Mg dans la synthèse de quelques roches métamorphiques

En 1965 Mc Gregor étudie la synthèse d'un mélange de MgO-CaO-Al₂O₃-SiO₂. Il observe une augmentation du rapport Ca/Mg à mesure

qu'augmente la pression, la température étant maintenue constante. D'où vient cette augmentation de Ca par rapport à Mg ? Aucune hypothèse n'est émise, mais le fait demande vérification.

En 1967, Green confirme cette augmentation de Ca/Mg en fonction de l'augmentation de la pression. Il opérait sur un mélange de 2 parties d'anorthite + 1 de forstérite. Il précise qu'il évalue l'augmentation de Ca en fonction de l'augmentation constatée de grossulaire, qui est un grenat calcique. Or à 16,9 kilobars il trouve 23 % de grossulaire tandis qu'il en trouve 51 % à 36 kb ; passer de 23 à 51 est une augmentation de 117 %, ce qui est important et semble hors de toute possibilité d'erreur.

De nombreuses recherches ont été faites par d'autres. Tel Boyd F.R. du même institut qu'Akella. Il a étudié un autre grenat, le pyrope (grenat magnésien) en 1959, tandis qu'en 1970 il étudie le « System Ca-SiO₃, Mg SiO₃, Al₂O₃ ». G. Kennedy, seul ou avec coll. étudie l'anorthite, l'albite, des basaltes etc de 1967 à 1970. Akella et Kennedy donnent une première étude sur « Anorthite + Diopside » dans *Americ. Mineral.* - vol 53 - Nov. - Dec. 1968.

Nous n'avons, à ce jour, aucune indication sur les recherches faites en France. Nous savons cependant que Lacam, en 1972 a fait des travaux de synthèse en vue de reproduire des minéraux métamorphiques en partant des composants purs, mais, je crois, ses résultats n'ont pas encore été publiés.

Les recherches d'Akella

Akella est parti de produits purs pour obtenir par synthèse les composants, en quelque sorte primaires, d'un grenat. Il prend 50 moles d'anorthite de synthèse ; le reste est, par moitié, constitué de diopside et d'hédenbergite (formule globale (Ca-Fe) SiO₃). Cette préparation de synthèse est faite selon une méthode décrite par Schairer en 1959. Il a ainsi un mélange qui correspond à un grenat avec 66 % de grossulaire, 17 % d'almandine (ou almandin) et 17 % de pyrope le tout dans du quartz, comme fondant, comme « verre ».

Il a effectué un très grand nombre d'expériences à des températures et des pressions diverses. Au refroidissement les cristaux de grenat qui se forment au sein de la masse du pyroxène ainsi obtenu sont observés, au microscope, uniquement pour identifier la formation de grenats. Il a publié un tableau de plus de 50 résultats, d'où il tire un diagramme. Il a pu aller jusqu'un peu au-delà de 1 500°C et 50 kb. Ces valeurs ont pu être tenues pendant des durées assez longues, malgré ces conditions sévères : par exemple 45 minutes à 1 560°C et 40 kb ; 300 mn à 1 100°C et 50 kb. Nous n'avons pas, en France, de tels matériels. Mais ces hautes perfor-

mances ne sont obtenues aux U.S.A. que sur des presses de très faible capacité. Par lettre, Akella m'a précisé qu'il ne pouvait pas dépasser 30 mg de matière par opération.

De plus, il obtient, au refroidissement, des cristaux de grenat dont les dimensions sont de 5 à 10 microns. Par une nouvelle fusion il les porte de 20 à 30 microns. Ils ne sont observables qu'au microscope, dans la masse de pyroxène et de quartz fondus. Leur composition est étudiée par des méthodes optiques. Ou plutôt on détermine la composition par une mesure de l'indice de réfraction et la mesure des dimensions de la maille cristalline. Par comparaison des diffractogrammes avec des diagrammes établis par Winchells on calcule alors, sur une surface donnée, le nombre de cristaux de grossulaire, almandin et de pyrope identifiés par les méthodes optiques. On a ainsi, avec les réserves que comportent de telles numérations, un pourcentage de chacun de ces composants des grenats. Voici les déterminations quantitatives citées par Akella :

Pression (kb)	Composition, moles %		
	Gr	Py	Alm
29,2	65	8	27
27,5	62	10	28
25,5	50	14	38
22,0	38	20	42
19,5	35	18	47

Gr est la grossulaire

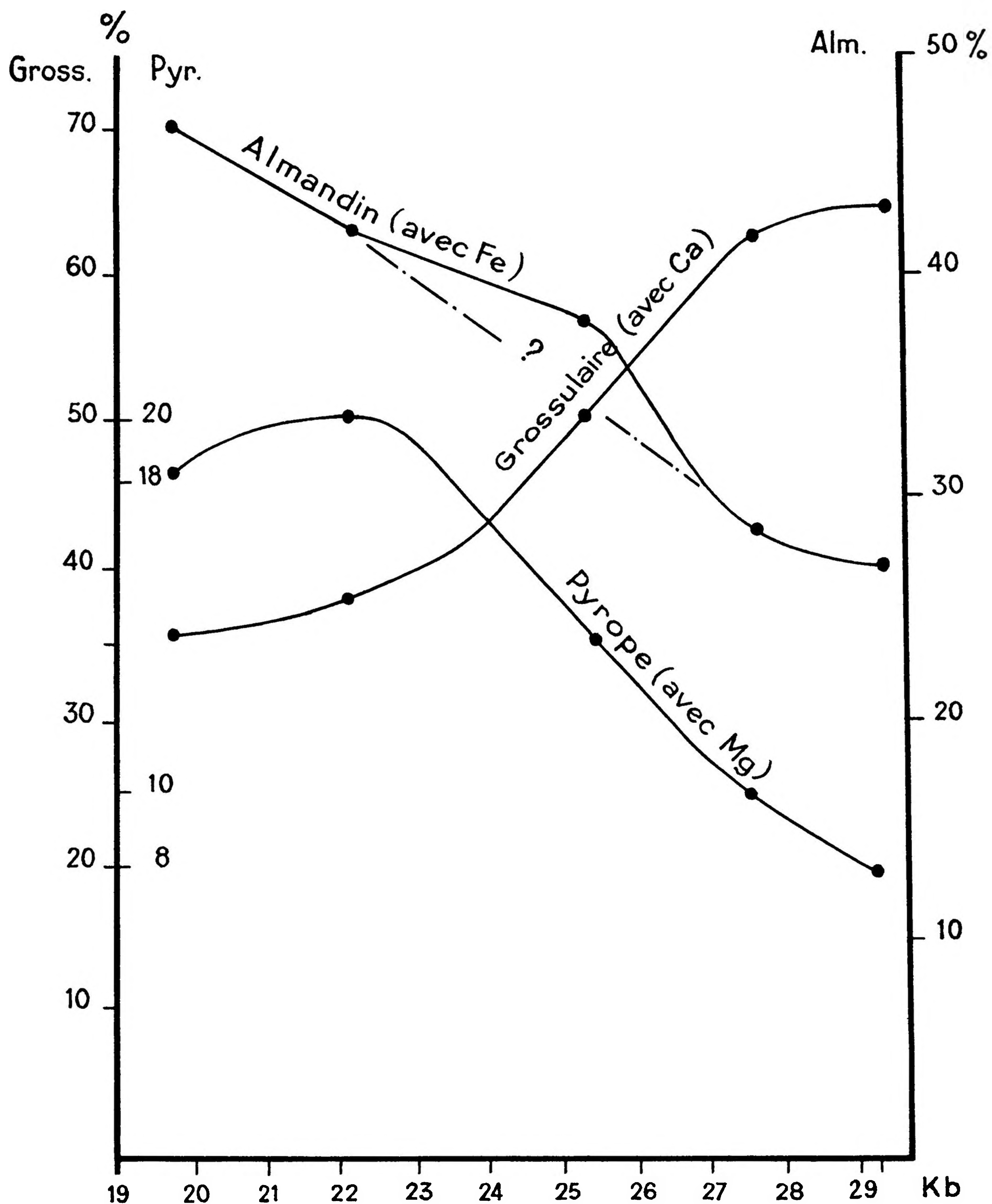
Py est le pyrope

Alm est l'almandin

Il m'a paru intéressant de regrouper ces résultats sous forme de graphique (fig. 10).

Akella tire seulement la conclusion que ces trois composants varient. Il n'insiste pas. Calculons cependant que la grossulaire passe de 35 à 65 ; c'est 85 % de plus. Le pyrope va à 20, pour descendre à 8, c'est dire qu'à 22 kb il était 150 % plus élevé qu'à 29,2. De même l'almandin était, au départ, plus élevé de 74 % qu'en fin d'expérience. Il s'agit donc de grandes variations. Mais, il me l'a confirmé par lettre, il lui est impossible d'en déduire que de la variation de ce rapport Gr/Py résulte une variation de Ca/Mg. En effet, ces cristaux se forment au sein du pyroxène + quartz. Or le pyroxène est un produit complexe dont la formule brute globale peut s'écrire (Ca-Mg-Fe) SiO₃, formule approximative. C'est dire qu'il contient toujours Ca, Mg et Fe en proportions variables. Il est donc

impossible, dans une telle méthode, de dire si le grenat se « nourrit », se forme au détriment du pyroxène et y puise le calcium nécessaire à sa croissance. Akella a pensé à l'anorthite, dont une formule globale pourrait s'écrire $\text{Ca Si}_2 \text{Al}_2\text{O}_8$, anorthite qui disparaît et cèderait ainsi son Ca à la grossulaire qui se forme, et il le dit : « The most significant trend, however, is the steadily increasing amount of grossularite in the garnet.



(d'après un tableau de J.Akella)

FIG. 10 - Variation des composants d'un grenat soumis, à 1 200° C, à des pressions passant de 19,5 à 29,2 kilobars.

This, of course, is because of the breakdown of anorthite at successively higher pressures ».

Pour ma part, je ne puis accepter cette hypothèse comme entièrement valable. En effet, d'après le tableau publié par Akella sur ses recherches préliminaires, utilisées pour construire son diagramme des points d'eutectie, il ne peut plus y avoir d'anorthite au-dessus de 25 kb, cela quelle que soit la température. Ainsi il n'est plus possible d'accepter l'hypothèse de l'existence d'anorthite au-dessus de 25 kb, à 1 200°C, qui est la température constante à laquelle ont été faites les expériences dont les valeurs numériques ont été données ci-dessus. Aux stades de 25,5-27,5 et 29,2 kb du tableau précédent il n'y a plus d'anorthite et cependant la grossulaire augmente ; celle-ci ne peut se former au détriment du Ca d'un corps qui n'existe plus. Peut-on penser alors à un prélèvement dans le pyroxène ? Akella ne le dit pas, car il précise que le pyroxène est stable à ces températures et pressions ; il ne se décompose pas, ne peut donc rien céder. Il y a un autre aspect, passé sous silence, car Akella ne fait de remarque que pour la grossulaire : il y a la diminution du pyrope, très forte. Si le pyrope disparaît, où passe le Mg qui le compose ? Il ne peut passer dans les autres composants du grenat car ce ne serait plus de la grossulaire, ni de l'almandin et l'identification optique le montrerait. Passe-t-il dans le pyroxène ? Difficile à admettre aussi, puisque le clino-pyroxène est stable. De quelque façon qu'on retourne le problème, il n'y a pas de solution aux questions que je pose. On voit ainsi combien cette intéressante expérience d'Akella soulève de problèmes non résolus, surtout dans cette optique de l'apparition et de la disparition des éléments. Nous allons voir comment nous avons opéré.

DEUXIEME PARTIE

NOS RECHERCHES, PAR VOIE PHYSIQUE

UNE REACTION NOUVELLE POUR LA PHYSIQUE NUCLEAIRE

A — RECHERCHE DE BASE

Afin de suivre le cheminement de pensée qui m'a suggéré l'expérience décrite dans le présent chapitre, voici le calendrier de son déroulement.

1) Un peu de chronologie

En 1963, je consacrais la plus grande partie d'un ouvrage, préfacé par le géologue Jean Lombard, à des rapprochements de données sur des minéraux. En 1964, dans un nouveau livre, j'apportais quelques compléments, mais surtout je citais les observations et expériences conduites en biologie, plaçant celles-ci dans le cadre plus vaste des « transmutations à faible énergie ».

Car, à cette date, je ne pouvais que faire état d'un grand nombre d'observations convergentes en minéralogie, tandis qu'en biologie je disposais d'expériences systématiquement conduites en laboratoires. Même en 1968, dans un autre ouvrage, je réunissais les principales « Preuves » qui expliqueraient le principe d'une structure hétérogène de certains noyaux atomiques, principe que j'avais évoqué en 1959-1960 et qui me paraissait seul susceptible de permettre de comprendre le nouveau phénomène de transmutation qui apparaissait dans ces expériences.

Cependant, à cette époque j'avais déjà commencé à penser aux possibilités qu'offraient certaines techniques nouvelles de synthèse de quelques roches pour vérifier si des transmutations du type que j'avais observé en biologie n'étaient pas réalisables par des procédés uniquement physiques et simples. Ce qui m'avait alerté était la réussite de la synthèse du granite. J'avais eu connaissance des communications, assez brèves, des travaux effectués en France par Wyart, Sabatier, Michel-Lévy, notamment. Mais

c'est la lecture de l'ouvrage de Winkler, dès sa traduction et sa parution en France en 1966, qui retint particulièrement mon attention. Car il donnait les détails opératoires et je compris les insuffisances de toutes ces recherches, tout en reconnaissant leur grand intérêt. Dès 1967, j'estimais ainsi qu'il fallait repenser ces expériences de synthèse des roches et des minéraux.

Je prenais connaissance, plus tard, de la publication de G. Choubert dans un recueil de 1968 de l'UNESCO, sur la granitogenèse qu'il expliquait en faisant appel à mes formules (je ne fis la connaissance de ce géologue qu'en 1971).

La lecture du mémoire de G. Choubert, s'ajoutant aux réflexions que je m'étais faites à la lecture de l'ouvrage de Winkler, me renforça dans l'idée que j'entrevois de tenter, avec les matériels dont on disposait, de réaliser des métamorphismes de minéraux.

Mais il fallait opérer dans des conditions différentes de celles de tous ceux qui avaient procédé à la synthèse du granite. A mes yeux, ces expériences péchaient par un aspect. Les auteurs admettaient, comme parole d'évangile, ce qui est devenu un postulat dans tous les domaines pour quelques scientifiques : rien ne se perd, rien ne se crée... Vrai en chimie, pouvait-on encore l'admettre aveuglément en physique, sans vérification ? Nous savons depuis trois-quarts de siècle que ce n'est pas vrai en physique nucléaire ; mais *quid* dans d'autres branches de la physique ? Pour les auteurs des expériences antérieures la question de transmutation d'éléments n'avait pas effleuré l'esprit, de sorte qu'on ne l'avait pas recherchée. Cela va de soi, disait-on, ce qu'on a mis dans le creuset ne peut que s'y retrouver, rien n'étant entré ni sorti pendant la mise en pression à haute température. Du granite s'est formé ; la composition chimique de cette roche est différente de celle des matériaux soumis à une thermopression. Il y a donc eu, au refroidissement, des cristallisations préférentielles qui ont conduit, pour certains éléments, à un enrichissement dans le granite, aux dépens de la matière introduite, tandis qu'inversement d'autres éléments étaient en diminution dans le granite.

En bref, ce qui était en plus dans le granite, était en moins dans le « culot résiduel » et si l'analyse montrait qu'il s'agissait bien d'un granite, on avait jugé inutile de doser le résidu au sein duquel s'était formé le granite. Un simple calcul de différence permettait de le connaître. Telle est la position classique, encore chez quelques géologues. Cela était démenti par l'étude pertinente et serrée de G. Choubert. Il me semblait facile de départager ces auteurs. La nouvelle étude publiée par G. Choubert en 1970 me renforçait dans ma conviction que c'était lui qui avait raison. Ses arguments me paraissaient irréfutables, les arguments de la « vieille école » bien légers. Aussi dès la publication en novembre et décembre

1970 de l'étude de G. Choubert sur les granites du Brésil et que j'ai résumée précédemment, ma décision était prise : il fallait promouvoir une nouvelle expérience où tout serait dosé, granite et culot résiduel, afin de faire une balance de ce qui était introduit dans la thermopresse et ce qu'on y trouvait après thermopression. Je « ruminais » cette pensée début 1971 pour voir comment passer à une réalisation.

Il me fallait d'abord voir où m'adresser. Je pensais au C.N.R.S. (Centre National de la Recherche Scientifique) et me renseignais en mai 1971 près de M. Boris Vodar, directeur du laboratoire des Hautes Pressions de Bellevue-Meudon. Il me répondit en juin 1971. Ses laboratoires n'avaient pas de presse pour faire la synthèse du granite. Il me donnait les coordonnées des quelques chercheurs qui, en France, s'étaient occupés de ces problèmes des hautes pressions (une demi-douzaine).

Un rapide tour d'horizon près de ces chercheurs conduisit plusieurs à se récuser, car ce que j'eus aimé faire était trop éloigné de leurs préoccupations et bientôt il ne restait plus que deux, trois peut-être, à ne pas m'éconduire.

Je trouvais le meilleur accueil près du Professeur Wyart, de la fac. des Sc. Paris VI, un pionnier, puisque sa première communication sur la synthèse de silicates remonte à 1947. Il me disait s'être seulement occupé de la « reproduction hydrothermale des minéraux et roches », sous pression (synthèse du granite en 1959, en autoclave etc.) mais m'avouait n'avoir pu donner que « quelques coups de sonde dans diverses directions » du fait de ne pas trouver en France des matériels adaptés à de telles recherches. Dans quelques cas il avait même dû aller à l'étranger pour faire certaines expériences.

Par contre, au C.N.R.S. il y avait plusieurs matériels, pour hautes pressions (mais pas en phase vapeur, nécessaire pour le granite) et pas assez de chercheurs valables dans cette spécialité m'écrivait B. Vodar. J'étais donc arrêté, dès le départ, par ce problème du matériel. Le 28 juin 1971 je prenais contact avec M. Lacam et, l'été passé, j'allais à Bellevue voir les matériels dont disposait son laboratoire. Je profitais de mon séjour pour consulter le fichier relatif à la synthèse des minéraux par thermopression. J'y relevais quelques références bibliographiques et l'une d'elles, datant du début de l'année, retint particulièrement mon attention : c'est l'étude de J. Akella, discutée au chapitre précédent.

Ces recherches étaient loin des conditions à réunir pour la synthèse du granite où l'on ne dépasse guère 2 kilobars, alors que J. Akella, G. Kennedy etc citaient des pressions de 20 à 30 kb. Bellevue disposait d'une presse donnant 50 kb. Devant l'intérêt qui m'était apparu en feuilletant le texte de J. Akella, parcouru en quelques dizaines de secondes, je décidais d'écrire aux U.S.A., le 12 novembre 1971 pour me procurer ce

texte et l'étudier à tête reposée. Je m'étais adressé à G. Kennedy, le « grand patron », qui avait fait la publication à son Institut, et je reçus rapidement cette étude. Tandis qu'Akella, qui était l'auteur de l'expérience, par une lettre du 5 janvier 1972 me donnait les précisions complémentaires que j'avais demandées.

Dès lors, la cogitation suivit son cours. Je pensais à la possibilité d'une expérience, non plus sur le granite puisque je ne pouvais trouver le matériel convenable, mais sur un grenat naturel, minéral complexe, bien moins cependant que le mélange de minéraux du granite. L'interprétation des résultats serait ainsi simplifiée et Bellevue disposait d'un matériel peut-être utilisable : c'était à voir de plus près, sur le plan technique... et administratif.

Je m'en ouvris à G. Choubert, en décembre 1971, tout en lui faisant parvenir par plusieurs notes successives, mes commentaires sur le travail d'Akella dont je lui joignais la photocopie. A ma suggestion, il me répondit par son accord en janvier 1972. Il m'assura de tout son appui, me facilita l'introduction au B.R.G.M. Il est possible que sans lui une telle recherche n'aurait pu être effectuée, de sorte que c'est à lui, en grande partie, qu'on doit cette expérience et il m'est agréable de le souligner ici.

Dès le 11 janvier 1972 il m'informait que le Muséum National d'Histoire Naturelle était d'accord pour fournir quelques échantillons de gros cristaux de grenat naturel se trouvant à plusieurs exemplaires dans les collections (par la suite j'en trouvais de bien plus gros dans le commerce, mais moins « purs », peut-être ? les 10 plus gros sont de 8 à 35 fois plus volumineux que celui qui a été utilisé ci-après ; nous donnons le schéma d'un échantillon moyen, pesant 13 325 mg, soit 18 fois plus que celui qui a servi à l'expérience ci-décrite, ou encore 220 millions de fois plus que ceux de J. Akella ; tous sont de l'holoédrie « dodécaèdre rhomboïdal », avec 12 faces en losange : cube dont les 8 sommets sont coupés par un plan passant par le milieu de chaque face adjacente). (V. p. 166).

Le 29 janvier 1972, je demandais à Lacam de bien vouloir accepter que j'aie le voir accompagné de G. Choubert afin de mieux discuter, sur le plan pratique, des possibilités qu'il avait de procéder à l'expérience que je proposais.

Entre temps, G. Choubert avait pris contact téléphoniquement avec le B.R.G.M. (Bureau des Recherches Géologiques et Minières), à Orléans pour savoir s'il serait possible, et à quelles conditions financières, de faire une analyse d'un grenat par la microsonde électronique. Par lettre du 14 mars 1972, le Service Géologique National du B.R.G.M. notifiait son acceptation de procéder à cette analyse, après accord du Directeur Général du C.N.R.S. à qui le projet avait été communiqué (l'accord du C.N.R.S. était nécessaire du fait de la participation de cet organisme à la

construction de la microsonde électronique et tout programme d'utilisation de cet appareil est soumis à son accord, car il est très demandé, et il faut attendre son tour...). Les conditions financières éventuelles étaient précisées et je les acceptais.

A partir de ce moment, nous allâmes de l'avant, la partie administrative étant réglée. J'avais suggéré - simple « intuition » - de commencer par le pyrope. Nous disposions d'un cristal d'environ, en moyenne, $7 \times 5 \times 6$ mm, pesant 730 mg. Il fut transmis au laboratoire de la microsonde du B.R.G.M. L'analyse par cet appareil avait été retenue parce qu'elle est non destructive. C'est le même cristal qui est analysé avant et après son passage à la haute pression sous température élevée. Il est donc impossible d'objecter qu'on n'a pas fait l'analyse sur le même échantillon, ce qui n'est pas le cas s'il faut détruire un échantillon pour l'analyser, par les méthodes chimiques ou physico-chimiques (spectrophotométrie d'absorption atomique par exemple, où il y a une mise en solution par l'acide avant de passer à la flamme). Le problème de l'identité des parties aliquotes ne se pose donc pas ici.

Pour rendre plus exacte l'analyse quantitative, le cristal fut scié en deux. La microsonde pouvait ainsi explorer le cristal à cœur. Cela était indispensable du fait que les cristaux de grenat ne sont pas absolument homogènes quand il s'agit de produits naturels, même si l'on a bien choisi l'échantillon en apparence très régulier. Le demi-cristal pesé accusait 367 mg. L'autre moitié, non passée à la presse, était conservé comme témoin éventuel.

Du fait du calendrier d'occupation de la microsonde, puis des vacances, c'est seulement fin septembre 1972 que les résultats de l'analyse furent connus et que le pyrope revint d'Orléans. J'allais aussitôt le remettre à Bellevue au C.N.R.S. Là aussi il fallut attendre et c'est le 8 janvier 1973 que la mise en pression fut faite. Sitôt prévenu, j'allais sur place examiner le cristal (G. Choubert, par ses fonctions est souvent absent de France pour de longues périodes). A la binoculaire, sous fort éclairage il était évident que le cristal avait changé. Il y avait bien eu un métamorphisme et l'analyser à nouveau était justifié. Je fis parvenir aussitôt au B.R.G.M. ce cristal passé à la presse et le 19 mars 1973 nous avons la nouvelle analyse.

Tel est le calendrier de cette recherche que nous allons voir maintenant sur le plan technique et scientifique.

**

2) Préliminaires et points d'interrogation

L'entretien avec M. Lacam avait fait ressortir que la presse la mieux adaptée au but proposé permettait d'obtenir en principe 700°C, pendant

5 minutes au plus, sous 50 kilobars. C'était là la température de synthèse du granite, mais en phase aqueuse. Or il était indispensable d'opérer à sec, sans fondant, afin d'introduire le grenat seul dans la presse, sans apport étranger, pour voir quelle serait sa transformation chimique à haute pression et n'importe comment la presse ne permettrait pas un travail en phase vapeur, du fait de sa construction. Certes il ne faut que 2 kb environ - selon la composition - pour la synthèse du granite et nous disposions de 50 kb. Cela suffirait-il à compenser la température qui me semblait un peu faible pour obtenir les divers métamorphismes des composants d'un grenat ? Les recherches faites sur la synthèse des grenats depuis le début du XIX^e siècle faisaient penser qu'il faudrait au moins 1 000°C, notamment pour une transformation des alumino-silicates, et plus pour les alcalino-terreux. Se basant sur les travaux d'Akella, G. Choubert m'écrivait (janvier 1972) se demandant s'il ne faudrait pas aller jusqu'à 1 200°C, température de fusion maintenue pendant au moins 6 heures, en une ou plusieurs fois. Akella, dans ses recherches exploratoires, donne des résultats pour des températures qu'il a fait varier de 1 000 à 1 500°C et des pressions de 10 à 50 kb. Il faisait fondre des mélanges divers tels que du pyroxène, de l'anorthite et du quartz. Dans cette masse, refroidie, il trouvait des microcristaux de grenat de quelques dizaines de microns, examinés au microscope dans le support au sein duquel ils s'étaient formés. A titre d'exemples indiquons qu'à 1 000° il gardait en fusion pendant 420 minutes ; à 1 100° pendant 300 mn ; à 1 200° pendant 240 mn ; à 1 400°, 90 mn ; à 1 560° (maximum testé) 45 mn. Il remarquait que le grenat (selon la composition du mélange de départ) peut diminuer à partir de 1 200°C à 50 kb ; pour d'autres mélanges cette diminution se manifestait à 26 kb, fusion maintenue 5 à 6 heures.

Rappelons que, par lettre, Akella nous a écrit qu'il ne pouvait introduire plus de 30 mg de matière dans la presse, dont la cavité recevant cette matière (creuset) n'avait que 3 mm environ de diamètre. La quantité de chaleur, même en fusion pendant plusieurs heures à 1 200°, se trouvait, de ce fait, facilement éliminée. Dans ces 30 mg de matière, il obtenait, au refroidissement, noyés dans la masse de matière métamorphisée, des cristaux de grenat de 5 à 10 microns de dimensions ; une refusion lui permettait d'avoir des cristaux ayant de 20 à 30 millièmes de millimètre de côtés. Prenons comme moyenne 25 μm et supposons cubiques ces cristaux ; cela fait environ 0,016 millième de mm^3 . La densité n'est pas indiquée ; admettons 3,6 qui nous paraît possible ; cela fait des cristaux pesant 0,06 γ (γ = millième de milligramme). C'est dire que nous disposions, en introduisant dans la presse un demi-cristal d'un poids de 367 mg, d'un grenat environ 6 millions de fois plus lourd que ceux d'Akella. Cela nous permettait des mesures directes, et non des déductions à partir de barèmes, d'après des indices de réfraction, des angles optiques, contrôlés

sous microscope, avec tous les aléas de tels calculs, à multiplier par 6 millions, erreurs comprises, pour comparer avec nos résultats. Nous n'étions pas à la même échelle ; nous pouvions peser directement sur une balance, tandis que 0,06 microgramme ne peut résulter que d'un calcul aléatoire, avec des hypothèses.

Mais le principal point d'interrogation restait la température. Serait-elle suffisante ? Pour de nombreuses raisons il ne m'apparaissait pas indispensable d'atteindre les 1 200° utilisés par Akella. Encore moins de tenir pendant des heures une telle température. Il me semblait même préférable d'éviter une fusion avec recristallisation : je craignais certaines réactions chimiques nuisibles, car à cette température, soutenue, FeO achève sa réduction et il était à craindre des changements trop profonds, faisant quitter le grenat pour donner du pyroxène, probablement et du quartz séparés ? Les nombreux travaux que j'ai cités montraient que des métamorphismes étaient observés en phase solide : tout au plus peut-on aller jusqu'au ramollissement mais pas à la liquéfaction qui risque parfois de donner un verre, un genre de scorie vitreuse, où nageraient des micro-cristaux et même parfois les cristaux ne se forment qu'à la suite d'un recuit. Il ne m'apparaissait donc nullement évident que la réaction cherchée puisse se faire à la fusion ; elle me paraissait même à éviter puisque, dans la Nature le métamorphisme semblait bien se produire en phase solide.

A priori il me semblait utile de disposer d'environ 1 000°, sous forte pression, pour obtenir, par voie sèche, une transformation des aluminosilicates (un calcul me donnait pour le pyrope expérimenté 63,4 % de $\text{Al}_2 (\text{SiO}_4)_3$) et peut-être 1 100° pour les alcalino-terreux, MgO + CaO représentant 24 % de ce pyrope. Cependant nous n'avions pas d'expériences antérieures, à 700° et 50 kb. Nous pouvions donc penser que, peut-être, il y aurait un métamorphisme observé dans ces conditions. C'étaient les seules dont nous pouvions disposer ; je décidais donc de tenter quand même l'expérience. Si elle échouait, il faudrait attendre que l'on dispose de matériels à plus hautes performances pour faire une nouvelle tentative. Mais j'acceptais le risque matériel d'essayer.

L'expérience était nouvelle à plus d'un titre : les auteurs d'expériences antérieures sur des métamorphismes ont procédé à partir de produits purs, dont ils faisaient la synthèse. J'ai préféré partir d'un produit naturel. Même un cristal dit de pyrope, n'est jamais du pyrope pur ; c'est un mélange où le pyrope domine, mais où l'on trouve de l'almandin, de la grossulaire, d'autres variétés de grenat encore parfois, ces trois variétés étant les plus courantes. Je parlais du principe que si nous voulons étudier la modification des roches métamorphiques il nous faut d'abord partir de ce que l'on trouve naturellement réunis : l'un des composants n'a-t-il pas pour origine les autres composants ? Nous y reviendrons.

3) Protocole

J'indiquerai tout d'abord qu'au reçu de l'analyse du cristal brut, à partir des oxydes, je déterminais sa composition minérale en utilisant les formules ci-après ; elles me conduisirent à la constitution suivante :

pyrope	56 %	: $Mg_3 [Al_2(SiO_4)_3]$
almandin	27 %	: $Fe_3 [\quad id \quad]$
grossulaire	17 %	: $Ca_3 [\quad id \quad]$

(la partie entre crochets est la même pour ces trois composants du grenat). Il est parfois donné d'autres formules qui ne sont que des indications, du fait de la variation de Mg, Fe et Ca en liaison avec l'alumino-silicate ; nous partons des formules « pures » ci-dessus, pour calculer le mélange, d'après les teneurs des divers éléments chiffrés en oxydes ; de sorte que le grenat ci-dessus est à dominante « pyrope » et c'est pourquoi il est classé pyrope. Je pense que les minéralogistes seront d'accord avec le calcul ci-dessus qui ne m'a pas été infirmé à ce jour. D'où la désignation de pyrope dans ce chapitre, pour la dénomination du grenat que nous avons utilisé. Cependant, dans le calcul ci-dessus, nous avons négligé la spessartite (ou spessartine) présente aussi, pour 5 % environ, comme le montre la présence de Mn et les valeurs rectifiées seraient : pyr. 53 %, alm. 25 %, gross. 16 % spessart. 5 %.

Nous donnons une coupe schématique de la presse utilisée (fig. 11).

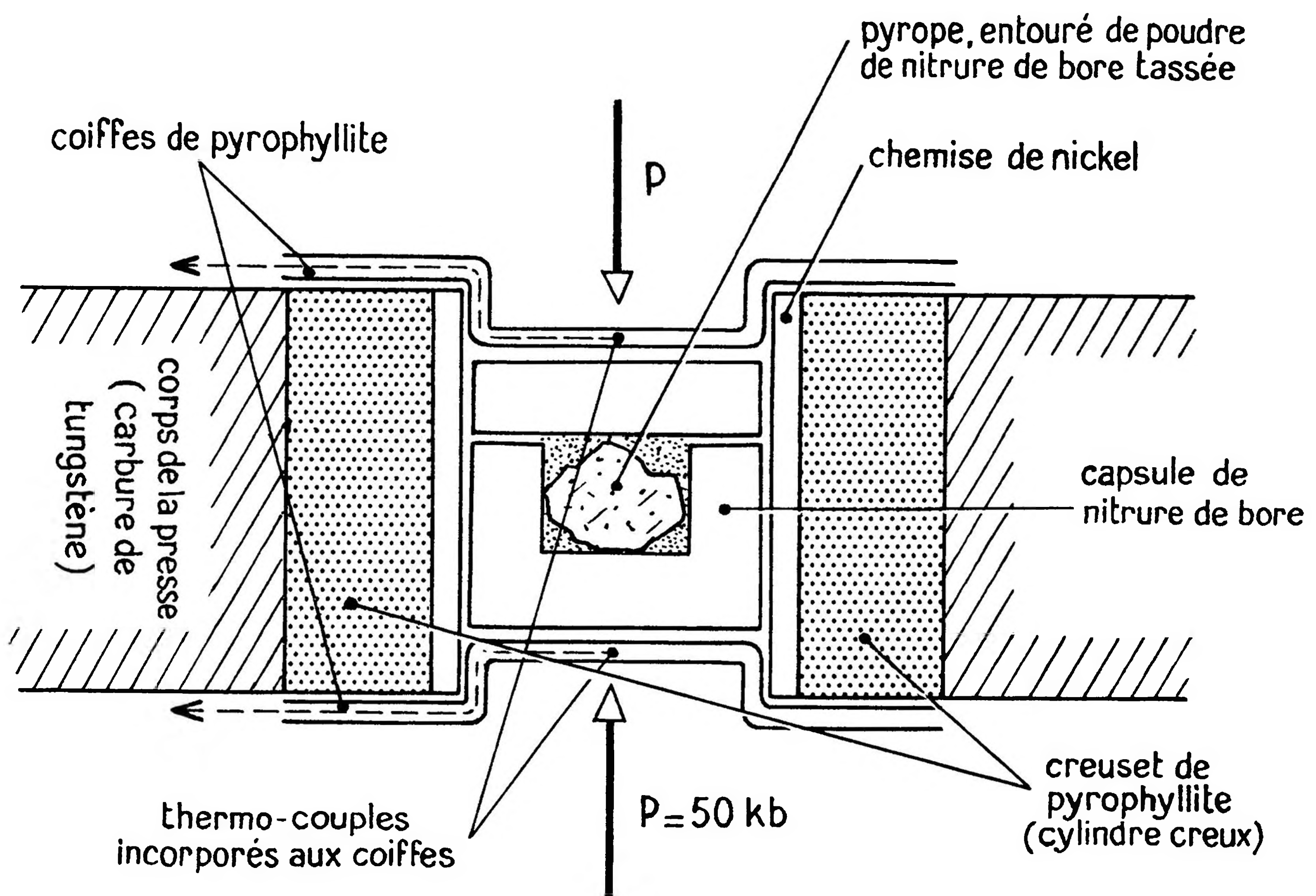


FIG. 11 - Coupe du four à 50 kb.

Le demi-cristal de pyrope fut placé dans une capsule de nitrure de bore, ajustée pour entrer à frottement serré dans un mince cylindre de nickel qui constituait le secondaire du four à induction ; la chaleur était transmise au pyrope par cette « spire » de nickel et le nitrure de bore. De la poudre de nitrure de bore fut tassée autour du pyrope pour assurer un bon contact, une bonne transmission de la chaleur. Ce matériau a été utilisé parce qu'il est chimiquement inerte. La chemise de nickel est entrée à frottement dur dans un épais cylindre de pyrophyllite qui prend place dans le cylindre de la presse en carbure de tungstène fritté avec 3 % de cobalt comme liant). En haut et en bas une coiffe de pyrophyllite ferme la cavité du « four ». A leurs surfaces (faiblement noyés) sont fixés les conducteurs des thermocouples. Par action hydraulique les pistons se rapprochent et leur distance, en fin de course, est calculée pour donner 50 kilobars. La pyrophyllite transmet bien la pression, résiste à la chaleur et sert à l'évacuation de celle-ci vers le corps de la presse qui diffuse la chaleur dans l'air, aucun refroidissement spécial n'étant prévu.

La température est d'abord montée lentement à 500°C afin de sécher tout l'intérieur du four (pyrope, capsule, pyrophyllite). Puis cette température atteinte, et contrôlée par deux thermo-couples (la pression ayant été appliquée avant la mise en température) elle est maintenue à ce palier pendant un quart d'heure, afin que l'ensemble prenne cette température. Puis elle est élevée à 600° et maintenue à nouveau 1/4 d'heure à ce palier. On pousse ensuite la température à 700° et on attend la rupture du circuit par fusion d'une lame de cuivre, cette fusion étant prévue pour se faire entre 4 à 5 mn, au plus 5 mn. Les pistons sont alors desserrés, la capsule de nitrure de bore sortie, et son couvercle enlevé, la poudre de blocage retirée de sorte que le refroidissement est très rapide : en moins d'une minute le cristal est revenu à 75°C ; il se produit donc en quelque sorte une « trempe » intense.

L'examen des coiffes de pyrophyllite montrait une couronne blanche au contact du cylindre de nickel ; ce serait l'indice que cette partie a été déshydratée et portée à une température qui a pu avoisiner 900°. Il a été établi ultérieurement par des mesures qu'à l'intérieur du four, pendant trois ou quatre minutes (le déclenchement s'est produit effectivement entre 4 et 5 mn) une température d'au moins 850° a été atteinte, car les pièces conductrices des thermocouples prenaient appui sur la pyrophyllite de sorte que celle-ci les refroidissait, que la température indiquée au thermocouple était ainsi un peu plus basse qu'à l'intérieur du four. A ces températures il y a une marge d'incertitude, mais ce qu'on peut affirmer est que la température a été maintenue pendant environ 3 à 4 minutes, à au moins 850°C ; ce sont là les seules valeurs certaines, avec la pression qui, par construction, est prévue à 50 kb (cette détermination de la température exacte a été faite après coup, par de nouvelles recherches d'étalon-

nage, à la suite de l'observation faite sur la couleur de la pyrophyllite au contact de la chemise de nickel ; cette expérience a eu pour conséquence de faire modifier la sortie des fils des thermocouples, pour le futur ; c'était la première fois que cette presse était utilisée au maximum de ses possibilités).

4) Analyses : donnons les résultats complets

	Avant %	Après pression
SiO ₂	41,9	42,42
Al ₂ O ₃	21,5	22,48
MgO	18,4	18,28
CaO	5,6	5,60
Cr ₂ O ₃	1,4	2,14
MnO	1,7	0,37
Fe ⁺⁺	9,0	7,94
TiO ₂	0,1	0,08
	99,6	99,31

Les moyennes ont été calculées avec une décimale la première fois, avec deux la seconde fois (moyennes de 25 lectures pour chaque élément) ; il est rappelé que la sonde ne sépare pas les oxydes de fer ; nous donnons le total des oxydes.

5) Constatations générales

Ces résultats ne m'ont guère surpris. Ils confirment qu'il était difficile, à cette température, d'amorcer le métamorphisme de Al et de Si. Certes Al a augmenté de près de 5 %, mais la variation de Si dépasse à peine la limite de sensibilité de la méthode de dosage, de sorte que cette variation ne peut pas être retenue comme significative. Quant à Mg et Ca ils ne varient pratiquement pas, la température est vraiment trop basse ?

Nous constatons aussi, simple remarque qui n'est peut-être valable que dans cette expérience, que les éléments les plus légers, dans les mêmes catégories, amorcent en premier la réaction : Al a plus varié que Si ; Mn plus que Fe (en valeurs relatives) ; Mg plus que Ca (qui n'a pas bougé à 850°C, mais le fait que Mg a commencé à « démarrer » signifie-t-il qu'à 950 ou 1 000° ces deux alcalino-terreux effectueraient leur métasomatose ? A rapprocher de la métasomatose qui fait passer de Ca à Mg dans les dolomies, par une action bactérienne, en surface ; mais par pression lors d'une orogénèse dans des massifs comme les Dolomites, on obser-

verait l'inverse ? alors que sous la pression de l'eau, au-delà de 200 m de profondeur, dans les massifs coralliens la dolomie l'emporte sur le calcaire.

En somme, dans les conditions où nous avons pu opérer, seuls les oxydes métalliques ont fortement changé. Nous pouvons les classer ainsi :

	Avant	Après pression	Ecart	%
MnO	1,7	0,37	— 1,33	— 78,23
Cr ₂ O ₃	1,4	2,14	+ 0,74	+ 52,85
Oxydes de Fe	9,0	7,94	— 1,06	— 11,77

On voit que ces variations sont importantes et hautement significatives (fig. 12). Nous allons les discuter.

6) Interprétation

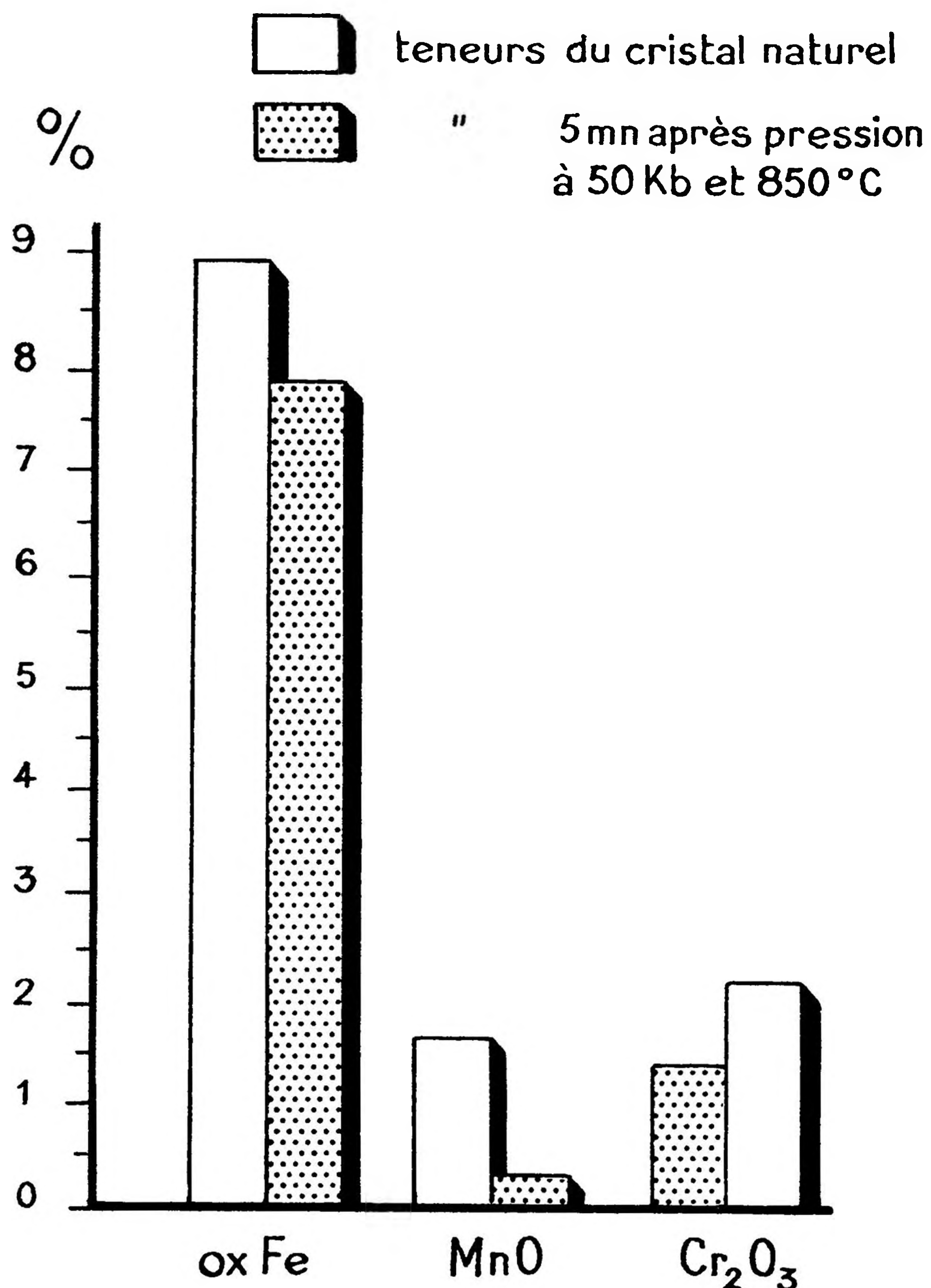
a) Variation du manganèse

Avec plus de 78 % elle est très forte. Cependant nous n'insisterons pas sur cet élément. Des « puristes » diront peut-être qu'on peut tenir compte, par cette méthode, des valeurs à 1 ‰ près. Pour ma part je ne l'affirmerai pas de façon absolue - j'y reviendrai plus loin - et je préfère, dans de telles réactions, ne retenir que celles qui donnent des valeurs nettement plus élevées. Les variations de Mn seraient à rechercher sur des minéraux plus riches en cet élément afin de se placer sur une plage moins marginale car pour une teneur de 0,37 ‰ l'incertitude est voisine de $\pm 15\%$; c'est dire qu'elle peut varier de 30 % entre extrêmes, ce qui peut modifier la 1^{re} décimale. Ici, en tout cas, nous n'avons pas de données qui nous permettent d'émettre une hypothèse sur ce qu'est devenu ce manganèse qui disparaît. Je ne crois pas qu'il faille penser à un passage d'une partie de ce manganèse ⁵⁵Mn pour donner ⁵⁴Cr, bien qu'il n'y ait qu'un proton d'écart. Nous verrons pourquoi, au chapitre relatif aux mécanismes mis en œuvre dans ces transmutations à faible énergie.

b) Variations conjointes du fer et du chrome

Dans le chapitre relatif à certaines études théoriques faites en Russie, j'ai montré que dès 1963 j'attirais l'attention sur la présence simultanée de Mg et de Fe dans les minerais de chrome les plus courants. J'avais pensé à une origine possible du chrome par « frittage » de deux noyaux de Mg. Cependant, je n'approfondissais pas cette idée car elle ne permettait pas d'expliquer la présence de deux isotopes stables du chrome : ils ne

Métamorphisme d'un grenat (1)



(1) pyrope 56%; almandin 27%; grossulaire 17%

FIG. 12

pouvaient pas venir des isotopes stables de Mg. C'est pourquoi cette hypothèse sur l'origine du chrome restait à l'état de doute dans mon esprit et dans mon ouvrage de 1968 je signalais la difficulté tenant à ces deux isotopes.

Par contre la correspondance des variations inverses de Fe et de Cr est remarquable. Elle constitue un fait nouveau d'une très grande importance théorique et pratique. Nous allons donc en faire une étude détaillée.

B — UNE EXPERIENCE CAPITALE POUR LA PHYSIQUE NUCLEAIRE ET POUR LA MINERALOGIE

1) Variation du fer

Les oxydes de fer qui représentent au départ 9 % du total de ce pyrope subissent une baisse importante dans les conditions opératoires réalisées, soit environ 12 %. Cette baisse du fer, dans le métamorphisme d'un grenat, pouvait être prévue d'après les recherches d'Akella. Nous avons vu que l'almandin passait, d'après cet auteur, de 47 % pour 19,5 kb à 27 % pour 29,2 kb, à 1 200 °C ; il y avait donc, au départ, 74 % d'almandin de plus qu'après la chauffe sous pression. Nos résultats confirment le sens de ce métamorphisme dans le grenat, en n'oubliant pas, sur le plan quantitatif, que nous avons opéré sur un pyrope, moins riche en fer que l'almandin.

Une remarque à laquelle il faudra peut-être songer pour les recherches à venir : la courbe que j'ai tracée d'après le tableau publié par Akella montre une chute brusque de l'almandin à 25 kb (à moins qu'il n'y ait eu une erreur de mesure pour cette pression, cas où il faudrait « rectifier » la courbe ?). S'il n'y a pas erreur, cela tendrait à confirmer que l'alumino-silicate à base de fer diminue brusquement quand la pression s'élève au-dessus de 25 kb. Il y aurait donc là, pour 1 200°C et 25 kb un point d'eutexie et on se reportera au chapitre sur les études aux Etats-Unis où j'ai montré que ce même point correspond à la disparition totale d'anorthite. Il est probable que nous avons retrouvé un point d'eutexie équivalent, pour 850°C et 50 kb, puisque le fer a aussi diminué dans ces conditions opératoires. Notre but s'est limité, dans cette expérience, à montrer que des éléments varient, donc que l'invariance de la matière, au stade atomique, n'est pas toujours observée, qu'il y a transmutation par voie totalement différente de celle que suit depuis 1919 la physique nucléaire classique.

Nous avons signalé dans les chapitres précédents ces variations du fer : dans la granitisation, sous l'effet d'une explosion atomique souterraine dans du granite, dans la formation d'impactites, dans les pierres des monuments dégradées par des micro-organismes (temples d'Angkor, cathédrale de Strasbourg etc). Il sera plus facile d'étudier maintenant ce phénomène qu'on peut reproduire d'une façon relativement simple, en ne jouant que sur deux paramètres : température et pression à des degrés accessibles aux matériels dont nous disposons. On verra par exemple l'importance, et même le sens de la variation, selon la composition des

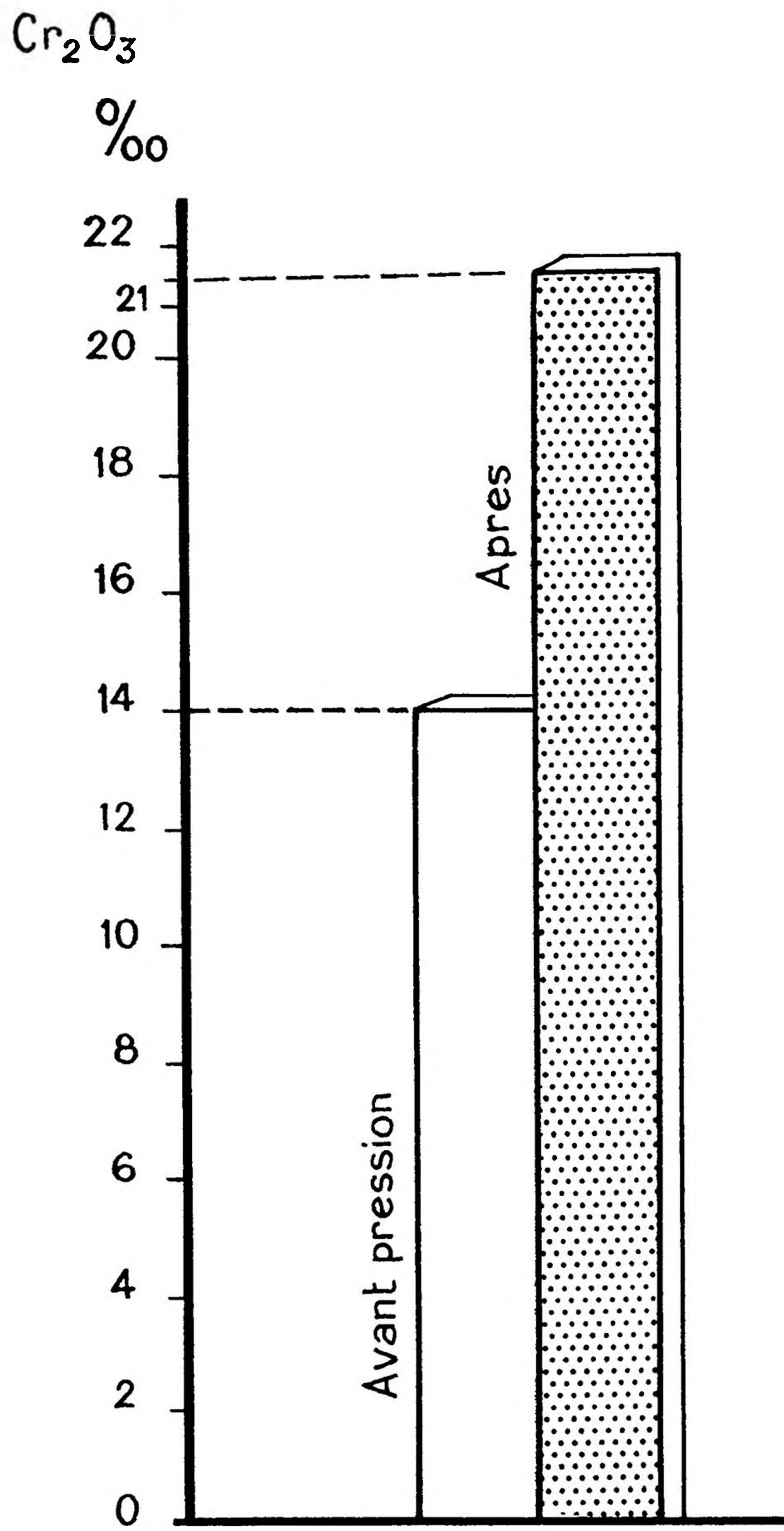


FIG. 13 - Augmentation du chrome à 50 kb, dans un grenat à 850° C, pendant 5 mn.

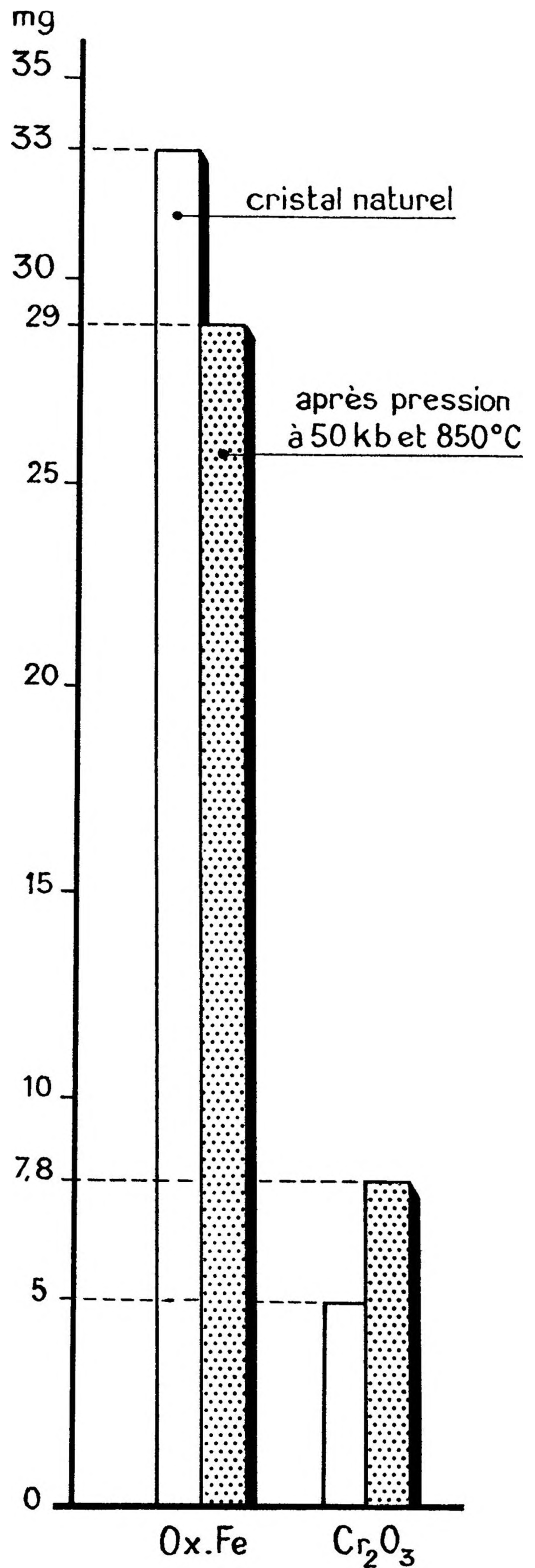


FIG. 14 - Variation des oxy. de Fe et de Cr en valeurs absolues dans un grenat de 367 mg.

roches, notamment le pH, à diverses pressions et températures, afin de rechercher les conditions optimales et limites de sa production.

Il sera utile, sur le plan de la science pure, comme pour des applications, de procéder à cette étude méthodique. Ce n'est pas un isolé comme moi, en retraite, et sans laboratoire personnel, qui puisse le faire ; tout au plus puis-je procéder de temps en temps à un coup de sonde pour explorer une nouvelle voie. Il y a là un travail de longue haleine à mener en équipe disposant de tout le matériel indispensable. Ou encore un travail systématique pour un « thésard ». Il n'apparaît pas que 1 200°C soient indispensables. On peut même se demander si une telle température, dans le cas de l'étude du fer, ne masque pas certaines réactions, du fait que cette fusion, maintenue longtemps, porte la matière dans un domaine où la réduction des oxydes de fer est totale. Il y a donc libération d'oxygène, même pour passer de Fe_2O_3 à FeO . Cet oxygène libéré n'intervient-il pas dans d'autres composés ? Ou sort-il de la presse, non étanche ? De plus une fusion remet en cause tout le problème de la cristallisation, des échanges molaires, de la formation de nouveaux minéraux. Tout milite donc en faveur d'une diminution de la température et de la durée d'application de la température maximale, ce qui implique une pression plus élevée. Toutes les recherches que je connais sur le métamorphisme des roches alumino-silicatées contenant du fer donnent à l'analyse Fe_2O_3 dominant largement FeO . Cela conduit à se demander s'il n'y a pas là un argument de plus pour penser que ces réactions se sont faites, dans la nature, en phase solide, à la limite de présence simultanée de Fe_2O_3 et de FeO , puisqu'on y trouve ces deux oxydes, et plutôt au-dessous du commencement d'une réduction sensible de FeO , puisque Fe_2O_3 est encore dominant ?

Dès lors il y aurait là un repère de température et nous pouvons penser que les matériels conçus pour étudier le métamorphisme des composés du fer pourraient ne pas nécessiter de température supérieure à 900°C, pour des pressions dont l'optimum serait à rechercher, mais inférieures peut-être à 50 kb puisque nous avons obtenu ce métamorphisme à 850°C pour 50 kb.

2) Variation du chrome

Nous pouvons représenter la variation du chrome à plus grande échelle (fig. 13) afin de mieux voir les valeurs relatives de l'augmentation de cet élément (environ 53 %). On peut aussi figurer les variations absolues des oxydes de fer et de chrome pour le cristal de 367 mg qui a été passé à la presse : le chrome, dans le cristal brut était de 5,138 mg, tandis qu'après thermopression on y trouve 7,854 mg, soit une augmen-

tation de 2,716 mg ; le fer passe de 33,030 mg à 29,140 mg, d'où une diminution de 3,890 mg (fig. 14). On peut encore dire que ces éléments ont varié, en sens inverse l'un de l'autre, autour d'une moyenne de $3,308 \pm 0,582$ mg et si l'on s'en tient à une seule décimale, on a respectivement 2,7 pour le chrome et 3,9 pour le fer comme variation, soit une moyenne de $3,3 \pm 0,6$ mg. Nous voyons ainsi que des pesées au 1/10 mg sont suffisantes, qu'on n'a pas besoin de balances au 1/100 mg, les pesées au 1/100 mg étant toujours délicates. Il s'agit donc bien d'une augmentation du chrome à l'échelle macroscopique, en milligrammes pour un cristal de pyrope de 1/3 de gramme environ. Une modification des paramètres permettrait peut-être d'améliorer le « rendement ». Ce n'était pas notre but et nous ne pouvions d'ailleurs pas disposer de matériels permettant des variations de températures et de pressions. Nous n'avions pour but que de rechercher l'existence irrécusable du phénomène de variation d'éléments, sur le plan qualitatif. Nous pensons que notre démonstration est irréfragable, tout au moins sur le fait que, dans une telle expérience, on obtient un enrichissement du chrome de plus de 50 %, au détriment du fer (v. fig. 15 la bonne « imbrication » de l'augmentation de Cr dans la diminution de Fe).

Remarquons que n'importe comment les variations du chrome et du fer ne peuvent résulter d'échanges avec les parois de la presse puisque, d'une part, le pyrope était dans une capsule de nitrure de bore, que, d'autre part, il n'y a dans cette presse ni fer ni chrome (voir la coupe schématique de cette presse) : il y a du nickel, de la pyrophyllite, du carbure de tungstène avec un peu de cobalt.

3) Rapprochements et convergences (fig. 16)

Rappelons que le fer diminue de 1,06 (pour cent du poids total du pyrope), le chrome augmente de 0,74 (pour cent du poids total du pyrope).

Ces valeurs peuvent se représenter par une moyenne de $0,9 \pm 0,16$. Autrement dit, en chiffres ronds, dans les conditions de cette expérience, la variation a été de l'ordre de 1 % de la matière totale, surtout riche en alumino-silicates ; elle serait à revoir avec un minerai ne comportant qu'une « gangue » moins abondante.

Il n'y a pas correspondance parfaite entre l'augmentation de l'un des éléments et la diminution de l'autre. Cela peut-être, pour une faible partie, parce que du fer deviendrait autre chose que du chrome ? Mais aussi cela pourrait venir du fait que les valeurs ci-dessus ne sont pas rigoureusement comparables : d'une part nous avons la teneur en plusieurs oxydes de fer (ferreux et ferrique) en proportions non établies, et d'autre part l'oxyde

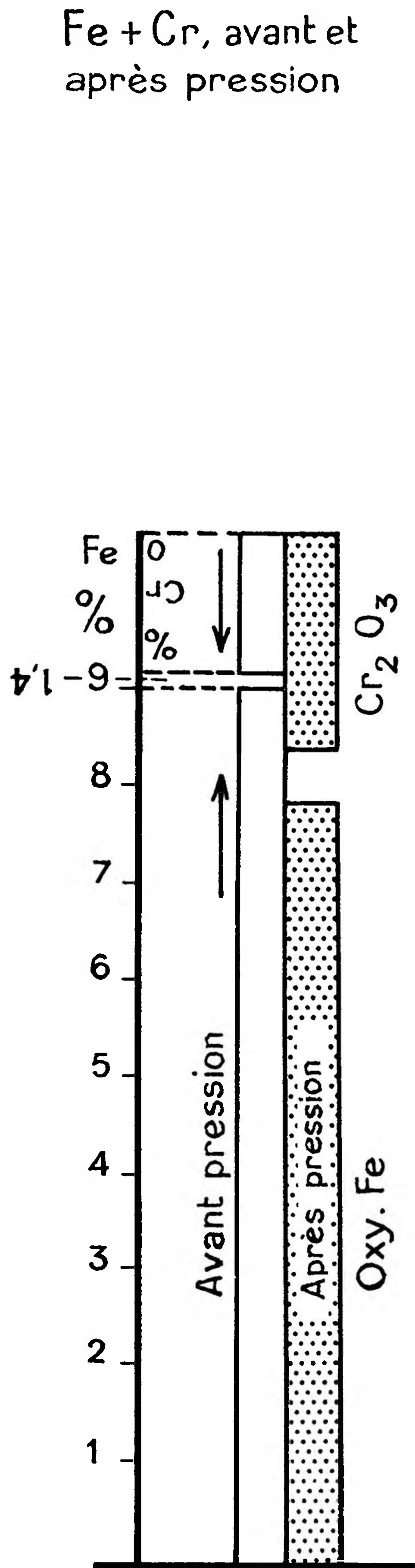


FIG. 15

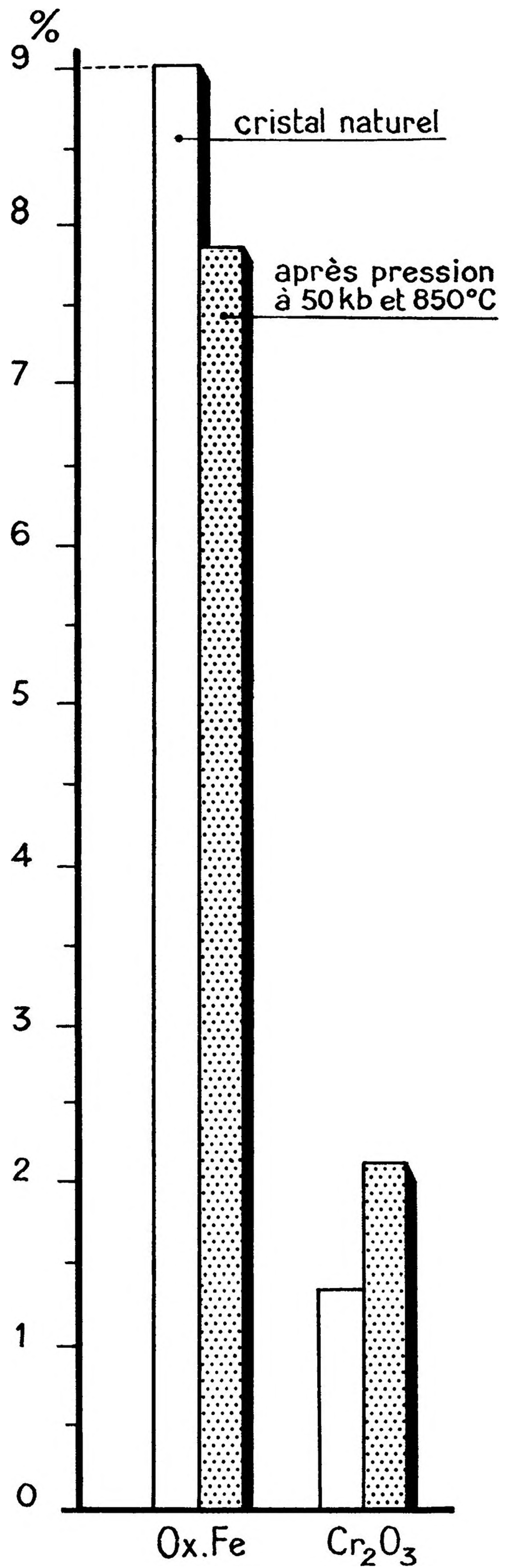


FIG. 16 - Variation des oxy. de Fe et de Cr dans un grenat.

chromique. Il y a aussi une légère dispersion sur les lectures des dosages (nous y reviendrons) et tout cela conduit à dire que, pratiquement l'augmentation du chrome est compensée par la diminution du fer, et rien que par celle-ci, sur le plan quantitatif, comme il résulte du tableau général des analyses.

Dès lors voyons de plus près la corrélation entre les variations de ces deux métaux. Le passage de l'un à l'autre peut s'écrire : ${}_{26}\text{Fe} - {}_{24}\text{Cr} \rightarrow {}_2\text{He}$. Autrement dit le chrome viendrait du fer qui aurait perdu une particule α . Examinons cela plus en détail.

Auparavant, attirons l'attention sur le fait que la diminution du fer est due non seulement à sa conversion en chrome, mais encore au départ d'un noyau d'hélium par atome de fer qui diminue. Autrement dit, ce qui part de Fe se retrouve sous la forme $\text{Cr} + \text{He}$, ou $\Delta \text{Fe} = \Delta \text{Cr} + \text{He}$. Le rapport des masses atomiques entre He et Fe est $4/56 = 7\%$, et il y a $0,07 \Delta \text{Fe}$ à retrancher de la variation du fer pour comparer avec la variation du chrome.

4) Isotopes

On constate que Fe a 4 isotopes stables, Cr aussi. De plus tous ces isotopes se correspondent, en retirant un α à Fe. Les pourcentages de ces isotopes varient selon les tables, parfois même d'une unité sur la première décimale de sorte que les valeurs à 0,1 % ne sont pas toujours sûres et nous donnons ci-après des moyennes d'après plusieurs tables :

isotopes %	${}_{26}\text{Fe} - \alpha = {}_2\text{He} \rightarrow$	isotopes ${}_{24}\text{Cr}$ %
5,8	54 — 4	50 4,5
91,6	56	52 83,8
2,2	57	53 9,4
0,4	58	54 2,3
<hr/>		<hr/>
100,0		100,0

Il est probable que dans ces transmutations chaque isotope « joue pour son propre compte » et il peut y avoir plus ou moins de facilités pour un isotope que pour un autre de « lâcher » un α . Cela est d'ailleurs marqué dans les silicates (ce qui est le cas ici). On sait que dans les silicates naturels il se produit des enrichissements de certains isotopes lourds ; il est donc en quelque sorte « normal » que nous trouvions dans le chrome qui se forme un entraînement un peu important des isotopes lourds, par rapport au fer, d'où un peu plus des isotopes 53 et 54 du chrome, et en compensation relativement moins des deux isotopes les plus légers ?

Mais il est remarquable de constater qu'il y a non seulement correspondance qualitative entre ces isotopes, mais encore correspondance assez bonne sur le plan quantitatif, la correspondance absolue ne pouvant exister, du fait de ces variations isotopiques bien connues et mises à profit d'ailleurs dans les techniques de séparation isotopique. C'est ainsi que l'isotope le plus abondant du fer, le 56 donne le $56 - 4 = 52$ pour le plus abondant du chrome et leur proportion moyenne est de $87,7 \pm 3,9$ soit un peu moins de 4 % d'écart, pour ce cas.

5) Cristallographie

Il n'est peut-être pas superflu de s'arrêter un peu à la cristallographie. La fusion peut aboutir à un verre amorphe. En général, par un recuit, on peut obtenir ensuite une recristallisation. Mais il y a parfois, par suite des « affinités » de température de solidification, formation de minéraux totalement différents : par exemple la formation de microcristaux de grenats, difficiles à étudier, dans un magma de pyroxène. On se place en dehors des conditions naturelles du métamorphisme de sorte que nous ne saurions pas du tout comment le chrome a pu se former au détriment du fer dans une orogénèse. C'est pourquoi il a semblé préférable de tenter une expérience n'allant pas jusqu'à la fusion. Nous avons vu dans les études conduites depuis le début du XIX^e siècle que certaines transformations de minéraux n'ont pu se produire qu'en phase solide : la cristallisation d'origine est maintenue, avec les fissures et les clivages. On en déduit qu'il n'y a pas eu transformation sur le plan cristallographique, tout au moins au niveau du « système » de cristallisation.

Dès lors, afin de conserver le même système de cristallisation, il apparaissait que la presse dont on disposait, ne pouvant aller jusqu'à la fusion, pouvait ne pas être écartée a priori. Le grenat cristallise dans le système cubique (en général sous l'aspect du dodécaèdre rhomboïdal). Les oxydes métalliques seuls se sont transformés dans notre expérience. Il y avait en quelque sorte séparation, du reste de composition aluminosilicatée, de la chromite FeO , Cr_2O_3 , « ramollie » dans une matière à peine modifiée (puisque seule l'alumine amorce une variation, proche de 5 %). Or la chromite cristallise aussi dans le système cubique. Est-ce une coïncidence ? D'autres expériences sur d'autres minéraux permettraient de voir s'il y a seulement possibilité de transmutation lorsque le minéral de départ et celui de fin d'opération cristallisent dans le même système. Car cela n'est pas évident a priori et l'on connaît de nombreux métamorphismes, en phase solide, où il y a changement du système de cristallisation.

On pourrait étudier ce point de cristallographie en utilisant d'autres minéraux, des péridots, des spinelles (olivine...). On verrait aussi si la fusion avec recristallisation est un stade nécessaire pour passer par

exemple de Mg à Ca dont les composés cristallisent dans des systèmes différents. Faudrait-il une température moins élevée, mais allant jusqu'au ramollissement, pas la fusion, pour passer de Si à Al — ou l'inverse ? C'est probable puisqu'à 850° nous avons déjà l'amorce d'une modification de Al, que d'autre part Si et Al (plutôt leurs oxydes) sont modifiés dans le granite, non liquéfié, près d'une explosion atomique souterraine, dans les impactites, même non vitreuses, etc.

C'est en quelque sorte un domaine un peu voisin de la cristallographie qui permet de montrer des affinités stériques et chimiques entre Fe et Cr. Réunis dans un minerai comme la chromite, ils s'allient bien, en métallurgie et il y a d'autres convergences variées (densité du même ordre), des points de fusion également du même ordre (quoique, pour le chrome, sur 10 ouvrages consultés, les divergences sont grandes).

6) Précisions sur les analyses

Les analyses ont été faites au moyen d'une microsonde électronique de Castaing, d'un modèle nouveau, dit de « deuxième génération », complètement automatisée. Il fut utilisé la méthode des dosages ponctuels qui permet une analyse quantitative. Dans le cas présent, il fut réalisé 25 dosages ponctuels de sorte que pour chaque élément on disposait de 25 valeurs inscrites sur une bande à déroulement automatique. Le « facteur personnel » de l'opérateur est ainsi éliminé et c'est pourquoi il ne saurait être question d'un défaut d'étalonnage, etc. Les raies du spectromètre ainsi inscrites ne dépendent en aucun cas de l'opérateur, quant à leur place dans le spectre, ni quant à leur amplitude, à leur intensité. Nous pouvons les considérer comme des valeurs sûres, reproductibles par construction, indépendantes de l'époque où elles ont été faites, comme de l'opérateur. Elles ne sauraient être récusées. On ne peut ici évoquer une quelconque « maladresse » de chimiste si l'on constate des variations entre avant et après passage à la presse.

La microsonde permet de détecter des teneurs très faibles, de l'ordre de quelques p.p.m. Cependant, en dosage ponctuel quantitatif il y a lieu de faire une remarque : les valeurs inscrites sont de faible intensité pour des teneurs de quelques p.p.m. et sur la lecture du tracé il peut y avoir une légère imprécision. C'est à ce stade de la lecture qu'une dispersion des résultats peut se produire. Pour le titane par exemple, il y avait 0,1 % de TiO_2 . Pour cette teneur très faible l'imprécision de lecture est encore voisine de 10 % sur la valeur enregistrée. C'est dire qu'avant mise en pression on avait $0,1 \pm 0,01$ soit peut-être 0,11 ou peut-être 0,09. Après mise en pression on a trouvé pour moyenne 0,08, avec une imprécision voisine aussi de 0,01, donc entre 0,09 et 0,07. C'est dire que dans les deux analyses il est possible que la valeur exacte était de 0,09. C'est pourquoi

nous pouvons dire que le titane n'a pas varié, ou s'il a varié c'est de façon non significative.

Par contre pour le fer, qui était à 9,0 % avant l'opération, la précision de la lecture est supérieure à 1 %. Autrement dit il y avait certainement moins de 9,09 et plus de 8,91 dans le cristal brut. Après pyropression on avait sûrement moins de 8,02 et plus de 7,86.

Pour le chrome, moins abondant, la précision de lecture est voisine de 2 % ; donc moins de 1,43 et plus de 1,37 dans le cristal naturel et dans le cristal pyro-pressé il y avait moins de 2,18 et plus de 2,11.

Ainsi il y a pour Fe et Cr une différence quantitative très significative.

7) Anticipation sur des critiques imaginées

Certains ne manqueront peut-être pas de dire, ou du moins de penser, que de tels résultats sont le signe d'une erreur manifeste d'analyse. Ils imagineront, à tort, que les deux analyses n'ayant pas été faites à des intervalles très rapprochés il a pu y avoir, entre temps, dérive de l'appareil, étalonnage différent, ou que les calculs des moyennes et les lectures ont été faits par des opérateurs différents. Mais nous avons vu que ces analyses ont été faites dans le même laboratoire, par le même appareil automatique. De plus, il était prévu, du fait de la température trop basse, que tout le grenat ne se serait pas transformé. Et en effet, on a obtenu des éléments qui n'ont pas changé. Dans les deux analyses on trouve 5,6 pour CaO. S'il y avait eu une différence d'étalonnage (ou pour tout autre cause) on n'aurait pas trouvé, pour le même élément, la même valeur aux deux analyses. De même nous avons vu qu'il n'y a pas de variation significative sur le titane, pas plus d'ailleurs sur la silice, sur MgO. Si nous faisons confiance aux analyses, nous constatons que pour ces éléments il n'y a pas eu de modification. Nous n'avons pas le droit d'admettre ces changements non significatifs et de rejeter les changements importants, notés sur la bande enregistrée. On ne peut pas prendre les valeurs qui répondent à un dogme et rejeter les autres. On ne peut pas dire que l'appareil est dérégulé pour certains éléments et pas pour d'autres, ce serait nier toute la base de la spectrométrie et il serait antiscientifique de faire un choix arbitraire dans les données que nous avons reproduites. Nous constatons qu'il y a des valeurs inchangées, d'autres qui ont changé, nous n'y pouvons rien et l'appareil ne saurait être récusé.

Ce qui pourrait gêner certains, ici, c'est l'augmentation du chrome et la diminution correspondante du fer. Comment l'appareil pourrait-il se tromper à la fois sur le sens et la quantité de la variation pour ces deux éléments, et rien que pour eux, après des moyennes qui, à chaque analyse,

ont porté sur 25 lectures pour chacun de ces éléments ? Pour une analyse chimique courante, c'est impensable ; c'est totalement impossible, par construction, pour un spectromètre à enregistrement automatique.

D'autant plus que cette « substitution » du chrome au fer est un fait connu des minéralogistes : il se produit dans la nature. Que nous l'ayons obtenu par synthèse ne peut être rejeté, même a priori, sans réfléchir et sans connaître les conditions rigoureuses de l'expérience ici exposée et discutée. Elle a été exécutée avec le maximum de précautions par deux grands organismes officiels de haute réputation scientifique, ayant des moyens matériels bien supérieurs à ce dont peuvent disposer la plupart des enseignants de nos facultés ou de nos grandes écoles. Attendons donc sereinement les objections... s'il y en a à formuler.

8) Extension des recherches

J'ai été long dans la discussion de cette expérience. Cela m'a paru nécessaire afin que l'on voie les raisonnements à faire avant de la répéter. si l'on veut modifier certains paramètres, ou la matière traitée. Cela du fait aussi que c'est une « première » du genre, d'où un peu le caractère de « monographie » donné à ce chapitre. Il faudra certainement étendre cette étude. Peut-être tout d'abord à l'almandin si l'on veut continuer l'étude de la variation du fer et du chrome, puisque l'almandin est riche en fer. D'autres grenats permettront probablement aussi de mieux dominer le sujet. C'est ainsi que la mélanite peut s'écrire $2\text{Fe}_2\text{O}_3 [6 (\text{SiO}_2, \text{CaO})]$ tandis que l'ouwarowite (ou uvarovite) s'écrit $2\text{Cr}_2\text{O}_3 [6 (\text{SiO}_2, \text{CaO})]$. On voit que dans cette dernière, c'est le chrome qui a remplacé le fer. Ce rapprochement supplémentaire montre bien le lien observé en minéralogie entre Fe et Cr et la substitution de Cr à Fe est évidente dans divers minéraux : l'olivine, la serpentine (divers péridots et spinelles etc).

Dire qu'il y a substitution de Cr à Fe (ou de Cr_2O_3 à Fe_2O_3) suppose que du fer est parti. Où ? Que du chrome est venu le remplacer. Venant d'où ? Il faudrait qu'il y eut quelque part dans le voisinage un stock de chrome et qu'il ait migré, obéissant à quelles lois et pourquoi ? Vers les zones où il est « appelé », et cela à travers des roches imperméables. L'inverse pour le fer, qu'on ne retrouve cependant nulle part, pas plus qu'il n'y a de stock de chrome disponible pour migrer. Autrement dit, la substitution s'est faite sur place, au sein des molécules de Fe_2O_3 où sous l'effet de la pression élevée les deux atomes de fer perdent chacun un atome d'hélium, deviennent deux atomes de chrome. Aucune autre explication ne saurait être retenue. D'ailleurs le métamorphisme des grenats, leur présence, ne s'observe que surtout là où le plissement des terrains s'est accentué, jusqu'à la boucle parfois, dans le pendage vertical ou

presque, là où a été appliqué le maximum de la pression tectonique. C'est aussi par une pression très forte que nous avons reproduit le phénomène, constaté la disparition d'une partie du fer, mais non sa migration (il ne pouvait sortir de la presse). De même apparaissait du chrome (plusieurs milligrammes dans notre pyrope de 367 mg), il ne pouvait venir de nulle part dans la presse qui n'en contient pas. Il y a donc bien une transmutation.

Il y a lieu de garder présent à l'esprit le fait que si des éléments, comme le chrome, sont rares dans la nature, c'est que les conditions physiques de leur obtention se placent dans les limites étroites des deux paramètres, pression et température qui délimitent des points d'eutexie. Nous pouvons maintenant, en laboratoire, faire en sorte de reproduire ces points d'eutexie. Il est possible ainsi de passer d'un métal bon marché comme le fer à un métal rare et cher comme le chrome. Si ce passage a pu se faire, dans la nature, c'est aussi que la matière première y existait. C'est donc d'un tel mélange qu'il faut partir au début pour mieux étudier le phénomène, puisqu'on est sûr que tout y est réuni, puisqu'il y a un peu de chrome, mais ce ne saurait être du fer seul, semble-t-il, puisqu'il existe des minerais de fer qui ne contiennent jamais de chrome. Même si l'on ne fait qu'augmenter d'un peu plus de 50 % la teneur en chrome, comme nous l'avons obtenu, ce peut être une opération rentable et en vue d'applications il est indiqué de passer au stade semi-industriel. Rien ne dit que les conditions que nous avons réunies sont les meilleures, économiquement : nous avons seulement montré un point d'eutexie, pour un minéral donné, mais il peut y avoir toute une large surface de diagramme répondant à cette réaction. Faute de matériel en France, la recherche en ce sens ne peut être poursuivie, mais l'intérêt économique est tel que certainement l'industrie explorera cette voie nouvelle.

C — CONSIDERATIONS THEORIQUES

Pour compléter ce chapitre, il m'a semblé utile de présenter quelques aspects théoriques propres à cette réaction de passage de Fe à Cr.

1) Gain de masse dans la réaction $\text{Fe} - \alpha \rightarrow \text{Cr}$

J'ai à différentes reprises, attiré l'attention sur la curieuse déformation professionnelle qui a conduit trop souvent à une représentation classique de physique nucléaire où toute réaction est suivie de l'indication de l'énergie dite « résultante », exprimée en MeV. De sorte que de nombreux

physiciens, et peut-être 90 % des scientifiques, dans leur sillage, ne conçoivent pas une réaction nucléaire sans exprimer des énergies fantastiques. Les grands physiciens bien entendu ne font pas cette confusion.

Cette énergie n'est pas automatique pour toutes les réactions. Elle est calculée. Elle ne se mesure pas nécessairement toujours. L'erreur vient d'une confusion entre variation de masse et désintégration, conversion en énergie. Mais équivalence n'est pas identité. Dans une église il brûle 1 000 cierges qui dégagent (une valeur au hasard, car il y a des cierges de toutes tailles) chacun en moyenne 1 000 calories par heure. Total 1 million de cal/h. Exprimer cette chaleur en kilowatts-heure est une erreur flagrante que font trop de physiciens. La flamme ne travaille pas. Elle dégage de la chaleur. Nous n'avons pas le droit d'appliquer la loi d'équivalence de Joule pour dire que dans cette église il se « perd » x kw/h : il ne s'y produit aucune énergie.

De même évitons les confusions en physique nucléaire. La variation de masse (constatée au spectromètre de masse) s'exprime toujours en unités de masse atomique (u.m.a.). Nous n'avons pas le droit de l'exprimer automatiquement en MeV par un calcul d'équivalence. Cette équivalence est une notion virtuelle, le plus souvent. La différence de masse, dans certaines réactions, peut résulter, en partie, du départ d'une particule (inconnue) s'en allant à faible vitesse, avec une énergie cinétique très faible, et sans charge, difficile à détecter (nous y reviendrons). Cette masse conserve toute son énergie potentielle de désintégration (éventuelle...). Convertir cette masse en énergie est alors une erreur, car une masse qui s'en va ne se désintègre pas nécessairement ; pour la désintégrer totalement il faut lui fournir une énergie telle que puisse se former l'anti-particule. La seule chose certaine, c'est la variation de masse et c'est pourquoi il convient d'écrire, si l'on veut rester sur le plan strictement scientifique, lorsque des expériences directes de mesures d'énergie n'ont pas été faites, uniquement ce qui est certain, la différence de masse, non l'énergie qui n'est qu'une extrapolation presque toujours fautive.

Prenons comme exemple les masses atomiques d'une table où $^{16}\text{O} = 16,0$ et non $^{12}\text{C} = 12,0$ (les valeurs varient avec les auteurs).

Voyons le cas des isotopes stables de Fe et de Cr, liés par la formule :

$$\begin{array}{rcl}
 {}^{54}\text{Fe} & - & {}^4\text{He} & = & {}^{50}\text{Cr} \\
 53,956\ 640 & - & 4,003\ 873 & = & 49,952\ 767 \\
 & \text{Or} & {}^{50}\text{Cr} & = & 49,961\ 640 \\
 & & & & \hline
 & & \Delta & & 0,008\ 873
 \end{array}$$

et il faudrait écrire :



De même on aurait :

$$\begin{array}{rcl}
 {}^{56}\text{Fe} & - & \alpha \\
 55,952\ 640 & - & 4,003\ 873 \\
 & & \hline
 & & {}^{52}\text{Cr} = 51,948\ 767 \\
 & & {}^{52}\text{Cr} = 51,956\ 990 \\
 & & \hline
 & \Delta & 0,008\ 223 \\
 \\
 \text{d'où } {}^{56}\text{Fe} - {}^4\text{He} & = & {}^{52}\text{Cr} - 0,008\ 223\ \text{u.m.a.} \\
 \\
 {}^{57}\text{Fe} & - & \alpha \\
 56,953\ 420 & - & 4,003\ 873 \\
 & & \hline
 & & {}^{53}\text{Cr} = 52,949\ 547 \\
 & & {}^{53}\text{Cr} = 52,957\ 460 \\
 & & \hline
 \text{et } {}^{57}\text{Fe} - \alpha \rightarrow & & {}^{53}\text{Cr} - 0,007\ 913\ \text{u.m.a.} \\
 \\
 {}^{58}\text{Fe} & & = 53,947\ 597 \\
 57,958\ 470 & - & 4,003\ 873 \\
 & & \hline
 & & {}^{54}\text{Cr} = 53,956\ 020 \\
 \\
 \text{et } {}^{58}\text{Fe} - \alpha \rightarrow & & {}^{54}\text{Cr} - 0,008\ 423\ \text{u.m.a.}
 \end{array}$$

On remarquera que pour ${}^{57}\text{Fe}/{}^{53}\text{Cr}$ Δ est de près de 0,001 u.m.a. inférieur à celui de ${}^{54}\text{Fe}/{}^{50}\text{Cr}$, ce qui est assez fréquent pour les Z impairs, moins stables que les Z pairs. Pour ces derniers ici on a $\Delta \sim 0,008\ 5 \pm 0,000\ 3$ en moyenne tandis que sur les isotopes les plus abondants $\Delta \sim 0,008\ 2$ u.m.a.

On voit que, pour ces isotopes, le chrome est plus lourd que le fer diminué de l' α qu'il perd. Ce qui est l'indice d'une réaction endoénergétique : il faut fournir de l'énergie pour réaliser cet arrachement de la particule α du noyau du fer. Cette énergie est fournie sous forme de haute température et de très haute pression, mais nous n'avons pas le droit de passer par un calcul simpliste à une énergie exprimée en MeV, car il n'y a pas nécessairement désintégration de cette différence de masse selon la formule d'Einstein. Equivalence et identité sont deux. Nous ne pouvons pas non plus dire qu'ici l'énergie s'est convertie en totalité en masse, provoquant une augmentation de masse. Nous ne savons pas tout ce qui se passe, à ce niveau. C'est pourquoi, souvent, dans des calculs de ce genre on constate que l'on ne recueille que 2 à 3 % de l'énergie que donne le calcul qui voudrait l'équivalence entre perte de masse et énergie. Il y a donc d'autres phénomènes, que nous ignorons. Les grands physiciens le savent et s'en occupent. A ce jour nous ne pouvons que constater qu'il existe des transmutations non radioactives, sans désintégration ; constatons-le sans prétendre l'expliquer par des lois qui n'ont pas été établies en partant d'expériences de ce genre. Il y a encore bien des inconnues en physique nucléaire et ce serait une erreur de convertir automatiquement, en robot, une masse en énergie en disant qu'entre le chrome et le fer qui

perd un α il y a une différence de masse correspondant à moins de 8 MeV par noyau. Une différence de masse peut avoir pour origine un déplacement d'une masse inconnue et inversement une variation d'énergie ne correspond pas nécessairement à une variation de masse : elle peut résulter du mouvement d'une particule sans masse mais dont la fréquence varie (pour l'onde associée) ; en ce cas on utilise la formule $E = h \nu$; nous y reviendrons. Mais évitons les confusions.

Dans l'expérience ici discutée il y a une différence de masse certaine par nuclide. Une énergie virtuelle a changé. Mais il serait faux de faire un calcul d'équivalence et de dire que cette énergie, résultant d'un calcul inconsideré, se répartit en plus sur chacun des 50 et quelques nucléons de l'un des nuclides, de dire qu'elle a varié de 150 keV environ en moyenne par nucléon. C'est supposer que tous les nucléons sont liés par une même énergie dont on calcule la moyenne par une opération primaire. Nous reverrons cela plus loin. Il y a trop d'écart entre les liaisons internes de certains nucléons et les liaisons entre sous-ensembles d'un noyau. Les faits le prouvent.

2) Essai sur une structure possible des noyaux du fer et du chrome

Tous deux cristallisent dans le système cubique (pour certains oxydes). Cela pourrait-il être une sorte de « reflet » de la disposition protonique ? Voyons la fig. 17. La première ligne schématise à gauche le noyau Cr et à droite le noyau Fe, en ne donnant qu'une structure « en grains » de particules alpha. Il y aurait alors 12 α pour le chrome (en deux blocs accolés de 6 $\alpha = \text{Mg}$). Sur le fer serait un 13^e α , en quelque sorte saillant, plus faiblement lié. Il s'agit bien entendu d'une structure purement hypothétique puisque nous n'avons aucun moyen, pour le moment de « voir » comment est constitué un noyau atomique, mais cette représentation facilite l'explication du mécanisme possible de passage de Fe à Cr.

On peut faire une figuration plus « serrée », plus « compacte », en 2^e ligne. On a un ensemble sensiblement cubique. Toujours un cercle = 1 α . Ou en écartant, on a la figuration de la 3^e ligne, équivalente.

Partant d'une telle représentation on peut supposer qu'une forte pression, la haute température ayant « relâché » un peu les liaisons, si le sens de la pression est convenable (ici une poussée latérale) la particule α isolée, hors du bloc bi-trigonal, pourrait s'arracher et il resterait le bloc compact et stable du chrome ? Tous les atomes de Fe ne pourraient devenir Cr ? Cela dépend de leur position par rapport au sens de la pression ? (y aurait-il une possibilité par chauffage afin de rendre le fer magnétique, de l'orienter dans un champ électromagnétique afin d'ac-

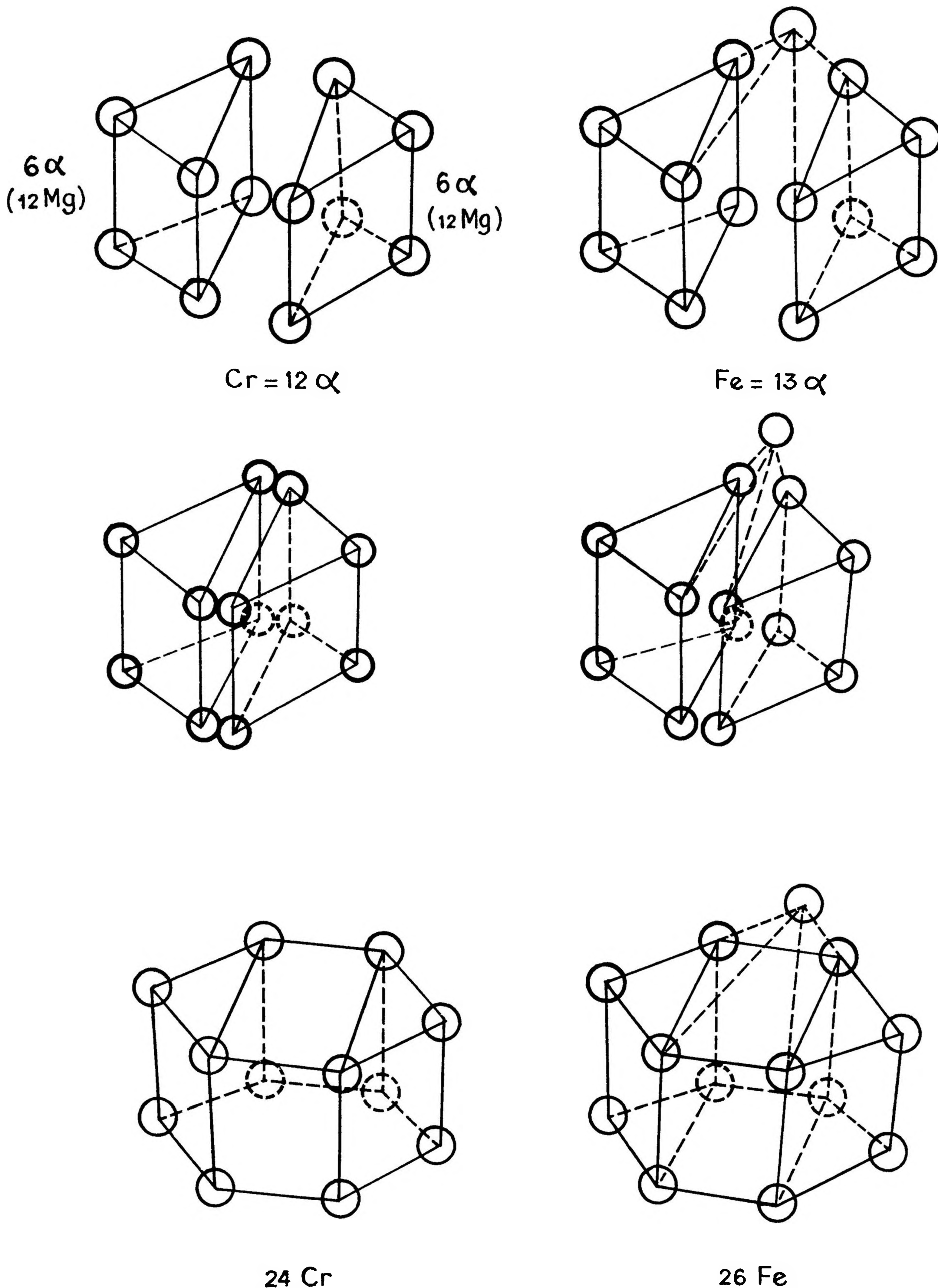


FIG. 17 - Schéma des noyaux des atomes de chrome et de fer
 En haut, les deux blocs de chacun 6 α sont séparés.
 Au milieu, ils sont rapprochés, en cube.
 En bas, autre figuration.

Pour le fer, le 13^e α est placé en saillie (dans ces schémas, il n'est tenu compte que des protons, donc du n^o atomique Z).

croître le rendement, de mettre tous les atomes de fer en position convenable pour être « écorchés » d'un α ?). Ne serait-ce pas là une confirmation de l'effet connu en métamorphisme de la « pression orientée » en fonction des axes du système cristallin ?

Mais aussi n'y a-t-il pas une composition moléculaire favorable, qui place les atomes de Fe dans une position telle que la pression puisse faire glisser l'alpha en saillie ? On remarque que souvent dans les minerais il y a Mg. Quel est son rôle ? « Entraîneur » de la réaction ? le « noyau de cristallisation » puisqu'on peut assimiler le noyau Cr à 2 noyaux Mg frittés ? un rôle de « catalyseur » ; ou seulement un rôle basique car les péridots, les spinelles chromifères sont fortement basiques. Les diopsides chromifères sont fortement basiques aussi : ce sont des composés avec Ca, Mg $(\text{SiO}_3)_2$. On remarquera que le grenat utilisé est basique aussi, du fait de sa teneur en $\text{SiO}_2 < 52\%$. L'olivine est couramment formée de deux parties égales de forstérite Mg_2SiO_4 et de fayalite Fe_2SiO_4 de sorte qu'on peut l'écrire $(\text{Mg, Fe})_2 (\text{SiO}_4)_2$. La chromite est parfois plus complexe, surtout si elle vient de péridots ; elle peut alors être de la forme $(\text{Fe}_2, \text{Mg, Zn}) (\text{Cr, Fe}_3, \text{Al}_2)_2 \text{O}_4$.

Mais on ne peut affirmer que toujours Mg est présent ; dans la chromite pure il n'y a que Fe et Cr ; il n'y en a pas non plus dans l'uvoravite. On trouve un autre minerai, rare, qui est la crocoïse Pb Cr O_4 mais cette forme ne semble pas d'origine métamorphique ; elle serait la résultante d'une action chimique au contact d'une galène ; nous n'en tiendrons donc pas compte ici.

Notre figuration ne positionne pas les neutrons des isotopes stables ; il est probable qu'ils occupent quelques sites dans une maille de particules α pour la cohésion des sous-ensembles (nous y reviendrons). Cela ne signifie pas que ces neutrons se « promènent » n'importe où dans une « maille » de particules α : ils sont couplés à un proton (c'est alors un deuton), ou même parfois le proton est couplé à deux neutrons (triton). Car je pense, et l'ai écrit dans des ouvrages antérieurs, qu'au sein du noyau le triton est stable : tout comme le neutron, il devient instable (radioactif) dès qu'il sort du noyau, ne pouvant plus procéder à des échanges de mésons π avec les protons voisins. On peut penser qu'il y a des cas où le surnombre de neutrons par rapport aux protons (isotopes où $A > 2Z$) où l'échange de pions négatif est triangulaire : un proton et deux neutrons, sans que nécessairement le proton soit le même : le pion —, pendant le temps très court d'un rebondissement, passe d'un proton déjà couplé à un neutron (deuton) à un autre deuton voisin.

L'exposé précédent n'est qu'un schéma très simplifié, adapté à un cas particulier, pour mieux concrétiser ce qui pourrait se passer (si c'était à l'échelle de nos sens...). J'ai donné une vue plus détaillée dans « Trans-

mutations à faible énergie » - édit. 1972, mais là encore c'est une schématisation. J'ai jugé inutile de pousser l'exposé pour chaque nucléon, même pas pour tous les éléments les plus courants, à $Z \leq 30$. Car ce ne pourrait être là, en l'état actuel de nos moyens d'investigation, que pure spéculation et mes ouvrages n'ont pas ce but théorique : ils visent à exposer des faits observés, vérifiables par tous et non à donner une vue théorique personnelle, purement imaginaire et arbitraire. Mais nous nous garderons bien de dire que ces faits apportent un recoupement en faveur d'une structure des noyaux à base de particules alpha. Nous ne la donnons ici que comme concrétisation pour faciliter une explication particulière. Nous ne prétendons pas qu'une structure à base de particules α explique tout ce qui a été observé, même en les regroupant en sous-ensembles plus larges ; dans l'ignorance où nous sommes de la structure réelle d'un noyau, nous proposons un modèle ni confirmé, ni infirmé pour le moment : pas plus.

Application du modèle de Volochine.

Notre modèle de noyau n'est qu'une approximation puisque n'y figure pas la position des neutrons non compris dans les α ; nous avons donné ce schéma simplifié pour faciliter la représentation du mécanisme du passage de Fe à Cr. On peut admettre d'autres modèles plus poussés, puisque, de toute façon, nous n'avons aucun moyen direct de vérifier la structure d'un noyau. Celui de notre collègue Volochine s'exprime par la formule générale ci-après où D est un deuton ${}^2_1\text{H}$ et T un triton ${}^3_1\text{H}$; c'est :

$$\frac{A}{Z} X = (3 Z - A) D + (A - 2 Z) T$$

Pour X = Fe, on trouve pour ${}^{57}_{26}\text{Fe}$: 22 D + 4 T ; pour ${}^{56}_{26}\text{Fe}$: 21 D + 5 T

Pour X = Cr, « « « ${}^{52}_{24}\text{Cr}$: 20 D + 4 T ; « ${}^{53}_{24}\text{Cr}$: 19 D + 5 T

Pour des raisons énergétiques, le groupe α qui a un moment magnétique nul est le plus stable, de sorte que les deutons tendent à se grouper par paires et l'on peut écrire :

$$\begin{array}{ll} {}^{56}\text{Fe} = 11 \alpha + 4 T & {}^{57}\text{Fe} = 10 \alpha + 1 D + 5 T \\ {}^{52}\text{Cr} = 10 \alpha + 4 T & {}^{53}\text{Cr} = 9 \alpha + 1 D + 5 T \end{array}$$

Pour les isotopes correspondants ${}^{56}\text{Fe}$ et ${}^{52}\text{Cr}$, les 4 tritons demeurent inchangés et l'on constate que Cr diffère de Fe par un α en moins. On le vérifie de même pour les autres isotopes correspondants de ces deux éléments et nous donnons l'exemple de ${}^{57}\text{Fe}$ et de ${}^{53}\text{Cr}$.

Le modèle de Volochine conduit ainsi à la même conclusion que par notre modèle simplifié : c'est par perte d'un α que Fe donne Cr. Il y a là une convergence de plus, sur le plan théorique, apportée par la formule de Volochine qui y trouve elle aussi une application inédite.

(Pour les travaux de Volochine on peut consulter, de cet auteur :

Casopis pro pestovani Matematicky A Fysiky (Prague) Année 1923, L II, 3 : 276 ; ainsi que : Report of the meeting of the Polish Soc. of Physics (Warsow) : The structure of the atomic Nuclei, 1925 - p. 61-73 ou encore dans les bulletins et des annexes du Cercle de Physique C.P.A.D., Paris : D. Petrocokino, A 115 ; 1-12, sept. 1966 ; et des publications de E. Fischhoff, notamment : A 162, avril 1973. - Je rappelle que Volochine m'a longuement écrit quelques jours avant sa mort - je n'ai pas eu le temps de lui répondre - afin que j'aie le voir pour étudier les possibilités d'applications de ses formules à mes recherches ; ce qui précède est en quelque sorte un hommage post-mortem à sa perspicacité).

3) En conclusion sur cette expérience

Je crois avoir montré par ce qui précède les divers aspects de l'étude critique que je me suis faite à la suite des résultats précédemment exposés. Si j'ai été l'instigateur, l'animateur, le coordinateur, le commentateur de cette recherche, on voit que je n'en ai pas été l'exécutant. La réalisation est due à des laboratoires officiels, ceux du C.N.R.S. et du B.R.G.M. Je n'ai fait que commenter les résultats ainsi établis officiellement. Les analyses données constituent un document que j'ai soumis à ma propre critique. Je ne peux que m'incliner devant ces résultats et je tente ici de les expliquer. Chacun pourra en faire autant.

A la faculté des sciences de Paris, où j'en discutais avec les spécialistes, il me fut répondu à peu près ceci : c'est curieux, nous ne l'avons jamais constaté. Cependant, m'était-il précisé, s'il est exact que dans les recherches sur la synthèse de roches silicatées nous ne faisons pas « le bilan chimique des produits solides et des solutions », maintenant nous faisons le plus souvent le bilan en ce qui concerne « la diffusion et les échanges de cations dans les silicates ».

C'était l'aveu : les minéralogistes sont obsédés par la chimie et perdent de vue la physique, ne lui donnent pas le pas sur la chimie. La balance des cations est utile. Elle permet de s'assurer qu'il n'y a pas eu une grosse erreur dans les analyses. Mais c'est de la chimie, les cations n'étant que la conséquence d'un mouvement des électrons périphériques. Une telle recherche est sans valeur sur le plan de la physique : lorsqu'il y a transmutation, il ne s'agit que d'une interaction entre ions de même nature ; jamais je n'ai pu établir, jusqu'à présent du moins, qu'il y ait passage d'un cation à un anion et le total des cations reste constant ; je suis bien d'accord avec cet aspect classique. Nous verrons plus loin que si l'on passe de $_{13}\text{Al}$ à $_{14}\text{Si}$ (ou l'inverse) par mouvement d'un proton, on ne passe pas de $_{14}\text{Si}$ à $_{15}\text{P}$. De même on passe du cation Fe^{+++} au cation

Cr^{+++} et la somme des cations reste bien constante. Cela n'a rien à voir avec les transmutations. J'ai d'ailleurs rappelé cette constance des ions (des charges) dans mon ouvrage de 1972 et montré la corrélation avec les règles empiriques du yin-yang.

La somme des convergences réunies constitue un faisceau solide de preuves montrant qu'il s'agit bien d'une transmutation réalisée par un moyen inemployé jusqu'à présent par d'autres. Il s'agit là d'une transmutation par « clivage », par « arrachage » d'un groupe stable de nucléons à partir d'isotopes stables d'un élément pour donner des isotopes stables d'un autre élément. C'est là le principe de base des réactions que j'ai mises en évidence en 1959 et longuement confirmées depuis.

Dans cette opération sur un grenat, le « sous-ensemble » enlevé est une particule α , un noyau d'hélium, et j'exposais cette structure à base d'hélium dans mon premier ouvrage de 1962. Peut-on espérer obtenir d'autres transmutations de ce genre, par la même méthode ? C'est probable, mais jamais on ne peut l'affirmer d'avance, seule l'expérience tranchera.

Je pense avoir fait procéder à une expérience sélective en ce sens que la fusion du minéral n'était pas atteinte. Cela permettrait de conserver le système cristallin, de passer d'un minéral à l'autre du même système. D'autres expériences montreront s'il est indispensable de passer par la fusion pour obtenir un nouveau minéral cristallisant dans un système différent. Là d'ailleurs des travaux à dépouiller et à regrouper existent puisque, depuis le début du XIX^e siècle des métamorphismes de synthèse ont été réalisés par la fusion et les recherches seront à compléter, en utilisant la technique moderne des très hautes pressions. La coexistence de minéraux cristallisant dans des systèmes différents, lors d'une fusion, suivie d'un recuit, est d'ailleurs mise en évidence par les recherches d'Akella, de G. Kennedy et de toute l'école américaine, qui va à la fusion prolongée.

Nous avons vu que lorsque les conditions eutectiques sont réunies, une transmutation se fait très vite, puisque nous n'avons pas atteint 5 minutes à 850°C sous 50 kb pour constater la formation de chrome à partir de fer.

Notre but a été essentiellement de montrer comment réaliser une expérience relativement simple permettant d'étudier des transmutations d'un genre nouveau et pas d'imaginer ce qui pourrait être tenté. Ce ne sont pas des idées que nous apportons, mais des faits, une preuve que cela existe bien. Il convient en effet de remarquer que toutes les opérations ont été faites dans des laboratoires officiels, en dehors de ma présence, dans l'ignorance absolue des chercheurs de ce que je souhaitais vérifier, puisque je n'en avais même pas la notion, dans de telles circonstances, car c'était une première expérience et j'ai fait état des réflexions variées qui se

présentaient à mon esprit. Il m'était impossible d'influencer ces chercheurs, même involontairement. Plus même, ils s'ignoraient : le laboratoire du C.N.R.S. qui a passé le pyrope à la presse ignorait la composition de ce pyrope, avant comme après cette opération : ce n'est que l'expérience totalement terminée (mars 1973) que je lui ai communiqué les résultats, à titre d'information. Le laboratoire du B.R.G.M. qui a fait les analyses à la microsonde électronique opérait sur un échantillon dont il ignorait tout, sachant seulement qu'il avait à analyser un cristal de pyrope. Il n'est donc pas possible de m'imputer ces résultats, de supposer que j'aie pu les « orienter », plus ou moins inconsciemment même. Je n'ai fait que les collationner et je livre ces valeurs telles que je les ai reçues. Je commente, et tout lecteur pourra en faire de même à partir de ces mêmes données. Pour moi, la seule conclusion est qu'il y a eu « variation de la matière », donc transmutation, non radioactive (un dégagement d'hélium n'est pas de la radioactivité, car ici α est « arraché » directement). Cela par une voie tout à fait différente de celle que suit la physique nucléaire classique depuis 1919 ; celle-ci, dans certains cas, peut aussi observer l'expulsion d'un α , mais c'est un rejet consécutif à l'absorption d'une autre particule, c'est une radioactivité induite, alors qu'ici nous avons une transmutation soustractive d'un α .

Ce que j'ai diffusé depuis 1959 est ainsi confirmé : il y a des structures, tout au moins de certains atomes, qui ne sont pas celles qu'on a imaginées et ces aspects théoriques vont être abordés dans les chapitres suivants.

Pour terminer ce chapitre, je me dois de mettre en garde contre des tentatives simplistes qui seraient vouées à l'échec : on n'étudiera pas la transmutation du fer par exemple en opérant sur du métal pur dans le but de rechercher s'il s'est produit un autre élément. Soumettre du fer pur à une très haute pression, ne peut modifier que ses caractéristiques physiques, son volume, sa densité, sa conductibilité électrique, sa valence etc. On écrase les atomes, on force les électrons à pénétrer dans les couches électroniques sous-jacentes ; on transformera par exemple un semi-conducteur en métal comme dans le cas des éléments du groupe IV de la classification périodique. Tout cela est bien connu, dit-on et déjà en 1910 P. Termier écrivait : « Les actions dynamiques déforment, elles ne transforment pas ». Car je suis quand même conduit à quelques réserves : cela ne vaut que pour la pression, pas pour la température et malgré le grand nombre d'études faites, tous les éléments n'ont pas été explorés dans des conditions variées de température et de pression. Il n'est pas interdit de penser à d'autres exceptions aux règles de la physique classique. Je pense au plomb 206 (qui est dit stable) et à d'autres du même genre, que nous verrons plus loin. Il n'est pas impossible qu'un élément puisse être « cassé en deux » sous l'effet d'une pression « bien appliquée » qui le fera éclater

en deux morceaux égaux (tout comme une pression progressive, sans choc, peut faire éclater une noix si la pression est appliquée dans le plan de son « clivage ») ; c'est le cas du plomb 206, qui se coupe exactement en deux pour donner du niobium, sans choc, par une excitation convenable et nous y reviendrons.

La présente expérience aura surtout des répercussions directes et immédiates en physique nucléaire théorique, mais aussi dans les sciences appliquées, la pétrographie, la minéralogie, la géochimie, la géophysique et toutes les spécialités rattachées plus ou moins directement à la géologie : la volcanologie, la cosmogénèse etc...

Sur le plan pratique, il est à penser que des voies nouvelles vont s'ouvrir à la métallurgie qui y verra une possibilité d'enrichir fortement ses minerais de chrome, puis, peut-être, de passer directement de certains composés du fer à des composés du chrome, le problème pouvant être lié à des questions stériques qui mettent l'atome de fer en position favorable pour présenter son $13^e \alpha$ en un site molaire orienté, où la pression puisse l'arracher. Ce serait à voir tout d'abord avec de la mélanite pour vérifier si elle peut donner de l'uvarovite dont les formules moléculaires sont les mêmes, à part que dans le second grenat l'atome de chrome remplace l'atome de fer du premier.

D — OUVERTURES SUR LA METALLOGENESE

Ce qui précède ne peut-il constituer une hypothèse de travail pour pousser plus avant l'étude de la métallogénèse, entendue aussi dans le sens d'une possibilité de production de certains métaux ?

On peut constater en effet que certains éléments présentent entre eux des convergences pour le moins curieuses. Par exemple on peut se demander pourquoi il y a un seul isotope stable ^{55}Mn et un seul isotope stable ^{59}Co , comme si Co s'était formé à partir de Mn avec adjonction d'un α ?

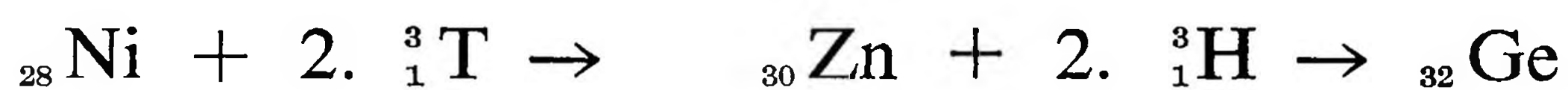


Certes il s'agit d'éléments à Z impair et pour ceux à Z pair il y a davantage d'isotopes stables, ce qui se comprend. Mais l'écart d'un α est-il seulement une coïncidence ?

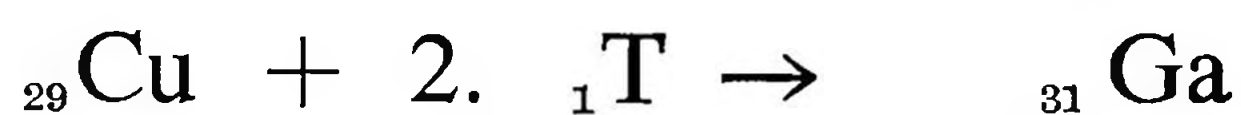
On pourrait encore se demander si P ne serait pas apparu sur la Terre plus tard, à partir de Al ? Ce serait $^{27}_{13}\text{Al} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{31}_{15}\text{P}$? Mais, à ce jour, nous n'avons pas le moindre fait, même en biologie, qui nous

permette de penser que l'on puisse passer d'un cation à un anion. Il est vrai qu'en biologie nous n'avons jamais rencontré le passage d'un élément à un autre présentant, sur le plan formel, un écart d'un α .

Il apparaît d'autres rapprochements qui ne s'expliquent que par des déplacements de tritium. C'est ainsi qu'on peut écrire :



Et aussi :



avec, comme isotopes	63 = 69,1 %	69 = 60,2 %
	65 = 30,9	71 = 39,8

Il y a là une assez bonne correspondance quantitative entre isotopes, mais il serait prématuré de dire qu'il y a une filiation entre eux. De même, dans les réactions précédentes, il est curieux de constater que tous les isotopes stables de Ni donnent tous les isotopes stables de Zn, avec 2 tritons, et tous ces isotopes de Zn, avec 2 tritons, donnent tous les isotopes stables de Ge. Nous ne donnons pas le détail ; on pourra se reporter aux tables d'isotopes, car on peut se demander s'il ne s'agit pas là d'une conséquence d'un phénomène qui nous échappe (même si l'on fait l'inverse : passer de Zn à Ni) et que cela n'implique nullement que l'un dérive de l'autre. Nous n'insisterons pas sur ces cas qui ne sont pour le moment que pure spéculation intellectuelle, pour voir plus en détail les possibilités de dérivation par $\pm \alpha$, où nous disposons d'une expérience et d'un grand nombre d'observations convergentes.

Nous avons longuement décrit l'expérience montrant que l'on passe de Fe à Cr avec $-\alpha$. Nous ne devons pas rejeter a priori d'autres réactions de ce type, et l'on peut penser, en cosmogénèse, que Mg aurait pu venir de Si. En effet, on a :

	${}_{14}\text{Si} - {}_2\text{He} \rightarrow$	${}_{12}\text{Mg}$
isotopes	28 92,3 %	24 78,6 %
	29 4,7	25 10,1
	30 3,0	26 11,3

Là, comme dans les autres exemples, à l'isotope le plus abondant de l'un correspond l'isotope le plus abondant de l'autre, et il n'y a pas d'autres isotopes stables pour Si et Mg. On peut aller plus loin. Dans certains pyroxènes le groupe (Mg, Si) peut être remplacé par Al_2 ; or on peut écrire ${}_{12}\text{Mg} + {}_{14}\text{Si} \rightarrow 2. {}_{13}\text{Al}$, réaction vérifiée pour tous les isotopes stables de Mg et de Si si l'on ajoute à l'isotope le plus léger de Mg le plus

lourd de Si ; ou plutôt les isotopes de masse croissante de Mg s'unissent aux isotopes de masse décroissante de Si et l'on a :



Ce remplacement de (Mg, Si) par Al_2 s'observe dans certaines augites. Si une telle réaction de transmutation était vérifiée, on pourrait se demander s'il n'y a pas filiation directe entre Al, Si, Mg, dans la cosmogénèse ? Si, par perte d'un proton, aurait donné Al, mais uniquement le 28 Si, donnant le 27 Al ; puis Al, sous des influences physiques diverses, aurait donné tous les isotopes stables de Mg et de Si ; d'où le mélange de Si et d'Al (Sial), tandis que plus en profondeur, là où se serait faite la dissociation d'Al, on aurait vu apparaître Si et Mg (Sima) ? Mais nous avons vu aussi que Mg pourrait venir directement de Si (autre convergence pour le Sima).

Dans les réactions avec $\pm \alpha$, la différence isotopique est plus sensible entre le chrome et le titane. Nous avons vu les isotopes du chrome et leur pourcentage. On peut penser à la réaction $^{24}\text{Cr} - {}_2\alpha \rightarrow {}^{22}\text{Ti}$. Mais une correspondance quantitative approximative n'existe pas entre isotopes stables et de plus le 47 de Ti (7,75 %) ne peut pas venir du chrome (il est peu probable qu'il vienne de $^{20}\text{Ca} + {}_2\alpha$). Rappelons que dans le pyrope étudié précédemment, Ti est, en moyenne, 18 fois moins abondant que Cr. Aussi l'origine de Ti reste-t-elle très incertaine. On peut imaginer l'inverse et se demander si Cr ne viendrait pas de Ti ? Mais les mêmes difficultés subsistent. Certes on peut dire que Ti a peut-être préexisté lors de la condensation de la masse terrestre. Il est relativement abondant dans la croûte terrestre. Il se place dans les 10 éléments les plus abondants (qui représentent 99,34 de la composition, estimée, de cette croûte ; il y figure pour 0,62 % de cette masse). Il ne s'agit là bien entendu que d'une extrapolation très incertaine, à partir d'un nombre limité d'analyses, en général peu profondes. Mais dans les premiers kilomètres de l'épaisseur de la couche terrestre, c'est un ordre de grandeur. Il apparaît comme très dispersé, presque partout présent, en faible quantité, car il est le seul, avec le silicium, à présenter la propriété de voir ses oxydes se combiner aux oxydes métalliques. Cette dispersion conduit à penser qu'il est rarement à une abondance qui puisse expliquer la concentration des minerais de chrome, ce qui semble bien un recoupement de plus pour dire que Cr ne peut venir de Ti ; alors que Cr ne se trouve que là où il y a Fe.

Ses minerais contiennent parfois Ca et Si (sphène) ; parfois Mg dans d'autres minerais. La discussion de la composition de son principal

mineral, l'ilménite, pas plus que celle du second mineral important, le rutile, n'apporte pas assez de convergences pour orienter des essais, avec quelques chances. Ou bien faudrait-il envisager une autre réaction non encore étudiée : celle du déplacement de 2α ? (Fe — 2α ?)

Peut-on retenir, pour orienter une recherche, un passage éventuel de fer au nickel ?

	${}_{26}\text{Fe} + {}_2\text{He} \rightarrow$	${}_{28}\text{Ni}$
isotopes	54 5,81 %	58 67,7 %
	56 91,64	60 26,2
	57 2,21	61 1,2
	58 0,34	62 3,7
		64 1,2

La correspondance quantitative est moins bonne qu'entre Fe et Cr. De plus il y a dans Ni l'isotope 64 qui ne peut pas venir de Fe. Cela nous conduit à penser que tout le nickel ne peut pas venir du fer, qu'il y a une ou plusieurs autres origines ? Ou qu'il a préexisté à la solidification de la Terre ? Il est peu probable que le ${}^{64}\text{Ni}$ vienne de ${}^{65}\text{Cu}$ par perte d'un proton : ${}_{29}^{65}\text{Cu} - {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_{28}^{64}\text{Ni}$.

Cependant la corrélation quantitative entre isotopes n'est pas une règle absolue, car le problème n'est pas simple. On sait qu'il y a des variations non négligeables qui résultent de différences de dynamique physico-chimique entre isotopes, réglant leur concentration, d'où d'ailleurs des procédés très variés de séparation isotopique. Mais ici l'écart quantitatif ne saurait être expliqué même par des brassages gazeux de convection dans la masse liquide, procédé habituel des enrichissements en isotopes lourds et seule une expérience permettrait de dire s'il y a passage de Fe à Ni. On ne peut bien entendu l'exclure a priori puisque l'on sait que ces deux éléments sont liés dans les météorites. Mais coexistaient-ils dans le condensat gazeux qui a formé le système solaire ? La densité de Mars peut faire penser que non, de même pour la Lune. Mais la Terre et la ceinture d'astéroïdes qui nous vaut les météorites (ancienne planète ?) auraient Fe + Ni, sans cependant que cela implique la présence simultanée de ces deux métaux lors de la formation du magma qui est à l'origine de la Terre ou de cette planète « éclatée » ? La formation de Ni se serait-elle produite sous l'effet de l'hélium emprisonné dans la masse liquide, non encore dégazée, de la haute température, de la forte pression, à partir du fer qui, lui, préexistait ? Il faudrait mieux connaître la composition interne des autres planètes pour aller plus avant dans ces spéculations.

Nous ne pouvons proposer qu'un faisceau de convergences, mais en n'oubliant pas que le principal mineral de Nouvelle-Calédonie, la garniérite, pour une teneur moyenne de 7,0 % de NiO, contient 13,5 % de

Fe_2O_3 ; il y a très peu d'alumine : 0,8 %, ce qui fait que nous pouvons éliminer toute intervention d'Al ; Ca est insignifiant aussi ; seuls Mg et Si sont importants. Est-ce Si (7 α) qui, par pression pourrait céder cet α impair, en « flèche », stériquement, par la pression (comme on l'a vu pour Fe pour donner Cr) et donner Mg ? Perdant un α , Si deviendrait Mg de sorte qu'une telle opération de thermopression conduirait à une augmentation de Ni, à une diminution de Fe ; il y aurait en outre une diminution de Si, une augmentation de Mg ? Seule l'expérience le dira (il serait intéressant de pouvoir comparer les analyses, au même endroit de la mine de nickel, du minerai riche, du minerai pauvre et de la roche encaissante).

Pour produire du cobalt nous avons vu qu'on pourrait penser à Mn, lui-même venant de Fe par perte d'un proton ? Mais pour le cuivre, métal important dont les réserves semblent bien faibles, il conviendra peut-être de penser à une réaction dont nous avons fait état en 1963 : $^{26}\text{Fe} + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}_{29}\text{Cu}$. Mais seuls deux isotopes du fer seraient « actifs » ? ^{65}Cu , avec 30,9 % viendrait alors de ^{58}Fe , peu abondant (0,34 %) ? Mais il y a beaucoup de fer et peu de cuivre (et peu de lithium...) : dans beaucoup de gisements le fer est en « grains » recouverts en surface d'une mince couche de cuivre, et la teneur des gisements exploités est parfois inférieure à 0,5 % ; dans les gisements les plus riches on ne dépasse guère 4 % de Cu, le reste étant le fer et la gangue. L'isotope le plus abondant, ^{63}Cu (69,1 %), dans cette hypothèse viendrait de ^{56}Fe , qui est le plus abondant (91,64 %). Il nous avait semblé que ce cuivre résultait d'une transmutation du fer par l'action de micro-organismes, mais il n'est pas exclu de tenter de passer à une réaction par pyropression. Dans le sang, Fe et Cu évoluent en sens inverse ; on trouvera bien des détails dans « Transmutations à faible énergie » ; voir aussi en référ. l'étude du prof. Masoero, de l'université de Turin. Ce ne sont là que des indications, des orientations pour amorcer des recherches à plus grande échelle, et peut-être même verra-t-on que le fer pourrait être une formation ultérieure à la « création » de la Terre, à partir du « Sima », etc ?

E — NECESSITE DE REPENSER LE METAMORPHISME

J'ai cité précédemment des résultats d'analyses faites par le B.R.G.M. Cet organisme transmet ces valeurs numériques sans commentaire. C'est dire qu'en aucun cas on ne peut lui imputer quoi que ce soit dans un commentaire qui est dû à ma seule initiative. Cette expérience m'a conduit à dire que les « explications » classiques sur le métamorphisme n'ont pas toutes un caractère scientifique. Certains aspects relèvent d'un postulat. Ce qui peut être démontré.

On nous dit : il est « évident » qu'il y a dans un cristal « substitution » d'un cation à un autre. C'est simple, c'est clair, c'est logique, solide, rationnel, irréfutable etc. En fait c'est partir d'un dogme qui nous a été légué par la Bible : la Terre a été créée telle qu'elle est, et pour l'éternité. Ce que nos « rationalistes modernes » interprètent en disant qu'à la Création il a été mis « en place » x , à la $n^{\text{ième}}$ puissance de 10, atomes de chrome, de fer etc. Depuis cette date aucun autre créateur n'est venu, donc « rien ne se crée », tout reste en l'état ; par conséquent « rien ne se perd » non plus. On comprend très bien qu'une telle croyance ait pu être admise de tous, du temps de Moïse, mais que de nos jours de prétendus « scientifiques » en fassent la base de leur « raisonnement » ne peut que faire sourire. Qu'on leur rappelle que depuis le début du XX^e siècle on connaît la transmutation naturelle radioactive, et qu'en 1919 on réalisait la première transmutation artificielle. Mais n'y a-t-il pas eu, dans la Nature, à des époques diverses, d'autres transmutations encore, inconnues de la physique nucléaire classique ? Nous avons montré expérimentalement que tout ce qui vit produit des transmutations et qu'en géologie on en observe d'autres, d'un autre genre. C'est dire que la pérennité des atomes n'est pas observée, qu'il n'y a pas que des réactions de chimie avec passage d'un atome d'une molécule à une autre molécule, qu'il y a création et disparition de « matière », dans le sens d'une transmutation.

Admettre l'invariance de la matière en géologie est retarder sérieusement, et malheureusement cette position anti-scientifique est encore trop répandue. Citons des exceptions, comme P. Bellair et Ch. Pomerol qui p. 13 de leur traité « *Éléments de Géologie* » écrivent que si l'on estime constant le rapport quantitatif entre éléments chimiques, « ce faisant, on fait le postulat que tous les éléments chimiques ont pris naissance en même temps et que leurs proportions primitives ont été seulement modifiées par les réactions thermonucléaires et la radioactivité. En d'autres termes on postule non seulement l'unité de l'Univers, mais encore sa permanence foncière ». Certains professeurs de géologie ne sont donc pas dupes.

En minéralogie il faut toujours garder présente à l'esprit la possibilité d'une transmutation, lors d'une orogénèse par exemple, où des pressions considérables sont mises en œuvre. Le métamorphisme ne saurait non plus l'oublier et cependant on continue par trop à esquiver la vraie explication. On continue, sur la lancée du XIX^e siècle, à parler de « substitution », « d'apports », de « départs » et autres images aussi simplistes que fausses.

Si dans un grenat, soumis à une haute pression, il y a augmentation du chrome, diminution du fer, pourquoi dire béatement que « nécessairement » c'est qu'un cation de fer est « parti », qu'il a été remplacé par un « apport » de chrome. Mais apporté d'où ? Pourquoi affirmer, sans vérifier, sans réfléchir ? Car il y a là de multiples impossibilités.

Pour qu'un cation se déplace dans un cristal on déclare souvent qu'il faut qu'il soit en solution, mais comment migrer dans un minéral imperméable, pratiquement du moins. Cependant l'observation conduit à dire que la plupart des métamorphismes se font en phase solide ; les déplacements d'atomes, ou d'ions, s'il y en a, sont très limités et il ne saurait en aucun cas être question de transports à grande distance, à partir d'un hypothétique « réservoir ». On conçoit que dans un magma liquide, par convection, les ions se déplacent et au refroidissement ils pourraient être captés, préférentiellement par telle ou telle formation moléculaire, en fonction des forces attractives ou répulsives voisines. On aura alors une composition chimique différente, avec de nouveaux composés, sans que le stock total des atomes de chaque élément ait nécessairement changé, dans ce milieu liquide. Mais s'il n'y a pas liquéfaction ce « brassage » des ions est impossible.

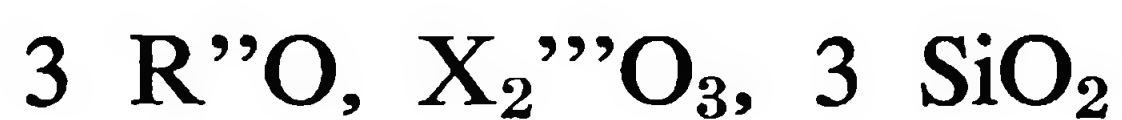
Nous avons vu dans l'expérience sur un grenat que nous sommes restés bien en dessous de la température de fusion, qu'il s'est bien agi d'un métamorphisme en phase solide. Dans cette expérience il a été exploré un grand nombre de points. C'est un résultat moyen que nous donnons, sur des dizaines de milliards de molécules pour chaque impact : n'oublions pas que la sonde électronique n'explore pas que sur une surface ; les électrons ne sont réfractés qu'à la suite d'un parcours dans la matière jusqu'à environ 1 micron de profondeur et les molécules ne font que quelques angströms (admettons 10 en moyenne, quoique en général elles sont $< 10 \text{ \AA}$). Le faisceau d'électrons incidents trouble le cortège électronique des atomes sur une profondeur qui peut représenter dans certains cas une superposition d'environ 1 000 molécules, plus même, sur une surface couvrant parfois 200 millions de molécules, de sorte que chaque impact intéresse plusieurs dizaines de milliards de molécules. On dispose donc d'une intégration importante de résultats à l'échelle moléculaire.

Nous ne songeons nullement à récuser les bases de la cristallographie ; nous admettons que dans une maille cristalline il puisse y avoir tel ion ou tel autre, pas n'importe lequel, mais nous nous refusons de croire que si, dans une molécule, on trouve du fer, dans une autre du chrome c'est que « nécessairement », dans celle où il y a du chrome, le fer est parti et du chrome est venu le remplacer. Cette prétendue « substitution », ainsi comprise, est inexacte ; ce n'est qu'une vue de l'esprit, jamais vérifiée ; elle est là pour satisfaire le dogme de l'invariance de la matière. Il est indispensable, si l'on tient à ce terme, de le nuancer, car son acception courante peut être erronée. Il peut y avoir, pour des raisons chimiques entre autres, des molécules avec des cations différents, mais encore faudrait-il savoir d'où viennent ces cations.

La particule α est ionisée ; elle a perdu ses deux électrons (He^{++}). Si nous arrachons un α à l'atome Fe, que nous partons d'un atome de fer

ayant perdu 3 électrons (Fe^{+++}), nous nous trouverons avec un atome de chrome qui sera déficitaire aussi en 3 électrons et on aura Cr^{+++} . On comprend dès lors que le remplacement de Fe par Cr ne modifie pas le nombre de cations et de cations de même valence, car sinon le nouvel atome n'aurait plus sa place dans la molécule. Bien entendu si les électrons de covalence ne sont pas modifiés, il n'en est pas de même des autres électrons ; sur le plan atomique il y a dans le chrome non ionisé un électron de moins sur la couche extérieure N et un de moins sur la couche M ; Fe et Cr sont des éléments de transition, où la sous-couche d de l'avant-dernière couche électronique M est incomplète.

Rappelons que la formule générale d'un grenat peut s'écrire :



R = cations bivalents, X = cations trivalents

avec R = (Ca, Mg), (Fe, Mn) (l'un ou l'autre)

X = Al, Ti (Fe, Cr) (id)

Nous comprenons dès lors que c'est sur X que se fera le remplacement de Fe^{+++} par Cr^{+++} ; il ne peut pas se faire sur R ; si Fe varie dans R, ce sera par perte d'un proton (ce qui ne change pas le nombre d'électrons de valence) pour laisser Mn. Ou l'inverse, si Mn diminue, c'est Fe de R, donc FeO qui va augmenter, tandis que cela ne peut jouer sur Fe trivalent de X. On s'explique ainsi que l'on ait été conduit à écrire la chromite FeO, Cr_2O_3 . Le Fe^{++} de FeO ne serait pas transmutable en Cr et c'est pourquoi dans le minerai on reste avec la partie FeO ? La position stérique de l'atome de Fe dans une molécule ne serait pas indifférente ?

Dans le schéma général des grenats sus-indiqué il convient de préciser que toutes les combinaisons des divers éléments ne sont pas observées. Il y a des possibilités et des impossibilités.

C'est ainsi que pour la voie a), quand R = Ca, il n'existe que X = Cr (uvarovite), Al (grossulaire) et Fe (mélanite), tous trivalents.

Pour la voie b), quand X = Al, on ne trouve que R = Mg (pyrope), Fe (almandin) ou Mn (spessartine), tous bivalents ; Ti reste isolé et peu abondant.

Cependant il peut y avoir dans chacune de ces voies des miscibilités plus ou moins faciles : dans la voie a), où R = Ca, pyrope et almandin se mélangent très bien ; de même almandin et spessartine. Dans la voie b), où X = Al, les mélanges sont courants aussi. Par contre il y a rarement des mélanges de a) et de b) en proportions appréciables. Cependant certains grenats naturels sont des mélanges de tous ces éléments en plus ou moins grande quantité. On remarque que dans la molécule de R, Ca peut être remplacé en série continue par Mg : on passe de Ca = 100 et

Mg = 0 à Mg = 100 et Ca = 0, avec tous les intermédiaires. De même on peut passer de Fe à Mn. Le premier suppose une transmutation avec \pm O, le second avec \pm H. Quant à X, avec Al (voie b), on observe le passage continu de Fe⁺⁺⁺ à Cr⁺⁺⁺, ce que nous ne comprenons que par un déplacement d'un α .

Dans le grenat qui nous a servi il y avait déjà un peu de chrome. Notre expérience laisse penser qu'il a probablement été formé à une pression inférieure à 50 kb, puisque, reprenant ce minéral où Cr a commencé à se former, en le soumettant à une pression de 50 kb on augmente de plus de 50 % sa teneur en Cr, au détriment de Fe. Il nous paraît comme seule explication possible qu'il ne peut s'agir là d'une « substitution », au sens classique du terme, par migration, puisque Fe n'a pas pu partir, Cr n'a pas pu entrer. Il ne peut y avoir qu'une transmutation, sur place, sous l'effet d'une très forte pression avec élévation de température. C'est là le processus normal de formation du chrome en métallogénèse ; nous n'avons fait en somme que reprendre ce qu'a fait la Nature.

Il y a une autre preuve irrécusable en faveur d'une transmutation et nous y avons fait allusion. S'il y avait déplacement, migration, il faudrait bien que Cr qui apparaît vienne d'ailleurs, où il préexistait. Or dans l'olivine, qui contient Fe, il n'y a pas Cr. Soumis à forte pression et élévation de température, il se forme, au sein de l'olivine, des nodules de chromite. Ce chrome n'a pas pu venir de l'extérieur, à travers un minéral imperméable, et où aurait été sa « source » ? Il s'est formé sur place en se « nourrissant » de fer d'une partie de la fayalite qui, perdant un α devenait chrome. On pourrait faire la même constatation en partant des grenats trouvés dans la stéatite. Celle-ci ne contient pas de Cr, alors qu'on en trouve dans les grenats qui s'y sont formés.

**

Nous avons pris comme exemple le grenat comme minéral métamorphique, puisque là nous disposons d'une expérience irrécusable pour montrer qu'il n'y a ni « départ », ni « apport ». C'est donc bien que la notion de « substitution » est à repenser, à nuancer, qu'elle n'est pas nécessairement vraie dans tous les cas. Bien entendu, pour la stabilité moléculaire le cation qui apparaît est de même valence que celui qui disparaît. De même la dimension des mailles est telle qu'on ne peut pas toujours remplacer un ion par un autre de même valence ; le rayon atomique joue, quoique ce ne soit pas absolu. Ce sont là des problèmes de physico-chimie bien mis en évidence et qui ne sauraient être remis en question. Mais il ne s'agit que d'un problème partiel et la physico-chimie classique n'explique pas tout ce que l'on observe.

Des professeurs de géologie commencent à le dire, après les géologues professionnels, qui l'ont constaté et écrit depuis le siècle dernier. Mais l'enseignement est toujours lent à reconnaître la vérité ; les dogmes ont la vie dure. De nos jours encore rares sont les enseignants qui ont le courage intellectuel de déchirer quelques lambeaux du voile qui masque la réalité. Citons à nouveau P. Bellair et Ch. Pomerol qui, dans l'étude du métamorphisme de leur traité « *Eléments de géol.* », p. 178, déclarent que si le remplacement d'un atome, d'un ion, d'une molécule par un autre constitue la métasomatose, ce « départ », inséparable d'un « apport », est un mécanisme qui « reste encore partiellement inexplicable ». Il est inexplicable par les données classiques, tandis que tout s'éclaire par la transmutation, mais elle aussi soumise à des règles strictes qui limitent les « métasomatoses ». Le dogme est donc mis en doute par des enseignants, c'est une petite ouverture vers une étude vraiment scientifique, où tout sera dosé, où l'on ne procédera pas par des soustractions ou des additions calculées, non vérifiées, pour respecter un postulat totalement dépassé.

*
**

Pour amorcer le stade industriel, il sera préférable, au début, d'utiliser des minerais du métal recherché : sa présence indiquera que le mélange de minéraux qui constitue la roche, le minerai, est de nature à produire ce métal. On verra par exemple si un spinelle MgO, Fe_2O_3 , ou dans le même groupe, la magnétite FeO, Fe_2O_3 peut donner la chromite FeO, Cr_2O_3 , en se souvenant que seul Fe_2O_3 peut donner Cr_2O_3 , que FeO restera un « radical » constant, de liaison stérique en quelque sorte, mais que le fer de FeO n'est pas convertible en chrome ? On verra si la magnétite est indispensable, ou si le spinelle avec Mg , peut être utilisé, ou un autre spinelle où Mg serait remplacé par Mn , dans la première partie de la formule, la seconde restant toujours Fe_2O_3 , pour donner le chrome. Pour commencer on pourra partir d'un spinelle chromifère et l'opération pourrait aboutir à un enrichissement, ce que nous avons vu pour le grenat. Des minerais très pauvres en Cr semblent pouvoir être utilisés, s'ils contiennent une quantité importante de Fe_2O_3 sous une forme appropriée, à rechercher. L'opération revient à compléter ce qu'a amorcé la Nature, et qu'elle n'a pas mené à son terme, parce que là où la matière première existait, la pression tectonique et la température étaient trop faibles. Nous connaissons maintenant les conditions à réunir pour réussir un fort enrichissement en chrome ; ces conditions seront à varier pour rechercher les paramètres les plus avantageux, sur le plan économique ; il existe des matériels modifiables pour opérer sur des kilogrammes de matière, donc pour conduire une recherche au plan semi-industriel et il est évident que l'impact économique de ces travaux peut être considérable.

Un exemple de révision du métamorphisme des roches.

Il est évident que divers aspects du métamorphisme des minéraux seront à réviser aussi. En voici un exemple.

Nous avons vu la formule générale des grenats. Voici celle des spinelles : $R''O, X_2'''O_3$. R'' peut être Mg^{++} , Fe^{++} ou Mn^{++} . X''' est Al^{+++} , Fe^{+++} , ou Cr^{+++} dans les cas les plus courants. MgO, Al_2O_3 est le spinelle proprement dit ; FeO, Fe_2O_3 est la magnétite ; FeO, Cr_2O_3 est la chromite. Il y a toutes les compositions intermédiaires : $(Mg, Fe, Mn)^{++}O, (Al, Fe, Cr)_2^{+++}O_3$. Chacun des éléments d'une parenthèse peut exister seul, mais le plus souvent ils sont en mélanges, l'un ou l'autre pouvant passer de 100 % à 0 %, avec toutes les teneurs intermédiaires. Mn , en général, est en faible quantité et, sauf cas spéciaux, on peut le négliger. Par contre Mg est pratiquement toujours présent et parfois même plus abondant que le Fe du total des deux parenthèses ; c'est ainsi qu'on peut avoir un minerai de 10 à 25 % de MgO alors que le total des oxydes de fer peut aller de 15 à 30 % du poids total du minerai.

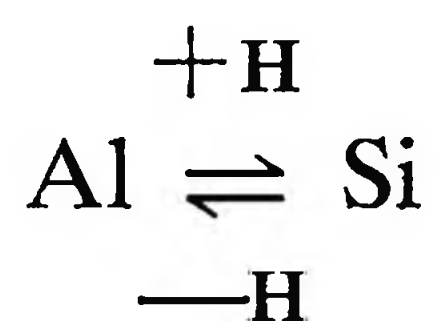
Aussi un minerai de chrome pourra-t-il, le plus souvent, répondre à la formule générale $(Fe, Mg)^{++}O, (Cr, Fe, Al)_2^{+++}O_3$. Al n'est pas métamorphisé dans les conditions qui ont été réalisées pour le grenat, Mg non plus. Ces éléments restent donc inchangés, de même que Fe^{++} de FeO , sauf si les conditions sont réunies pour qu'il interfère avec Mn^{++} . Le métamorphisme ne pourra ainsi porter, dans les conditions opératoires réunies pour le grenat, que sur Fe^{+++} et Cr^{+++} de la seconde parenthèse, tout comme pour le grenat. Autrement dit, seule la quantité de Fe_2O_3 disponible dans la molécule peut servir d'aliment pour augmenter Cr_2O_3 .

On voit combien la similitude est grande avec le grenat, sur le plan formel. De plus spinelle et grenat cristallisent dans le système cubique. Ce qui nous conduit à penser que par pyropression un spinelle chromifère, qui contient encore Fe_2O_3 , pourra être enrichi en chrome. Puisqu'il est resté de l'oxyde ferrique, c'est que, vraisemblablement, la pression, lors du mouvement tectonique, n'a pas été suffisante, dans toute la couche, pour transmuter tout le fer trivalent en chrome, ou (et) que la température sur certaines parties du plissement a été trop basse ?

Il y a cependant une différence « fondamentale » pour les minéralogistes classiques : les grenats sont des silicates, tandis que les spinelles sont des aluminates (en fait les grenats sont des silico-aluminates et l'analyse donnée précédemment montre que la silice est environ 2 fois plus abondante que l'alumine). A notre avis, cette différence n'est nullement « fondamentale » ; ce ne sont là que des stades divers d'un même minéral, des phases différentes du métamorphisme et c'est la répartition des minéraux en « classes » qui est à repenser.

En effet, nous avons vu, dans toute la Première Partie, que, pour la

Nature, Si et Al sont liés et elle passe de l'un à l'autre par déplacement d'un proton. Nous avons cité le cas des tectites, l'action d'une explosion atomique souterraine dans du granite, etc. Dans le métamorphisme d'une roche acide ($> 52\%$ SiO_2) on a, en général, une augmentation de Si, une diminution de Al. A l'inverse, dans une roche basique c'est Al qui augmente, au détriment de Si, qui perd un proton. C'est la transition, réversible, qu'opère la Nature, selon les conditions :



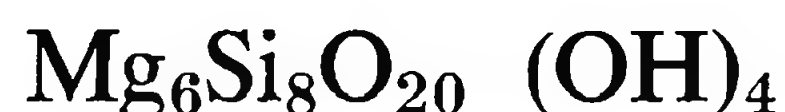
Il y a donc impossibilité de classer les roches uniquement en fonction de Si et de Al. Mais les évolutions des minerais chromifères comportent d'autres enseignements.

Un gisement (peut-être le seul de l'Ouest-Europe ?) se trouve en Bretagne. On y constate la présence de chromite dans de la serpentine (grains de chromite de dimensions voisines du centimètre, enchâssés dans un fin treillis de chrysotile = serpentine fibreuse ; le tout forme des lentilles en chapelets, chaque lentille de 40 cm au plus ; ces chapelets de lentilles se trouvent dans de la serpentine massive pouvant atteindre plusieurs mètres de puissance. Le chrysotile interstitiel, dans le gîte principal, représente de 10 à 20 % de la chromite ; dans un autre gîte, où les grains de chromite ne dépassent guère le demi-centimètre, le chrysotile interstitiel va jusqu'à 30 % du poids des lentilles).

Or les minéralogistes placent en général les serpentines dans une classe totalement différente des spinelles, puisque ceux-ci ont Al, pas Si, alors qu'à l'inverse celles-là contiennent Si, pas Al. Les serpentines sont considérées comme des altérations hydratées de l'olivine. On les écrit parfois sous la forme :



La formule générale du talc est :



On voit leur similitude : mêmes composants, mais en proportions et en structures stéréochimiques différentes. Tous deux sont de la sous-classe des phyllosilicates. Mais dans les produits naturels il s'y trouve d'autres composants, notamment Fe et la formule plus générale des serpentines est $(\text{Si}_4\text{O}_{10}) (\text{OH})_8, (\text{Fe}, \text{Mg})_6$. Ce sont des silicates, avec Fe et Mg, pas Al.

Puisque dans le gisement breton (trop peu étendu pour être exploitable) la chromite, qui est un spinelle, s'est formée dans la serpentine, le spinelle serait un dérivé métamorphique de la serpentine. On peut aussi dire qu'il y a eu non seulement formation de Cr^{+++} à partir de Fe^{+++} de la magnétite qui l'accompagne, mais que Si aurait disparu pour donner Al,

ce qui serait un recoupement de plus confirmant que dans cette roche, basique, c'est Al qui augmente aux dépens de Si : dans la chromite qui apparaît, il n'y a pas Si.

Il y a donc bien transition entre serpentines et spinelles, passage d'un minéral à l'autre. Ils n'appartiennent pas à des classes distinctes totalement puisqu'ils sont liés. Nous sommes conduits à proposer, d'après ce qui précède, l'hypothèse que les spinelles se sont formés dans les serpentines, à une température assez voisine, peut-être très légèrement supérieure à celle qui a été utilisée par les grenats, mais à une pression probablement inférieure. Aussi, une fois les spinelles formés, pourraient-ils être soumis à une pression supérieure à celle de leur formation pour accentuer la conversion du fer en chrome. De sorte que, a priori, l'enrichissement des spinelles chromifères semble devoir donner les mêmes résultats que ceux obtenus sur des grenats chromifères. Opérer directement sur des serpentines nécessitera, probablement, une première phase à une température légèrement plus élevée pour transmuter Si en Al et donner un spinelle, la seconde phase, au cours d'une même opération, consistant à augmenter la pression, la température pouvant baisser un peu ? Ce seraient là les premières expériences à faire pour confirmer, ou infirmer nos déductions en vue d'une application, d'abord semi-industrielle, à l'enrichissement des minerais chromifères, puis à la formation de chrome dans certains minéraux métamorphiques qui, au départ, n'en contenaient pas du tout.

F — REPETITION DES ANALYSES

Comme il fallait s'y attendre, et c'est humain, l'expérience précédente a été accueillie par certains classiques avec des réserves : pour eux, si les faits ne sont pas conformes à leur enseignement, cela ne peut résulter que d'erreurs analytiques. L'antienne est classique aussi...

A la faculté des sciences de Paris l'argumentation principale d'un spécialiste de l'enseignement de la minéralogie fut sensiblement la suivante : « Le grenat est un minéral hétérogène. Lors de l'analyse par la microsonde électronique, les points d'impact du faisceau d'électrons ont pu être dirigés, la seconde fois, sur une plage du cristal plus riche en Cr que celle qui fut explorée la première fois. Les résultats différents s'expliquent ainsi très bien. Je ne veux pas mettre en doute les résultats donnés par le B.R.G.M., mais avant de m'incliner, d'admettre qu'il s'agit bien là de moyennes globales, et non locales, j'aimerais que ces analyses soient refaites. Ce que vous avez mis en relief pour le fer et le chrome est trop « gros » pour la science et demande confirmation. Il faudrait même, devant l'importance de votre explication, que ce soit le chef de service de la microsonde lui-même qui supervise l'opération, que les deux analyses,

celle du pyrope naturel et celle du cristal soumis à forte pression, soient faites à peu d'intervalle afin que tous réglages et conditions opératoires ambiantes et humaines soient identiques ».

Bien que cela me fut dit gentiment, j'avoue avoir été bien ennuyé. Car comment faire refaire ces analyses sans froisser la susceptibilité de ce chef de service, puisque c'était mettre en doute le travail fait sous son autorité, les résultats qu'il avait transmis, donc implicitement acceptés, sans commentaire. C'était aussi douter de la valeur et de la compétence professionnelle de la manipulatrice de l'appareil, très complexe, demandant une grande pratique. Cette personne, hautement qualifiée, était bien au courant de tous les aspects théoriques et pratiques de telles analyses.

Plus grave : c'était exprimer des réserves sur le principe même des analyses par microsonde électronique, dire qu'elles ne pouvaient être comparables, qu'elles ne sont pas reproductibles, qu'elles ne valent que pour une zone précise, très limitée, d'un minéral homogène, qu'il est impossible d'avoir des moyennes fiables pour l'ensemble du matériau, que la moyenne ne vaut que pour quelques points de très faible dimension. J'étais d'autant plus gêné que mon interlocuteur pouvait avoir raison, en restant dans le domaine classique, qui est le sien, mais il était évident qu'il ignorait tout des précautions prises précisément pour sortir du dogme que postule la science classique : celle-ci procède par déductions, qu'elle baptise « substitutions » alors qu'une expérience complète montre son erreur. L'analyse donnait des moyennes sur des dizaines de milliards de molécules du grenat. Il y avait eu en somme 25 analyses différentes ; les valeurs numériques données étaient la moyenne de ces 25 résultats. Le choix de la plage explorée n'est absolument pas arbitraire ; le facteur personnel est éliminé. Nous avons convenu en effet du protocole à adopter, compte tenu des impératifs de cette méthode.

Le contrôle de l'homogénéité de la zone explorée pour dosage quantitatif n'est pas un simple examen optique sous fort grossissement (il peut aller jusqu'à 400) pour déterminer cette zone et la fixer dans l'axe du faisceau d'électrons, cela de façon arbitraire, estimée par l'opérateur. C'est une opération contrôlée par des mesures des intensités des rayonnements caractéristiques de chaque élément présent. Cela sur un nombre de points suffisamment importants, par un déplacement automatique du chariot porte-cristal pour donner plusieurs lignes de points équidistants, pouvant aller jusqu'à une centaine pour cette recherche de la zone la plus favorable. C'est par un test statistique qu'est déterminée cette plage où l'homogénéité permettra, par un petit nombre de sondages quantitatifs d'avoir une moyenne précise globale pour chaque élément du minéral. On estime que 4 à 5 sondages sont en général suffisants. Cependant pour ce grenat il a été fait 25 sondages sur cette plage où les valeurs moyennes sont réunies.

L'analyse quantitative porte sur cette plage, par un déplacement régulier et automatique du chariot sous le spot électronique. L'appareil est muni de 4 spectromètres ce qui fait qu'on peut doser simultanément 4 éléments. On avait donc recommencé deux fois pour les 8 éléments du grenat qui étaient à des doses d'au moins 1 pour 1 000. L'analyse quantitative est faite par rapport à un grenat de référence disponible au Laboratoire de la Microsonde et de composition exactement connue, à travers un comparateur incorporé, automatique.

Mais je ne voulais pas non plus éconduire ce spécialiste, par une discussion. Seuls des chiffres nouveaux pourraient le faire réfléchir, non un raisonnement. Il fallait donc tenter de régler cela de vive voix afin d'y mettre les formes, pour ne vexer personne.

Je me rendis, la première quinzaine de mai 1973 aux laboratoires du B.R.G.M. qui sont à un peu plus de dix kilomètres au sud d'Orléans, voir le chef du service de la microsonde et l'opératrice.

J'étais persuadé que ce laboratoire avait très bien fait son travail. Je lui faisais confiance car il était impossible, de quelque façon dont on retourne les questions qu'on pouvait se poser, que ni le facteur personnel, ni le facteur appareil ne pouvaient être pris en défaut.

Bien sûr quand on fait deux séries d'analyses, il est impossible que les points d'impact du faisceau d'électrons soient sur la même plage à chaque opération. D'autant plus qu'à la sortie de la presse le cristal avait été cassé, du fait d'adhérences à la capsule de nitrure de bore. Mais peu importe : chaque fois qu'on recommence on opère sur des plages nécessairement différentes et c'est pourquoi le contrôle d'homogénéité sus-décrit est appliqué chaque fois, avant toute analyse quantitative. La comparaison est toujours faite entre l'échantillon à analyser et le grenat-témoin, par l'intermédiaire du comparateur, le faisceau passant de l'un à l'autre, automatiquement.

D'ailleurs si ce contrôle de l'homogénéité n'avait pas été bien fait, on n'aurait pas trouvé que 5 éléments sur 8 étaient restés pratiquement inchangés (à la dispersion près) et le spectromètre ne peut pas « mentir » pour trois éléments, dosés en même temps, valeurs lues sur quatre spectrogrammes qui donnent 4 éléments simultanément. Il est donc antiscientifique de récuser trois de ces valeurs enregistrées par les spectros, et répétées 25 fois, d'autant plus que seuls les oxydes métalliques ont varié, et tous ont varié, ce qui ne peut être une coïncidence.

Les précautions oratoires prises, le chef du service de la microsonde déclara qu'il avait enregistré les résultats sans rapprocher ceux de la deuxième série de ceux de la première, faite plusieurs mois plus tôt. Il s'en était tenu aux indications automatiques de l'appareil, sans songer à

comparer les valeurs des deux séries, aucune interprétation ne lui ayant d'ailleurs été demandée.

Je venais lui demander deux nouvelles analyses, il les ferait. Pas prévues dans le devis primitif, c'était une nouvelle opération et je lui donnais mon accord sur le plan administratif. Il comprenait les scrupules du professeur parisien, sur le plan théorique, mais le test du contrôle d'homogénéité était fait précisément pour pallier cette caractéristique des dosages ponctuels de l'appareil. Pour accéder au désir de cet enseignant il suivrait lui-même l'opération. Pour augmenter encore peut-être la précision, l'étude serait faite avec deux spectromètres seulement, l'un réglé plus spécialement sur la partie caractéristique du fer, l'autre sur le chrome, afin de donner plus d'intensité aux raies, cela pour diverses raisons techniques. Il ne serait pas procédé à un dosage ponctuel quantitatif enregistré sur bande. La microsonde serait couplée directement à un ordinateur spécialement équipé à cet effet et placé à côté. Les valeurs seraient lues directement en chiffres sur cadrans. La focalisation serait réglée pour donner un spot de 5 μm de diamètre (il peut aller de 1 à 20 μm) valeur qui semble la meilleure pour l'étude de ce grenat.

La discussion se poursuit en s'en tenant à la science classique. Il n'était pas question que je fasse état d'une interprétation personnelle : il s'agissait seulement de savoir si les résultats donnés en mars étaient reproductibles. Le fait que Cr ait augmenté et Fe diminué, ne frappe pas les classiques, puisque, selon eux, dans la maille d'un grenat un sommet peut être occupé indifféremment par Cr^{+++} ou par Fe^{+++} . C'est l'un ou c'est l'autre, il y a « substitution ». Si l'on trouve Cr^{+++} dans une molécule on ne peut y trouver Fe^{+++} , et inversement. Du fait du hasard, des zones du cristal peuvent être occupées par plus de molécules avec Cr, et cette zone sera plus riche en Cr, plus pauvre en Fe. Telle est la position classique. Mais précisément le contrôle d'homogénéité fait que cette possibilité d'erreur n'existe plus et c'est pourquoi les craintes du professeur de la faculté de Paris ne peuvent être fondées.

On se souvient que le cristal de pyrope avait été scié en deux, que la moitié avait été conservée pour toute vérification ultérieure qui s'avèrerait utile. C'était l'occasion de s'en servir et je l'avais emporté. C'est sur lui qu'il convenait de faire une nouvelle analyse du pyrope naturel. L'autre partie, qui avait été passée à la presse, était restée au B.R.G.M. et une nouvelle analyse de comparaison serait faite sur elle aussi, les deux analyses étant pratiquées à un moment aussi rapproché que possible l'une de l'autre.

Quels que soient les résultats, ils ne peuvent différer que dans les limites de la dispersion, car sinon ce serait reconnaître que les analyses à la microsonde sont sans valeur, alors qu'une longue pratique de cet instru-

ment de précision, et automatique, prouve le contraire. C'est pourquoi il nous est apparu que les enseignements à tirer des premières analyses ne pouvaient être modifiés en fonction de nouveaux résultats.

*
**

J'ai rappelé que le B R G M avait noté les valeurs, enregistrées automatiquement, sans faire de rapprochement entre ces deux analyses. Celles-ci avaient été conduites en toute ignorance du but poursuivi, donc de la façon la plus objective possible.

A la deuxième série de dosages il ne pouvait en être ainsi puisqu'il était demandé de recommencer, la « science classique » suggérant que soient revues notamment les valeurs pour le chrome. L'écart entre les dosages du chrome demandait à être confirmé, était peut-être même suspecté ? Cela les chercheurs du B R G M le savaient. De sorte que le facteur psychologique était différent.

Le problème des variations de Fe et de Mn, pour la science classique, passait au second plan, était négligeable, car « connu » et « expliqué », pensait-elle. Toutes les expériences conduites sur le métamorphisme des minéraux depuis le début du XIX^e siècle jusqu'à ce jour, et évoquées dans les chapitres précédents, ont noté la variation de Fe. La variation de Mn aussi a été établie et confirmée. Dans la synthèse des granites et de divers minéraux silicatés, Winkler signale les variations de Fe. Il note aussi (v. édit. 1968 de « Preuves », p. 114) que « Dans les grenats riches en Mn et pauvres en Ca a lieu, lorsque le métamorphisme croît, une nette diminution de la teneur en MnO, compensée par une augmentation de la teneur en FeO ». Dans notre cas, le grenat n'était pas particulièrement riche en Mn mais il était pauvre en Ca (par rapport à une grossulaire par exemple). Aussi, en accroissant artificiellement le métamorphisme, avons-nous obtenu une nette diminution de la teneur en MnO (78 %), ce qui, d'après cette citation de Winkler, ne pouvait constituer une surprise majeure, mais venait confirmer en laboratoire une observation déjà exprimée à propos de grenats.

Par contre, l'augmentation du chrome n'a jamais été signalée dans la littérature, me semble-t-il, d'où l'intérêt porté par les minéralogistes et les géologues classiques à cette expérience, une « première » du genre et la nécessité d'infirmer ou de confirmer les premiers résultats.

Pour Winkler, la diminution de MnO se traduit par une augmentation de FeO. Nous avons vu que ces deux oxydes appartiennent à la « sous-molécule » bivalente des grenats. Bien entendu, là comme pour les autres éléments, la seule explication qui nous paraisse valable est que Mn a disparu pour devenir Fe. Nous avons vu, dans divers chapitres de nos ouvrages, cette corrélation inverse entre Mn et Fe. Nous avons vu aussi

que le chrome, trivalent, ne semble venir que de la « sous-molécule » Fe_2O_3 , où Fe est trivalent. La variation du fer total comporterait ainsi deux phases opposées : une diminution de Fe^{+++} pour donner le Cr^{+++} , tandis que FeO augmente par diminution de Mn^{++} qui devient Fe^{++} . Mais dans notre expérience il n'a pas été possible de dissocier la variation de chacun des oxydes de fer, la micro-sonde ne les séparant pas. De plus il y a, dans le total des éléments, une accumulation de petites dispersions non compensées qui se traduit par le fait qu'il y a 0,3 % de moins sur le total après métamorphisme. L'écart maximum, pour avoir un total de 100 %, est de 0,7 % ce qui résulte d'une part de l'impossibilité d'avoir, sur le plan opératoire, des valeurs exactes à moins de 0,1 % près et d'autre part, de ce fait ne sont pas dosées les « impuretés » qui restent au-dessous de 0,1 % (nous rappelons que même la « précision » à 0,1 % près ne résulte que de moyennes de 25 lectures et si la première décimale est très proche de la réalité, la seconde décimale n'a qu'une valeur symbolique, résultat du calcul de moyennes). C'est par suite de l'incertitude sur les valeurs au-dessous de 0,1 %, la première décimale n'étant même pas garantie pour les éléments à très faible teneur, que nous n'avons pas poussé davantage la discussion sur la variation de Mn qui n'est plus qu'à 0,37 % après pyro-pression, ayant diminué de 78 %. D'autres expériences avec de la spessartite, grenat riche en Mn, seraient utiles pour pousser plus avant cette étude sur la variation de Mn.

Toutes les recherches antérieures ont été incomplètes. Leurs auteurs sont partis du postulat de la « substitution », opérant par une soustraction au lieu de faire une expérience globale comme celle que nous venons de décrire. Ici nous avons le dosage moyen de tout le grenat. Nous savons que rien n'entre ni sort. Il n'y a pas de « culot résiduel » non dosé. C'est bien le tout qui est analysé, grâce à l'opération de contrôle d'homogénéité. Il n'y a pas de « substitution », sous-entendant une « migration » : il y a eu transformation sur place, transmutation.

Apportons un autre argument, inédit croyons-nous : supposons qu'il y ait migration comme le déclarent les classiques, sans preuve, au contraire même, toutes les observations étant en opposition avec cette affirmation gratuite : si Fe s'en va, il va migrer vers où ? On ne le retrouve nulle part ailleurs sous forme d'ion libre, en cours de « voyage ». Il sera remplacé par Cr, qui vient d'où ? Cela ne peut être instantané. Il faut bien que Fe soit parti avant que Cr « migrant » dans un milieu solide n'arrive là où « l'appelle » (?) le départ de Fe qui a laissé une place vide : et l'on sait tous, depuis longtemps, que la Nature a horreur du vide ! la science classique ne l'ignore pas non plus et sait maintenir les traditions... On est en pleine métaphysique (ou métachimie ?). Car si cela est, on devrait trouver, par les moyens de mesures physiques spectrométriques, diffractographiques..., instantanées, des molécules d'où Fe est parti et Cr pas encore arrivé ? Evidemment on n'a jamais décou-

vert de telles molécules « lacunaires » ! C'est donc bien que le remplacement de Fe par Cr a été instantané, qu'il y a l'un ou l'autre, jamais de « vide ». Cr ne peut être là aux aguets - on l'y trouverait - prêt à bondir à la place vide de Fe - qu'on ne retrouve plus... Ne voit-on pas tout le ridicule de la position classique, absolument insoutenable. Cela vaut dans tous les cas, comme le passage de Mn à Fe, cité par Winkler et qui ne peut pas du tout s'expliquer sérieusement par des déplacements d'atomes se promenant entre les mailles cristallines. Pour le passage de Mn à Fe, il y a capture, sur le noyau de Mn d'un proton et dès la capture, donc instantanément, on n'a plus Mn, mais Fe ; de même quand Fe se voit arracher une particule α , subitement il disparaît en tant que tel puisqu'il est devenu Cr. Qu'on nous prouve le contraire.

*
**

Excuses - Je demande au lecteur de m'excuser de ne pas pouvoir lui donner, dans cette édition, les résultats de la seconde série d'analyses. La plupart des chapitres du présent livre ont été écrits fin 1972 et début 1973. Sauf la II^e Partie, rédigée fin mars et courant avril 1973, alors qu'il ne m'avait pas été encore demandé de procéder à une répétition des analyses. Cette répétition fut répercutée sur le BRGM à la première quinzaine de mai 1973. Les résultats m'étaient promis avant 15 jours. Début juin, ne les ayant pas reçus, je m'en inquiétais par téléphone. Il me fut répondu que l'une des analyses avait été faite, qu'il y avait eu, entre temps, un surcroît inattendu de demandes urgentes et prioritaires d'utilisation de la micro-sonde, mais que la seconde analyse allait se faire d'un moment à l'autre. Je pensais donc que c'était une affaire de quelques jours. Je terminais le présent manuscrit avec l'intention de le compléter avant l'impression, les résultats devant prendre place ici et c'est ainsi qu'il fut transmis à l'éditeur.

Mais les semaines, les mois ont passé. Aucune raison ne m'a plus été donnée pour « justifier » le retard à me communiquer les valeurs résultant des analyses (désorganisation des services pendant les congés de l'été ?). La fin du printemps s'est écoulée ; l'été entier a passé ; voici l'automne et je n'ai toujours rien. Je ne puis différer plus longtemps la publication du présent ouvrage, et même sur « correction d'épreuves typographiques » je n'ai rien à apporter. J'en suis confus. Bien entendu, dès que possible, je publierai, par d'autres voies, les valeurs qui me seront communiquées, en attendant une réédition du présent ouvrage. Mais, ainsi que je l'ai indiqué, les conditions opératoires ont été telles que 25 analyses ont donné une certitude qui ne saurait être démentie.

Je signale que G. Choubert vient de m'informer qu'il se propose de faire recommencer une expérience du même genre. Je lui ai donné mon accord pour collaborer avec lui à la promotion de cette expérience et à l'interprétation des résultats. Elle porterait sur un autre grenat. Les analyses seraient faites par une autre méthode qui séparerait les divers oxydes du fer, ce qui permettrait en même temps de voir la corrélation entre Mn^{++} et Fe^{++} . Au vu des résultats, il pourrait procéder aux communications scientifiques habituelles. G. Choubert s'est intéressé à la métallogenèse de Mn et il rejette toutes les hypothèses classiques, car en opposition avec ses observations. Partout le lien entre Fe et Mn est admis ; nous avons fait état. Mais la science classique ne peut pas l'expliquer. La formation de Mn se constate dans les roches acides ; nous avons vu qu'à l'inverse,

dans un grenat basique, c'est Mn qui diminue. Il sera vérifier qu'il y a bien passage de l'un à l'autre en reprenant le protocole ici décrit. Cela a déjà été établi par le Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache (nous le verrons dans le tome I). L'expérience décrite dans le présent chapitre montre aussi une variation de Mn qui ne peut être qu'une transmutation. G. Choubert pose la question : la métallo-genèse de Mn n'est-elle pas endogène ? (v. son exposé au Symposium de Kiev, 1970 dans l'ouvrage publié par l'UNESCO-1973 : « Genesis of Precambrian iron and manganese deposits », pp. 115-124). Si l'expérience est positive, on disposera d'une convergence de plus pour confirmer le mécanisme et le sens d'une transmutation qui est déjà irrécusable.

TROISIEME PARTIE



**NOUVELLES PERSPECTIVES POUR
LA PHYSIQUE NUCLEAIRE**

REPENSER LA PHYSIQUE NUCLEAIRE

« L'Histoire des Sciences nous apprend, et c'est peut-être l'un de ses plus frappants enseignements, que toutes les conceptions nouvelles introduites par d'audacieux chercheurs se sont d'abord, avant d'être reconnues exactes, heurtées à des idées admises ou à des modes d'enseignement généralement adoptés ».

Louis de Broglie

(Alloc. à la Soc. de Secours des Amis des Sc.-1973)

« L'Histoire des Sciences montre que les progrès de la Science ont été constamment entravés par l'influence tyrannique de certaines conceptions que l'on avait fini par considérer comme des dogmes ».

Louis de Broglie

(Nouvelles Perspectives en Microphysique)

Il est surabondamment prouvé, par ce qui précède, qu'il y a des transmutations d'un type différent de celles qu'étudie, jusqu'à présent, la physique classique. Celle-ci, à la suite de la découverte de Rutherford en 1919, s'est ruée tout entière dans la voie tracée par ce physicien, et a continué à foncer, tête baissée, toujours tout droit dans cette direction, se contentant de renouveler son matériel, de le perfectionner, de le rendre plus puissant aussi, mais sans jamais regarder s'il n'y avait pas d'autres voies accessibles, dans d'autres directions, pour pénétrer cette « forêt vierge » inconnue qu'est le noyau de l'atome, y découvrir d'autres sites intéressants, impossibles à voir en suivant la voie actuelle.

Dans une « porte qui vient d'être entrouverte, la meute des théoriciens s'engouffre à grand fracas ».

(Pierre de Gilles de Gennes, professeur au Collège de France)

Comme je l'ai parfois fait remarquer, depuis plus de 50 ans la physique classique drague toujours le même chenal, sans penser à rechercher une autre voie. Je l'ai souvent dit et écrit, je ne m'oppose pas à la physique classique, à ce qui a été prouvé expérimentalement par celle-ci. Mais cela ne veut pas dire que je suis toujours d'accord avec ce qui est enseigné en physique nucléaire et ce n'est pas parce que tel ou tel profes-

seur de physique nucléaire a dit une chose qu'elle est nécessairement vraie. Un professeur n'est pas nécessairement, par définition, un « homme de science », c'est souvent même l'inverse, sinon il ne serait pas professeur, car les qualités nécessaires sont opposées. Du moins si l'on en croit le professeur du Collège de France Louis Leprince-Ringuet (ferait-il en quelque sorte son autocritique ?) dans une conférence publiée par la revue « Communautés et Continents » (juillet 1969), dont voici quelques phrases :

« La Science se développe essentiellement en remettant en question tout ce que l'on sait... La remise en question suppose une attitude critique et une attitude constructive, de même qu'elle entraîne un dialogue constant entre théoriciens et expérimentateurs... Le dogmatisme est, à l'opposé, absolument, de ce dialogue. L'enseignement est essentiellement dogmatique. C'est d'ailleurs pourquoi des enseignants, dans la mesure même où ils ont brillamment assimilé leurs connaissances, éprouvent des difficultés à se convertir en hommes de sciences. Il ne faut pas avoir des professeurs trop brillants si l'on veut faire de la bonne science. Les hommes qui ont fait de la bonne science - Joliot ou de Broglie par exemple pour ne citer que ces deux prix Nobel - n'ont pas eu de professeurs tellement exceptionnels. Joliot ne possédait pas le baccalauréat lorsqu'il s'est mis à la physique et à la chimie (j'ouvre cette parenthèse pour dire qu'il entra à l'École de Physique et de Chimie de la ville de Paris, sur examen d'entrée qui était du niveau du bac-math, et il en sortit comme ingénieur). Quant à de Broglie, c'était un historien ».

C'est encore V. Kourganoff qui écrit dans « La Face Cachée de l'Université » (P.U.F. 1972) : « C'est un phénomène bien connu que beaucoup de chercheurs et parfois des plus brillants, ont de piètres qualités pédagogiques... L'enseignement et la recherche sont deux activités devenues aujourd'hui incompatibles ».

Bien des parties fondamentales de la science ont dû être remises en question depuis quelques décennies. Sont-elles même bien assises ? Certes comme l'écrit L. Leprince-Ringuet « Les hommes qui remettent en question des données jusque-là acquises ne sont pas des débutants ». Pour la mécanique classique il a « fallu se livrer à une importante remise en question... Si importante que je me demande dans quelle mesure je comprends la mécanique quantique. Je l'enseigne, mais je ne la comprends pas parfaitement. Je pense que je ne suis pas seul dans ce cas ! » Franchise qui lui fait honneur et il a raison. Même L. de Broglie n'est pas d'accord sur l'enseignement que l'on fait de la mécanique ondulatoire. Il y a deux écoles, celle dite « de Copenhague » et celle « de Paris », qui s'opposent sur des points fondamentaux. Que de branches d'ailleurs de la physique commencent à s'ébranler sous les coups de boutoir assénés par quelques théoriciens de classe internationale. C'est ainsi qu'Olivier Costa de Beauregard trouve à travers le monde une audience de plus en plus grande dans les mises au point qu'il développe, remettant en cause certaines notions « classiques » sur la thermodynamie, les notions d'espace, de temps etc... Et puisque nous avons parlé d'« écoles », citons quelques mots du prof. Kastler prix Nobel « ... le dogmatisme et le conformisme règnent

sur l'enseignement et sur le travail de recherche par l'intermédiaire des « écoles » et surtout par une censure inflexible de la presse scientifique et le contrôle des carrières scientifiques des étudiants et des enseignants ».

Dans la science actuelle il y a beaucoup de verbiage, des accumulations de mots pour masquer nos ignorances, de propos qui sont radicalement faux, car ce sont des interprétations inexactes de phénomènes observés. L'observation est un fait positif, l'interprétation est subjective, surtout, comme c'est souvent le cas en physique nucléaire, où l'on n'observe que des effets secondaires, l'observation directe étant impossible lorsqu'il s'agit de manifestations à l'échelle du noyau des atomes.

Trop souvent le physicien a un esprit « géométrique ». Il n'est satisfait que par la mise en équation d'un phénomène, considéré alors comme « exact ». Tout se ramène pour lui à des mathématiques et il se complaît dans l'abstraction des formules. Il finit par oublier le concret, par oublier la vraie physique car, par définition, l'aspect physique c'est le concret, non la spéculation intellectuelle abstraite résultant de transformations mathématiques. Il y a une déformation professionnelle dont est victime une grande majorité des physiciens. Pour eux les formules sont devenues des dogmes intouchables qu'il est sacrilège de discuter, si bien qu'il faut renoncer à les convertir : ils sont perdus pour la vraie science, celle qui toujours se fait humble, reste consciente de nos ignorances immenses, sait garder le doute. Eux, ils ne doutent de rien, surtout pas d'eux-mêmes !

De plus, comme ils ont l'esprit grégaire qui les a lancés tous dans la même ouverture, tous en chœur chantent les mêmes litanies. Voyons un cas fréquent d'objection-type fait à une transmutation qui ne figure pas au canon de leur chapelle, celui de l'énergie. Il m'a paru utile de l'évoquer afin que le lecteur soit à même de réfuter les pseudo-arguments de ces scientifiques qui se cramponnent à leur idole, celui de l'interprétation de la notion d'équivalence masse-énergie. Je dis bien « l'interprétation » car je n'ai pas ici pour but de mettre en doute une « loi » quelconque de la physique classique, mon but est de construire, de présenter du neuf, non de démolir. Car trop souvent des scientifiques, par trop sûrs d'eux-mêmes, discutent de physique nucléaire, et n'y ont rien compris, ils le montrent trop ostensiblement par des interprétations erronées.

Il m'a été dit : si vos poules recevant du mica font des grammes de calcium par jour, ou les poules de Vauquelin, l'énergie de fusion nucléaire dégagée en ferait des bombes atomiques ! C'est là le genre d'arguments « scientifiques » que l'on exprime avec une superbe dédaigneuse ; c'est l'argument massue qui détruit toute possibilité de transmutation à faible énergie... Mais il faut en sourire car l'interlocuteur vient alors de montrer son simplisme.

Voyons de plus près cette réaction où K diminue, pour donner Ca qui

augmente (cas de la germination d'une graine de plante calcifuge, comme l'avoine, cas de la poule qui produit Ca à partir de K...). En physique nucléaire classique on a :

Masse de ^{39}K :	38,976 037
— — ^1H :	1,008 145
$^{39}\text{K} + ^1\text{H} =$	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> 39,984 182
Or la masse de ^{40}Ca est	39,975 230
Perte de masse :	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> 0,008 952 u.m.a.

(valeurs d'après les tables de Wapstra et Huizenga - sur la base $^{16}\text{O} = 16,000$ - d'autres auteurs donnent des valeurs différentes à partir de la 4^e décimale ; par exemple pour ^{40}Ca : 39,975 540 ; - mais il y a aussi, actuellement, des valeurs partant de $^{12}\text{C} = 12,000$ - c'est secondaire ici, pour notre démonstration). L'ordre de grandeur de la perte de masse reste voisin de 0,008 8 (avec ± 1 sur la 4^e décimale) ce qui correspond d'assez près à 8 MeV (variation pour le total des 40 nucléons).

Cela, c'est le réflexe de l'automatisme : on a une perte de masse, « donc il se dégage 8 MeV » dit-on. Il est extrêmement important de relever cette erreur de « raisonnement ». *Ce n'est pas parce qu'il y a perte de masse qu'il y a nécessairement dégagement d'énergie.* Masse et énergie sont deux aspects, non simultanés. On ne peut passer de l'une à l'autre que si la masse se détruit, se désintègre, disparaît pour donner de l'énergie. Alors, et alors seulement, on peut penser à la loi d'équivalence masse-énergie, mais sans appliquer bêtement la loi $E = mc^2$ dans tout son simplisme, car la réalité est autrement complexe.

Une masse perdue ne se désintègre pas de façon aussi sommaire ; le « raisonnement » de quelques primitifs de la science est à peu près le suivant : j'ai une boule de plomb dans ma poche ; je la perds, donc ma masse est plus faible ; par conséquent j'ai perdu une énergie égale à ce que donnerait l'application de la loi d'Einstein en faisant un calcul basé sur cette masse de plomb ; autrement dit je suis devenu une bombe atomique qui explose... Dans l'exemple ci-dessus, ce n'est pas parce que la perte de masse est de 0,008 8 u.m.a. qu'il va se dégager 8 MeV par atome de Ca fabriqué. L'énergie potentielle de Ca a changé par rapport à celle de K ; cela ne veut pas dire qu'il y a eu dégagement d'énergie. La conversion d'une énergie potentielle en une autre forme d'énergie est une déformation professionnelle si on la calcule en automate irréfléchi. Cette déformation professionnelle de trop de physiciens semble héritée des habitudes en chimie, où chaque réaction est suivie d'une énergie endo, ou exothermique exprimée en calories, car en chimie, le plus souvent, une réaction se traduit par une absorption ou une émission de chaleur. Cela donne d'ailleurs parfois des bilans inexacts, car il peut y avoir, outre une réaction

thermique, une réaction mécanique par exemple, (explosion...). Traduire celle-ci par la loi de Joule en calculant l'équivalence est une vue inexacte du phénomène. De même certaines réactions chimiques ne sont possibles que par l'apport simultané d'une haute pression et d'une haute température ; aucun de ces paramètres physiques, pris isolément, quelle que soit sa valeur absolue, n'aboutira à la réaction recherchée.

En physique nucléaire il en est de même : une particule éjectée peut être stable ; son énergie sera purement cinétique et vaudra $1/2 m v^2$, avec v très faible, eu égard à la vitesse c de la lumière et il serait faux de l'égaliser à mc^2 . Nous n'avons même pas le droit d'égaliser une énergie cinétique à une température : tant qu'une balle passe, dans l'air, son énergie cinétique est potentielle ; on ne peut la convertir en chaleur que si elle vient s'écraser contre une cible résistante où sa vitesse v s'annule ; alors on peut faire un calcul de conversion, et encore avec des réserves, car on sait qu'une partie non négligeable de l'énergie se dissipe sous forme vibratoire lors du choc. C'est contre cet aspect simpliste, mais très largement répandu, chez trop de prétendus scientifiques, qu'il convient de lutter.

Il ne faut pas non plus oublier que les énergies dont font état beaucoup de physiciens ne sont que des valeurs calculées, en se basant sur des hypothèses parfois totalement fausses. Les énergies mesurées s'avèrent bien différentes : dans une explosion atomique on ne recueille que 2 à 3 % de l'énergie théorique ; 97 à 98 % d'inconnues... Bien entendu certains théoriciens ne s'embarrassent pas pour cela. Il suffit d'introduire un « facteur de correction ». Ici on dira que le principe est certain, mais que le rendement n'est que de 2 à 3 %. Pour faire « cadrer » les transmutations à faible énergie avec les théories classiques, on peut dès lors imaginer que la perte de masse dans l'exemple précité résulte du départ à faible vitesse d'une particule inconnue, de masse égale à 0,0088 u.m.a. (unité de masse atomique). Mais si cette particule s'en va, elle « n'explode » pas, ne se désintègre pas, n'est pas radioactive. Cette particule, non décelable par des moyens électro-magnétiques, n'a pas de charge puisque la balance des charges est nulle. Elle s'en irait, on ne sait où, sans s'annihiler ; il est donc interdit de la convertir en énergie.

Cependant un de nos plus grands physiciens théoriciens actuels O. Costa de Beauregard s'est penché sur ce problème des transmutations du type que j'ai indiqué, car de tels processus ne peuvent plus être niés. Il ne croit pas que l'adaptation aux théories actuelles puisse s'envisager par le départ d'une particule pesante qui rétablirait la balance des masses. Au lieu de s'appuyer sur la formule $E = mc^2$, il partirait de la formule $E = h \nu$. Ce n'est pour le moment qu'une hypothèse de travail de sa part, sans caractère définitif. Mais à son avis, ce ne serait peut-être que l'émission d'une particule associée à une onde dont la fréquence de vibration ν varierait, cette variation de fréquence équivalant à une différence d'éner-

gie (h est ici la constante de Planck). Dès lors cette particule (ou plutôt ce « champ abondant de particules à faible interaction ») serait de masse nulle, de charge nulle, de spin entier. On peut donc penser à une particule dont l'onde associée s'évanouirait dans l'espace, emportant, sans les céder, les 8 MeV que l'on trouve en moins sous forme potentielle (?) dans Ca ? Une telle particule serait un peu analogue au neutrino, par certains côtés, sauf toutefois que celui-ci a un spin demi-entier ($h/4\pi$) au lieu d'un spin entier (2, 1 ou 0 ? $h/2\pi$) pour cette particule encore inconnue qui serait un boson (comme le photon). N'ayant ni charge ni masse, elle sera difficile à détecter (tout comme il a été difficile de détecter le neutrino ; on ne peut se baser que sur des effets indirects, souvent controversés, puisqu'il s'agit alors d'une interprétation).

Evitons aussi l'erreur grossière, qu'on trouve malheureusement dans trop de traités de physique nucléaire, qui consiste à appliquer de façon infantile la loi d'équivalence masse-énergie d'Einstein. On trouve des exercices de ce genre : une tonne de charbon dégage x thermies en brûlant dans une chaudière ; calculez l'énergie que donnerait la désintégration de cette tonne de houille. Cela avec l'arrière pensée de faire dire que l'énergie nucléaire est très supérieure à l'énergie de combustion. C'est oublier un principe fondamental : nous ne pouvons pas désintégrer de la matière. La matière c'est surtout le noyau des atomes, c'est surtout des nucléons. Un neutron libre devient proton, mais nous ne savons pas transformer en énergie la masse de matière d'un proton ; pour cela il faut lui apporter une énergie équivalente de façon à produire d'abord de l'anti-matière. Ce qu'on recueille comme énergie dans une bombe atomique, dans une pile atomique, c'est une petite fraction de l'énergie de liaison entre les parties qui se séparent ; si des neutrons sont projetés, ils s'en vont avec une énergie cinétique, mais leur matière ne disparaît pas. Et l'énergie de liaison dans la fission de l'atome d'uranium 235 n'est pas celle de la liaison entre tous les nucléons, mais d'une partie seulement, celle de la surface de séparation des deux morceaux du noyau qui se casse, et il y a ici un autre aspect important dont il sera fait état plus loin.

Pour conclure ce chapitre je me dois, en toute sincérité, de dire que je ne suis pas certain du tout que la physique théorique actuelle puisse intégrer les transmutations à faible énergie, même au prix d'un additif, d'un complément. Cette physique a établi des lois déduites d'expériences précises. Les expériences qui sont à la base de mon concept du noyau des atomes sont tout à fait différentes ; or il est un principe absolu en sciences : il est interdit d'extrapoler des lois à des situations différentes de celles qui ont servi à les établir ; de nouvelles expériences sont nécessaires ; l'imagination ne suffit pas. C'est pourquoi nous sommes entrés dans cette période d'expériences nouvelles faites par des moyens purement physiques ; on verra mieux, après, quelles lois théoriques on peut en déduire.

QUELQUES POINTS D'INTERROGATION EN PHYSIQUE NUCLEAIRE

1) Difficultés d'une explication « concrète »

Si, comme l'a écrit Henri Poincaré : « Dans l'abstrait on peut tout construire », il convient de souligner quelques incertitudes relatives à des interprétations présentées sous forme d'affirmations.

Il n'y a pas que le « profane » à s'y perdre. Nous avons vu combien une notion comme celle de l'équivalence masse-énergie est mal comprise même de beaucoup de « spécialistes ».

Un problème comme celui du neutron est encore très mal compris, de tous peut-être (sauf de ceux qui savent tout...). Pendant longtemps on a admis qu'il était constitué d'un proton plus un électron, la charge — neutralisant la charge +. Mais la masse du neutron est supérieure à celle du proton + l'électron. Ici l'addition des masses ne se traduit pas par une perte de masse, mais par un gain. On a imaginé le neutrino (et l'anti-neutrino). Mais comment alors égaliser les masses, puisqu'on admet que le neutrino (ou l'antineutrino) n'a pas de masse ?

Ce n'est pas tout. Un noyau peut procéder à une émission β^- . Une charge β^- ne peut exister que dans le neutron qui, perdant sa charge —, devient un proton +. Alors le profane demande : comment cette charge — peut-elle partir s'il reste une charge + qui va l'attirer dès que la loi de Coulomb va jouer ? Et comment expliquer l'émission β^+ ? (observée seulement en radioactivité artificielle). Si la charge + est émise par le proton, il ne lui reste plus rien ; ce n'est ni un proton, ni un neutron, qu'est-ce que c'est ? Si la charge + est émise par le neutron, il reste seulement la charge — dans ce nucléon et c'est alors un antiproton, qui sera annihilé par un proton voisin, les deux disparaissant pour donner de l'énergie ? On ne le constate pas. Alors comment une charge — peut-elle osciller entre deux charges +, tantôt attirée, tantôt repoussée ?

Toutes les explications qu'on trouve dans les ouvrages et articles de vulgarisation sont inexactes et il faut plaindre les « écrivains scientifiques ». Ils sont dans l'incapacité de donner une explication exacte transposée à l'image de nos sens, du fait qu'ils veulent décrire ce qui est à une échelle inaccessible pour nous. Qu'on ne croie pas que les écrits de « niveau supérieur » soient toujours plus réalistes. Un directeur de recherches du C.N.R.S. n'écrit-il pas que des expressions qui font image peuvent n'être qu'un « jargon qui permet de traduire en images intuitives certains traits mathématiques irreprésentables de la physique quantique ». Ces lois quantiques ne peuvent, selon lui, être décrites que par « des processus fictifs qui ne peuvent avoir lieu sans que le principe de la conservation de l'énergie soit violé ».

La quatrième relation d'incertitude d'Heisenberg a bon dos et pour admettre que le principe de conservation de l'énergie peut être violé, on déclare que ce n'est que pendant un temps très court, insaisissable, se plaçant dans les limites d'incertitude d'Heisenberg.

Autrement dit, on a recours à l'inexistant, au « virtuel » ; du moins à l'imperceptible, qu'on ne verra jamais directement, qu'on ne peut qu'imaginer, sans qu'on puisse le démentir dans certains cas ?

On se base parfois sur des théories limitées et contradictoires. « Les valeurs des masses des particules ne peuvent se calculer à partir des théories actuelles qui sont incapables de dire pourquoi la masse du pion est de l'ordre de $270 m_0$, celle des nucléons de l'ordre de $1840 m_0$ » (m_0 = masse de l'électron au repos, notion sans valeur d'ailleurs dans un atome où un électron ne peut être au repos). On est obligé d'avoir recours à des « transformations virtuelles » pour expliquer le passage du proton p au neutron n , pour la permutation de la charge.

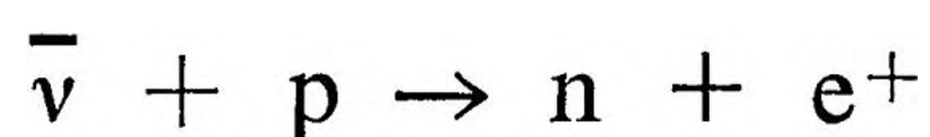
Car là aussi on est en pleine fiction. Nous ne savons pas ce que c'est une charge électrique. Quelques-uns prétendent que c'est une « nappe » d'électricité + qui se trouve localisée sur une petite partie de la surface du proton (une nappe faite de quoi ? de même pour la charge - sur une partie de la surface de la boule creuse que serait l'électron ?) Et peut-on parler de surface d'un proton ? Comment est fait un proton ? Un cœur très petit, de 0,3 fermi de rayon (1 fermi = 10^{-12} cm) très dur, fait de quoi ? C'est totalement inconnu. Certains disent qu'il s'y trouve des paires de nucléons proprement dit (?) - on peut donc concevoir l'inconcevable ?... - ainsi que des hypérons ; tout autour il y aurait un « manteau », formé d'un « nuage » virtuel de kaons (mésons K et de quoi sont faits les kaons ?), manteau de rayon sensiblement double de celui du cœur. Autour de ce nuage de kaons, il y aurait un « brouillard » de mésons π (faits de quoi ?) ; la densité de ce brouillard de pions irait en diminuant à mesure qu'on s'éloigne du cœur. Lui donner une « enveloppe » précise devient difficile et comment parler du diamètre du proton, le diamètre de quoi ?

de quelle partie ? On ne peut donner qu'un diamètre d'une partie matérielle, mais où s'arrête la partie matérielle dans un brouillard indéfini ; c'est l'esprit qui est dans le brouillard le plus absolu dans ce domaine. Dès lors, arbitrairement on fixe des limites ; on admet que la densité du brouillard mésonique devient négligeable au-delà de 1,8 à 2 fermis de rayon ; le rayon du nuage de kaons serait 1/3 du rayon du brouillard de pions soit environ 0,6 fermi. Ce sont là des valeurs très grandes eu égard à ce qui était admis pour le rayon du noyau de l'atome : dans l'argon par exemple, on calculait que le rayon du noyau était voisin de 1 fermi. Toutes les valeurs que l'on cite de nos jours résultent de calculs aléatoires. Certains donnent pour le cœur du proton un rayon de 0,15 fermi ; d'autres vont jusqu'à 0,2 ou 0,4. En fait, nous n'en savons rien, car il s'agit de déductions, à partir d'expériences indirectes et il faut bien reconnaître que toutes ces notions sont mises à mal à nouveau en 1973 à la suite de constatations « curieuses », « imprévues », obtenues par les nouveaux accélérateurs de protons à très haute énergie qui n'ont pas encore atteint leurs pleines performances ; si bien que la définition de ce qu'est la « section efficace » est à revoir ; pour le moment nous ne comprenons pas, c'est tout ce qu'il est honnête de dire.

Nous sommes très loin de la figuration schématisée où un proton est représenté par un cercle autour du signe +. De là la difficulté de représenter par un schéma exact certaines réactions. Soit :



Cette réaction signifie qu'un neutron se transforme en donnant un proton, plus un électron e^- qui s'échappe, plus un antineutrino. C'est la radioactivité β^- (puisqu'un « rayon β^-), autrement dit un électron e^- est expulsé). Cela permettait de dire que le neutron est un proton avec sa charge + neutralisée par une charge — et qu'il s'y trouve en plus un antineutrino. Mais voyons l'inverse : comment un proton peut-il devenir un neutron ? c'est la réaction écrite :



ou radioactivité β^+ (un e^+ s'en va). Il est impossible, par un schéma avec des charges dans des ronds d'expliquer cette réaction puisque le proton qui contient une charge + donne un neutron qui contient aussi une charge +, tandis qu'une autre charge + (e^+) s'en va. En outre, il apparaîtrait une charge — dans le neutron, il n'y en avait pas dans p. Il faut donc admettre, pour le calcul, que c'est l'antineutrino qui, au contact de p, se désintègre, disparaît pour donner (lui qui n'a pas de charge) deux charges opposées + et — sorties du néant ? La partie droite de la réaction a une masse supérieure à celle de p, pour deux raisons : n est déjà plus lourd que p et il y a en plus e^+ . Or p reçoit un antineutrino, qui n'a pas de

masse ? On pourrait déclarer ici qu'il se désintègre pour donner deux charges opposées, que son énergie se convertit en masse ? Malheureusement pour ces explications classiques c'est que la première égalité donne :

$$n = p + e^- + \bar{\nu}$$

Remplaçons n par sa valeur dans la deuxième égalité, elle va s'écrire :

$$\bar{\nu} + p = (p + e^- + \bar{\nu}) + e^+$$

Autrement dit $\bar{\nu}$ passe de gauche à droite, ne disparaît pas ; le proton qui se transforme en neutron peut encore s'écrire :

$$\bar{\nu} + p = (\bar{\nu} + p) + e^- + e^+$$

L'antineutrino ne bouge pas, il reste présent dans le nucléon, mais il y a apparition de deux charges de signes contraires ; elles ne peuvent donc pas venir de l'antineutrino. Il faut trouver une autre origine à e^- et à e^+ . Pour e^- l'explication classique est qu'il y a eu « capture K », c'est-à-dire capture d'un électron de la couche K qui tourne tout près des protons du noyau, parfois même entre eux. Mais cela laisse sans explication l'apparition de e^+ . Impossible de faire appel à l'action d'un photon γ qui se transformerait en une paire d'électrons de charges contraires, car on aurait une charge — de trop. On voit combien la représentation concrète de telles formules dites simples, fondamentales, nécessite d'images virtuelles... même pour l'a b c de la physique nucléaire.

Bien entendu, dans ce qui précède il ne s'agit que d'un très bref et très incomplet aperçu de quelques difficultés relatives aux explications que l'on tente de donner en physique nucléaire. Dans la radioactivité β^+ , l'apparition de e^+ est peu claire pour le profane ; il va même plus loin : s'il admet qu'une telle charge apparaîsse dans un neutron qui se forme au détriment d'un proton, il ne comprend plus qu'elle se dégage : pourquoi cette charge + traverserait-elle tout le cortège des charges — des couches électroniques sans « s'accoler » un électron au passage : la loi de Coulomb, de l'attraction entre charges de noms opposés serait « mise en sommeil » pendant la traversée ? Certes les « puristes » se placent à des niveaux supérieurs à ces vulgaires concrétisations et disent que la matière n'est qu'une fiction, qu'il n'y a que des « condensats de champs énergétiques », une « singularité de champ », un « plissement nodal » etc. Autrement dit la matière est une image virtuelle. Ce sont nos sens qui nous abusent et les balances aussi sont trompées. Qu'une masse soit autre chose que des ondes, des fictions que l'on voit, que l'on pèse ne peut être qu'une figuration virtuelle... En physique classique on identifie énergie et masse,

E

on écrira $m = \frac{E}{c^2}$. On nage avec volupté dans l'irréel ; on divise une

énergie par une vitesse pour lui donner un sens « physique ». Divisez l'énergie consommée en une heure par « Concorde » par sa vitesse à l'heure, divisez des choux par des carottes, voilà les mathématiques « modernes » qu'on nous propose. On voit toutes les élucubrations auxquelles on aboutit quand on veut « expliquer » ce que nos sens ne peuvent percevoir. Il faut être prudent dans la manipulation de l'image, même virtuelle et surtout ne pas s'en servir pour réfuter des observations qui n'ont rien à voir avec le phénomène dont on a dessiné une image totalement... imaginaire, tellement imaginée qu'elle est par trop loin du réel.

Dans ce domaine de l'abstrait tout est possible et c'est pourquoi dans nos ouvrages nous préférons l'observation concrète pour dire qu'un phénomène constaté existe bien ; peu importent les théories, cependant nécessaires à divers titres. Ce qui précède peut être considéré comme une boutade, une caricature. Cela pour accuser la différence qu'il y a entre certains principes de base des mathématiques et les formules d'application. Une des règles fondamentales enseignée était que le quotient est de même nature que le dividende. Si on divise une énergie on ne peut trouver qu'une énergie, non une masse. Certes voilà déjà bien longtemps que ce principe de base a été « modulé » et nous connaissons tous les calculs « aux dimensions » pour savoir de quelle « dimension » sera un produit, un quotient. Au fond cette « modulation » était appliquée par tous dès l'école primaire : en divisant une surface par une longueur, on a une longueur ; une masse divisée par un volume donne une densité ; une distance par un temps c'est une vitesse etc. Si l'on divise une énergie le quotient sera de même nature ? et la valeur du quotient, m est une énergie ? C'est là une vue simpliste malheureusement trop généralisée. Il ne s'agit pas d'une division par un nombre abstrait (sans dimension) et la nature du quotient est différente de celle du dividende, ce que l'on oublie parfois. Einstein en écrivant son égalité a eu soin de la nuancer, de dire dans quelles limites elle était valable, à partir de quels postulats il l'avait formulée. Il mettait en garde contre sa généralisation, entre autres, et explicitement, contre son application à la biologie. S'appuyer sur Einstein à tous propos c'est le trahir, c'est lui prêter un esprit simpliste qui n'a jamais été le sien. Il n'a pas dit : une particule de masse nulle n'a pas d'énergie ; si $m = 0$, $E = 0$.

Barrière de potentiel

Les « explications » plus ou moins sophistiquées ne manquent pas. Très souvent d'ailleurs le théoricien dira que ces explications n'ont pas de valeur absolue, que ce sont des façons concrètes d'exposer certains phénomènes, parce que, n'étant pas à notre échelle, nos sens ne peuvent pas les concevoir, d'où ces images, à accepter avec bien des réserves, comme la notion de barrière de potentiel.

Ainsi que je l'écrivais dans une édition allemande (traduite par

l'Oberstudiendirektor Martin Brünnermiller) il m'est parfois objecté l'impossibilité théorique de faire pénétrer un proton dans un noyau (cas du potassium qui devient calcium) si ce proton n'a qu'une faible énergie. Cela parce qu'il y a une « barrière de potentiel ». Cette répulsion électrostatique entre charges + s'étudie en classe vers l'âge de 15 à 16 ans (autrefois du moins, car là comme ailleurs tout change vite...). Cette loi de Coulomb était vérifiée expérimentalement, à l'échelle macroscopique par un pendule comportant une boule de moelle de sureau et un bâton de matière isolante chargée par frottement. Pour des distances très courtes, la loi de Coulomb conduit à des énergies de répulsion (ou d'attraction entre charges de noms contraires) qui sont considérables. Par le calcul, la théorie classique en est venue à dire que la loi de Coulomb ne se vérifie plus quand les distances sont inférieures à 10^{-13} cm ; cela pour expliquer que dans un même noyau les protons ne se repoussent pas (interaction forte entre nucléons, mais cette force est toujours une théorie en 1973 ; on n'en connaît pas la nature ; son existence même ne fait pas l'unanimité car on peut imaginer autre chose, puisque ce n'est pas vérifiable directement - on admet que c'est l'onde associée aux mésons virtuels : un nucléon émet ou absorbe un pion -). Quoi qu'il en soit, il y a des expériences assez variées pour dire qu'il y a bien répulsion d'une charge + à l'approche d'un noyau et je ne peux songer à mettre en doute une telle loi.

Mais cela ne signifie pas qu'il ne soit pas possible de faire entrer un proton dans un noyau. Quand il y a une barrière, il y a plusieurs moyens de passer de l'autre côté. On peut placer devant elle un plan incliné, sur lequel, par petits bonds monterait la particule jusqu'à ce qu'elle puisse tomber de l'autre côté. D'ailleurs la physique classique a admis qu'un certain nombre de particules ne sautaient pas la barrière, qu'elles pénétraient avec une faible énergie et pour l'expliquer on a imaginé « l'effet tunnel » : un tunnel passe sous la barrière et des particules l'empruntent. Dans d'autres cas on admet qu'il y a parfois des effets de résonance qui permettent à des particules de sauter la barrière.

Mais comme en biologie il est évident que les particules passent avec une faible énergie, on peut se demander si la Nature ne dispose pas de moyens plus fins que nos bombardements, faits au hasard. Et l'un de ces moyens ne consisterait-il pas tout simplement à ouvrir la barrière, au lieu de la sauter ? Le premier exemple de cette ouverture de la barrière de potentiel a été exposé par le prix Nobel Szent Györgyi. Il a montré comment, en biologie, s'ouvre la barrière de potentiel constituée par l'enveloppe périphérique d'électrons de l'atome pour que deux atomes puissent se lier, avec une très faible énergie ; car sinon les charges — des électrons se repousseraient avec une énergie infiniment grande quand leur distance deviendrait infiniment petite. Ou alors il faudrait les accélérer avec une énergie cinétique telle que les barrières se fracassent.

Or en biologie cette énergie est très faible, sans commune mesure parfois avec l'énergie nécessaire en chimie ; ce qui fait que la biologie réalise des réactions chimiques impossibles en opérant sur de la matière morte. Szent Györgyi a montré que lorsque deux atomes vont se réunir, sous un effet enzymatique qui les rapproche, puis les maintient bloqués à faible distance, ce blocage des charges négatives qui ne se repoussent pas provient d'une accumulation de protons sur le site actif de l'enzyme

(beaucoup d'enzymes sont terminées par le groupe méthyle $\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{H} \\ \text{---} \text{H} \\ \diagdown \text{H} \end{array}$ de

sorte qu'il y a là trois protons, en bout de chaîne, leur électron étant tenu par la liaison carbone). Un autre site accumule les charges négatives qui vont repousser les électrons périphériques les plus proches ; ces électrons périphériques, faiblement liés au noyau, repoussés par les couches inférieures, sont facilement mobiles, peuvent être écartés, voire chassés. Sous cet effet du site négatif de l'enzyme, le « nuage » de l'orbitale atomique va présenter un « trou ». Pendant ce temps, sur l'atome qui approche, un électron périphérique va être « excité ». Il monte sur une orbite d'attente où il est en position instable. Quand, dans le mouvement relatif des deux atomes à joindre, cet électron en équilibre instable va passer devant le « trou » de l'autre, il va s'y précipiter, attiré par le trou.

C'est là un phénomène maintenant bien connu, utilisé dans les transistors. Dans une nappe négative il y a une diminution d'intensité, un espace moins négatif : il se comporte comme une charge positive et attire l'électron. Ainsi, non seulement il n'y a pas répulsion, mais il y a attraction (la notion de « trou » est une image, et certains théoriciens déclarent qu'il faut l'abandonner, car trop loin de la réalité... mais que proposent-ils ?).

Cela semble transposable aux charges positives : un « refoulement » de protons périphériques peut créer une « poche » moins positive, donc relativement négative par rapport au proton incident qui est « aspiré » et non plus refoulé.

Mais il est probable qu'il y a diverses autres causes. L'étude de la loi de Coulomb a été faite macroscopiquement. Est-elle encore représentée par une hyperbole (une courbe continue) à l'échelle des distances inter-nucléiques ? Le physicien R. de Puymorin pense que non, au lieu d'une courbe continue ce serait une courbe ondulée, dont la longueur d'onde serait celle du rayon de l'électron et du nucléon soit $1,87 \cdot 10^{-13}$ cm (?) Cette nature ondulatoire ne pourrait être négligée qu'au-delà de 10 à 20 longueurs d'onde, soit 2 à 3 rayons nucléaires ? Au-dessous de 10 longueurs d'onde, le calcul serait à conduire comme celui de l'interaction entre deux systèmes d'ondes stationnaires. Lorsqu'on arrive à une distance de l'ordre de la demi-longueur d'onde, la loi de Coulomb ne peut plus jouer, on est au creux d'une onde, il n'y a plus répulsion de

charges +, mais immobilisation, seul un petit « frémissement » étant possible, au creux de l'onde.

On peut dès lors supposer que lorsqu'un proton se rapproche du noyau, il le fait d'une façon discontinue, par saccades, par quantum d'énergie. Au sommet de l'onde stationnaire la répulsion serait maximale, au bas elle serait nulle. Les enzymes auraient un jeu assez fin pour ne pousser qu'au moment où le proton est au voisinage du « plancher » de l'onde, donc à très faible énergie. Comme l'a écrit L. de Broglie « la trajectoire naturelle suit une ligne de thalweg de néguentropie ». Avec des accélérateurs de particules il n'est évidemment pas question de jouer aussi fin, on n'a qu'un résultat statistique moyen, un gros gaspillage d'énergie et c'est pourquoi sur le plan énergétique les deux phénomènes n'ont rien de comparable. En géologie le processus est différent. Il y a un effet de récurrence, d'énergie qui s'accumule progressivement. Il ne faut pas compter en millions d'années : dès que les conditions de température et de pression sont atteintes la transmutation se fait vite. En laboratoire de synthèse, nous l'obtenons en quelques minutes.

Nous pouvons conclure en disant que la physique nucléaire classique, dans ce domaine, n'a que des hypothèses, par trop simplistes. Le phénomène semble complexe, les grands physiciens en ont conscience. Nous avons encore beaucoup à découvrir dans ces problèmes de l'énergie nucléaire et il est par trop sommaire d'opposer des questions d'impossibilité énergétique à nos transmutations, puisqu'on connaît si mal ces problèmes. Le fait existe ; qu'on ne puisse pas l'expliquer veut seulement dire qu'il ne s'intègre pas dans les normes théoriques classiques. Ce qu'aurait pu - et dû - voir la physique nucléaire classique.

Il y a longtemps que la physique classique aurait pu sortir de l'impasse dans laquelle elle s'est enfoncée de plus en plus. Elle n'a pas su, ou pas voulu voir certaines fenêtres latérales, pourtant notées, mais sans commentaire.

Parmi les réactions que j'ai mises en évidence, les plus nombreuses se font par un mouvement d'un proton. Cela ne peut être interprété qu'en disant qu'il peut y avoir, dans certains noyaux (nous verrons lesquels) un proton qui peut partir plus facilement, à une énergie relativement plus faible que celle qui lie les autres nucléons du noyau ; tandis que dans d'autres noyaux il y a un « trou », où un proton peut venir se loger facilement. Nous le verrons à propos des règles que nous avons dégagées, toujours confirmées expérimentalement jusqu'à présent.

Mais voyons quelques expériences de la physique classique citées par tous les ouvrages, mais qu'on n'a pas su voir. Dès la première expérience de transmutation artificielle de Rutherford, puis celles de Chadwick, il fut montré que les éléments légers, du bore au potassium, sous le choc à faible

énergie d'une particule α émise par une substance radioactive naturelle (radium, polonium...) donnaient un nouvel élément différent du premier par un proton de plus, tandis qu'un proton était expulsé. Le corps initial et le corps final étaient des éléments stables. Seuls le carbone (3α ?) et l'oxygène (4α ?) résistèrent à cette transmutation artificielle par impact d'un rayon α .

En 1937, selon Thibaud, on avait réalisé ce type de réaction sur 13 éléments légers. Rappelons celle de Rutherford : ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$. Tout d'abord une remarque : une telle formule n'a pas été établie expérimentalement par Rutherford. Il constata seulement une production d'oxygène et de protons. Ce n'est que longtemps après que cette écriture fut introduite dans les livres, car en 1919 on ne comprenait pas ce qu'était un isotope ; on ne connut le neutron qu'en 1932. C'est donc pour « balancer » théoriquement les masses qu'on écrivit ${}^{17}\text{O}$.

Quelques formules écrites après 1919 durent d'ailleurs être retouchées. Bethe et Becker, en 1930 reprirent la réaction ${}^9_4\text{Be} + \alpha$ du polonium servant de projectile ; ils constatèrent qu'on ne pouvait pas écrire ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} = {}^{13}_6\text{C}$ car le spectromètre de masse montrait qu'on avait ${}^{12}\text{C}$ et non ${}^{13}\text{C}$. Dès lors cette réaction ne pouvait se comprendre que s'il y avait une particule de masse égale à un proton mais qui n'était pas chargée, puisque le champ électromagnétique ne la déviait pas. L'idée du neutron était lancée. La discussion se poursuivit toute l'année 1931 et c'est en 1932 que Chadwick apporta une explication qui parut « correcte » : il devait partir une particule de masse égale à 1, mais indétectable du fait d'une charge électrique nulle, du moins par les moyens électromagnétiques. On l'appela le « neutron » du fait de sa neutralité électrique et on l'écrivit ${}^1_0\text{n}$; la réaction d'une particule α sur le béryllium s'écrivit : ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} = {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$.

On oublie trop souvent de « rendre à César... » et on passe sous silence le fait que déjà en 1923 cette particule de masse égale à l'hydrogène et de charge nulle avait été postulée par Volochine (mort en 1972). Il faisait état d'une réaction qui ne pouvait s'écrire qu'avec « un hydrogène neutre », qu'il écrivait ${}^1_0\text{H}$ (à cette époque on écrivait la masse en bas, la charge en haut) ; c'était donc bien une charge nulle pour une masse égale à 1, ce qui fut appelé 9 ans plus tard le neutron (v. Casopis pro pestovani Matemateky A Fysiky - ou Journal pour l'Avancement des Mathém. et de la Phys., L. II, n° 3, p. 276 - 1923 - Prague). Volochine, membre du Cercle de Physique A. Dufour, était en France depuis longtemps - il est mort à 92 ans. C'est donc lui en fait le « père » du neutron, non Chadwick, mais ces exclusives portées contre tel ou tel scientifique sont hélas monnaie courante « Les savants sont des hommes comme les autres » a écrit Alexis Carrel, avec les mêmes défauts que les autres, les mêmes mesquineries.

Voici deux autres exemples de réactions d'éléments légers avec des particules alpha émises par des substances radioactives naturelles, celle de l'élément le plus léger, et celle de l'élément le plus lourd sur lesquels ont porté les expériences de ce genre : ${}^{10}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} = {}^{13}_6\text{C} + {}^1_1\text{H}$ - ${}^{39}_{19}\text{K} + {}^4_2\text{He} = {}^{42}_{20}\text{Ca} + {}^1_1\text{H}$.

Certaines des premières réactions écrites durent être retouchées quand Irène et Joliot-Curie montrèrent en 1934 l'existence de transmutations artificielles radioactives. La première expérience s'écrivit : ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n}$, suivie de ${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + \beta^+$. Il y avait une réaction en deux temps : d'abord production d'un phosphore radioactif et projection d'un neutron, puis désintégration rapide (période 2,55 mn) de ce phosphore pour donner un silicium stable avec projection d'un électron positif. Du fait de la faible durée de la période, ce phénomène avait échappé auparavant, d'autant plus que la réaction ne portait que sur une très petite quantité non pondérale de matière.

Ce qu'il est important de retenir, c'est qu'il est des réactions, connues depuis 1919, où il y a projection d'un proton, le nouvel élément formé étant stable. Donc H est une particule souvent chassée, ce qui ne s'explique que si un proton se trouve plus faiblement lié que les autres. Dès lors le calcul théorique (et faux) de l'énergie moyenne par nucléon n'a plus de sens : si j'ai un attelage de 9 souris et d'un éléphant, si une souris s'échappe, l'énergie totale de traction ne changera pas beaucoup et l'énergie moyenne par animal, dans cet attelage, n'a aucun sens. Si un ensemble est hétérogène, la moyenne n'est qu'une opération mathématique, sans aucun sens physique. Or certains noyaux, je vais le montrer, sont des constructions hétérogènes. Cela la physique classique le sait, mais n'y pense pas.

2) L'uranium 235

Pour des raisons bien connues l'uranium 235 a été un des atomes fissiles les plus étudiés. On sait, ce n'est pas contesté par la science officielle, qu'à la fission ${}^{235}\text{U}$ se sépare en deux parties inégales, mais toujours sensiblement les mêmes, avec un « morceau » emportant $92 \times 2/5 \pm 1$, ou ± 2 protons (l'autre : $92 \times 3/5 \pm 1$ ou ± 2 - fig. 18). Autrement

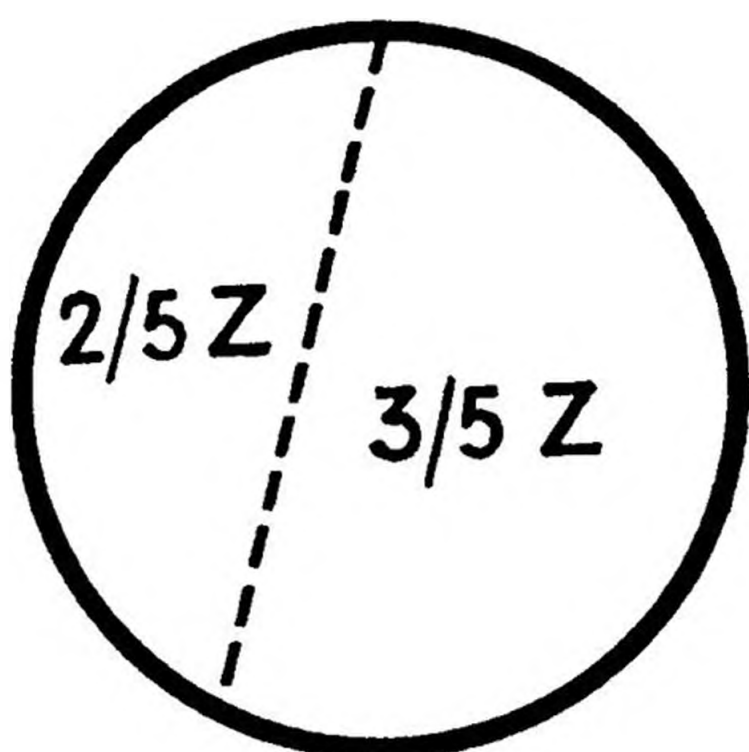


FIG. 18 - La fission de l'uranium se fait par séparation du noyau en deux parties inégales, mais toujours constantes : d'une part $2/5$ des protons, d'autre part $3/5$.

dit, 92 n'étant pas divisible par 5, nous avons ici une « bavure » d'un ou deux protons qui vont tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, mais le reste est une coupure franche, ce qui ne peut être le fait du hasard, car sinon, si tous les nucléons étaient liés par une énergie sensiblement égale, la rupture se ferait selon les lois du hasard. Au lieu de ne tenir compte que des protons, il serait possible de penser aux nucléons, et dire que ^{235}U se scinde en deux parties à peu près constantes, avec en moyenne 95 nucléons d'un côté et 140 de l'autre. Toutefois la référence aux protons est plus commode, car on peut plus facilement prévoir quels seront les produits de fission, tandis que le grand nombre d'isotopes des éléments lourds laisse trop d'incertitude.

Par exemple on pourra avoir du krypton 85 (qui a 36 protons) et du baryum 133 (qui en a 56). L'uranium 235 « tient » avec 143 neutrons (et encore « tient-il » mal puisqu'il est instable, radioactif), mais par la fission,

le Kr qui se forme a	49	neutrons
” Ba ” ” ” ”	77	”
	total	126 ”

Il y a trop de neutrons dans l'uranium pour les deux « morceaux » qui se sont formés, et 17 seront expulsés, d'où une violente radioactivité, Même les deux nouveaux éléments formés contiennent, dans leur noyau, trop de neutrons, ils sont instables et vont expulser ces neutrons en excédent. Le baryum 133 se désintègre par capture K, un proton devient neutron et il reste du césium, tandis que le krypton 85 par émission β^- voit un neutron devenir proton et on a du rubidium. Nous pouvons représenter schématiquement un noyau d'uranium 235 selon la fig. 19.

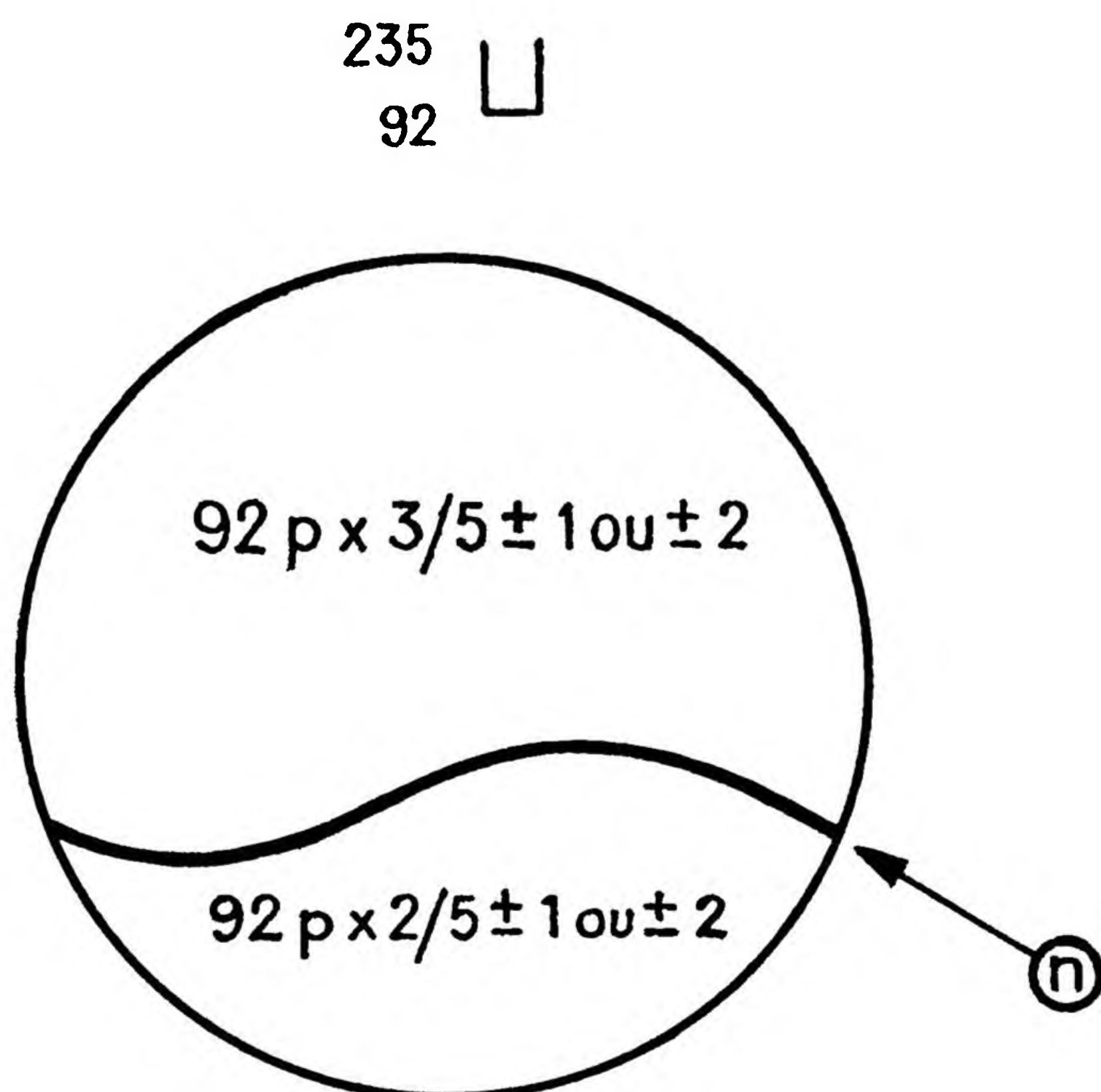


FIG. 19 - Schéma de la fission de l'uranium 235.

Ce rappel n'est pas inutile pour comprendre le mauvais rendement d'une fission de ce genre, par rapport à un calcul théorique qui se baserait sur la séparation de tous les nuclides ; il n'est libéré qu'une petite partie de l'énergie totale de liaison, puisque la rupture ne porte que sur les nuclides en contact le long de la surface de clivage. Mais nous voyons là qu'il est bien admis par la science classique qu'il y a des noyaux qui ne sont pas des groupements homogènes de protons et de nucléons, pas même en couches, mais sont construits en « sous-noyaux », en « sous-ensembles », chacune de ces parties n'étant liée à l'autre que par une faible énergie (n'oublions pas non plus que c'est un neutron lent, pénétrant dans la fissure, comme un coin, qui sépare les deux sous-ensembles, en cheminant à une vitesse relativement lente à travers le noyau de l'uranium).

3) Le plomb stable, n'est pas stable

La plupart des traités de physique nucléaire déclarent que les descendants de l'uranium et du thorium aboutissent chacun finalement à un isotope différent, mais stable du plomb (c'est même sur ce principe qu'est basée une méthode de datation de l'âge de la Terre ; et quel crédit lui accorder ?). Mais qu'est-ce que la stabilité ? Tous les physiciens ne sont pas d'accord sur ce que signifie ce mot ; pour quelques-uns il n'a pas de sens. De Russie, Korolkov me fait parvenir une « Table de Stabilité des Éléments » donnant la période des éléments que la science classique appelle « stables ». Pour ceux-là il y a possibilité de fission spontanée ; ils ne sont pas normalement radioactifs, mais peuvent « éclater » spontanément en deux éléments radioactifs. Leur période est très élevée ; pour les plus « stables » elle dépasse la durée présumée de la formation du système solaire (ils préexistaient à la formation de notre galaxie... et cela promet du travail pour revoir la cosmogénèse ?). A simple titre d'indication, cette table des fissions spontanées donne 2.10^{15} ans pour Si, tandis que le plomb ne prend place que dans la VI^e Période, avec 2.10^{11} ans.

Cette « fission spontanée » du plomb commence à être étudiée, par les « classiques ». C'est en 1940 que Feogii Flerov et Constantin Petrzhak ont signalé l'existence de telles fissions de nuclides stables en nuclides radioactifs. On en parla peu (c'était la Deuxième Grande Guerre Mondiale, et contraire à l'orthodoxie de la « science occidentale » qui se croyait la seule qualifiée dans le monde...). Plus de 30 ans après, dans les traités classiques, il n'en était pas encore fait état. Cependant les Russes poursuivaient leurs recherches. Flerov, avec Sergei Polikanov, à Dubna montrèrent comment provoquer ces fissions « spontanées » d'éléments stables (spontanée, elle n'est pas instantanée ; elle varie selon les nuclides, et l'ordre de grandeur de la durée est le centième de seconde). C'est par une excitation que l'on obtient de telles fissions. En 1973 on connaît une

trentaine de nuclides stables (tous des éléments lourds) qu'on sait faire « éclater » en général en deux parties sensiblement égales. Mais, en 1973, la physique nucléaire classique n'a encore aucune théorie à proposer, car cela conduirait à bien des déchirements.

Prenons le cas du plomb 206. Ce $^{206}_{82}\text{Pb}$, excité, va se scinder en deux parties égales, la moitié des protons et la moitié des neutrons partant de chaque côté, et l'on aura deux atomes semblables de niobium $^{103}_{41}\text{Nb}$. Bien entendu ces isotopes ont un excédent de neutrons qu'ils vont « vomir » ; ils sont radioactifs.

L'important est de constater que là encore le noyau s'est fendu en deux, comme une noix, qui se casse selon le plan médian. Il y a donc dans le plomb 206 un plan de moindre résistance, puisque la fission se fait selon ce plan (plus rarement on « l'écorche », en faisant sauter seulement 4 α et il reste $^{190}_{74}\text{W}$). Dès lors on voit de toute évidence que la notion d'énergie moyenne par nucléon n'a pas de sens, qu'il est bien établi que des noyaux sont constitués de parties consistantes, qui se clivent toujours selon la zone de moindre résistance. On peut représenter le noyau du plomb 206 schématiquement par un cercle et un diamètre indique la faille ; de chaque côté de la faille il y a la moitié des nucléons, et chaque demi-noyau s'en va de son côté (fig. 20, à gauche). Il est impossible de penser à une struc-

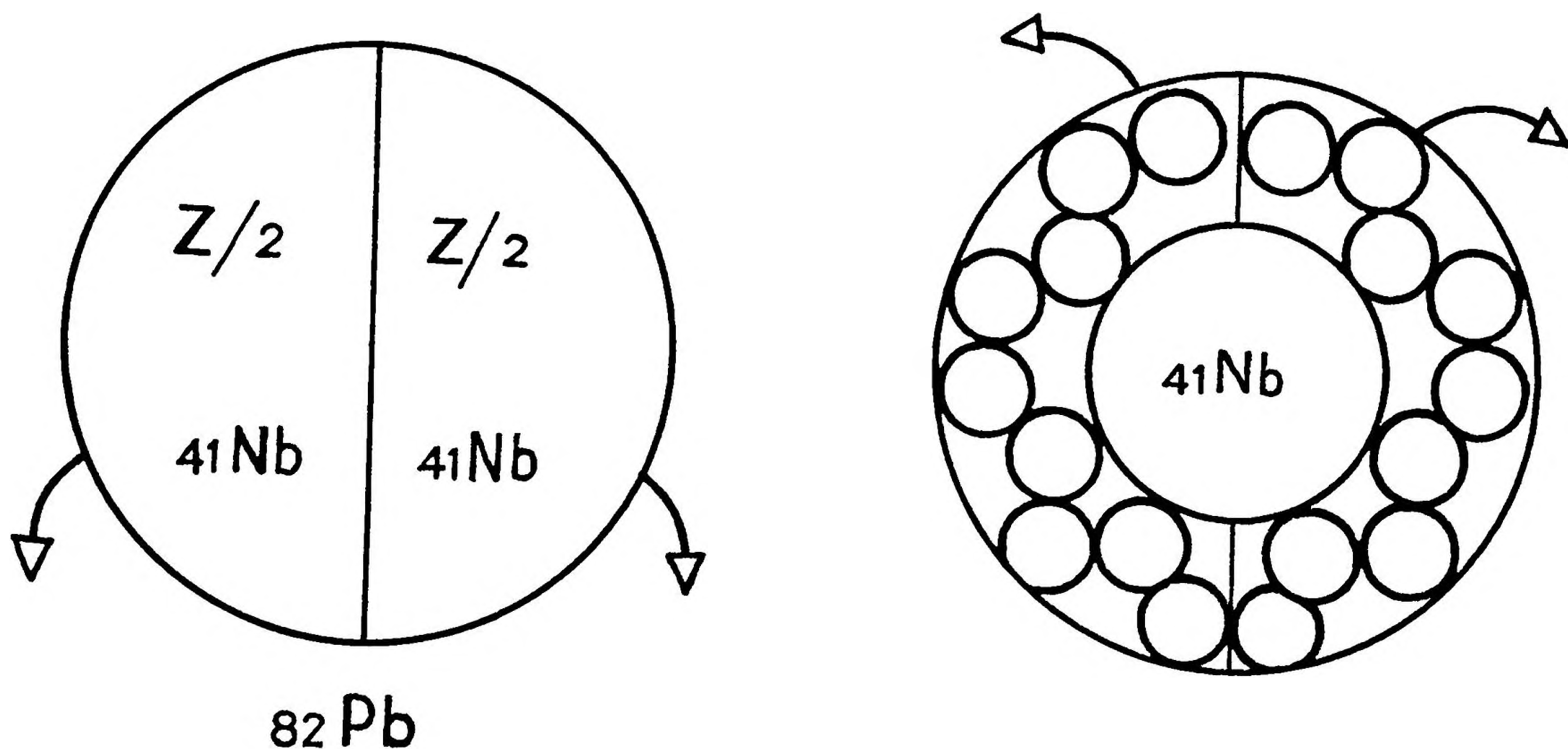


FIG. 20 - « Fission spontanée » du plomb

- A gauche le noyau de $^{206}_{82}\text{Pb}$ se sépare en deux parties égales $2 \cdot ^{103}_{41}\text{Nb}$; elle ne peut s'expliquer que par une « fissure » médiane.
- A droite, la structure « en couches apparaît impossible, car il faudrait un cœur de 41 protons et une couronne de 41 protons qui s'ouvriraient comme une coquille pour venir se regrouper en un noyau.

ture en couches, comme figuré à droite, car si la partie centrale peut représenter un sous-ensemble qui serait du niobium, il faut que la « coquille » de nucléons périphériques s'ouvre et comment se regrouperont-ils pour faire un nouveau noyau de niobium ? (dans le cas, très

rare, où il se produit du tungstène 190, ce serait « par ricochet » que 4 α seraient arrachés à la couronne).

4) Convergences avec notre concept d'un noyau

Quatorze ans après la diffusion que j'ai faite du concept d'un noyau formé de morceaux très solides, faiblement liés entre eux, comme des briques dans un mortier, faisant remarquer que la lézarde se fera dans le plâtre, contournera les briques, la physique classique, de toutes parts, vient confirmer cette conception, sans laquelle les transmutations observées ne seraient pas possibles.

Prenons le cas du noyau de calcium, tel que je l'ai décrit dans mes publications, périodiques ou livres, depuis 1959. Nous avons vu que pour ${}_{92}^{235}\text{U}$, la fission se fait selon la règle de $2/5 Z$ d'un côté, $3/5 Z$ de l'autre. Il en est de même pour ${}_{20}^{40}\text{Ca}$. Les $2/5$ de Z , avec ici $Z = 20$ donnent 8 protons d'un côté (l'oxygène) et $3/5$ de l'autre, soit 12, ce qui est Mg ; de sorte qu'on a ${}_{20}^{40}\text{Ca} := : {}_{12}^{24}\text{Mg} + {}_{8}^{16}\text{O}$ (fig. 21). Mais il y a une différence entre une fission classique et ce qu'on a appelé « l'effet Kervran » :

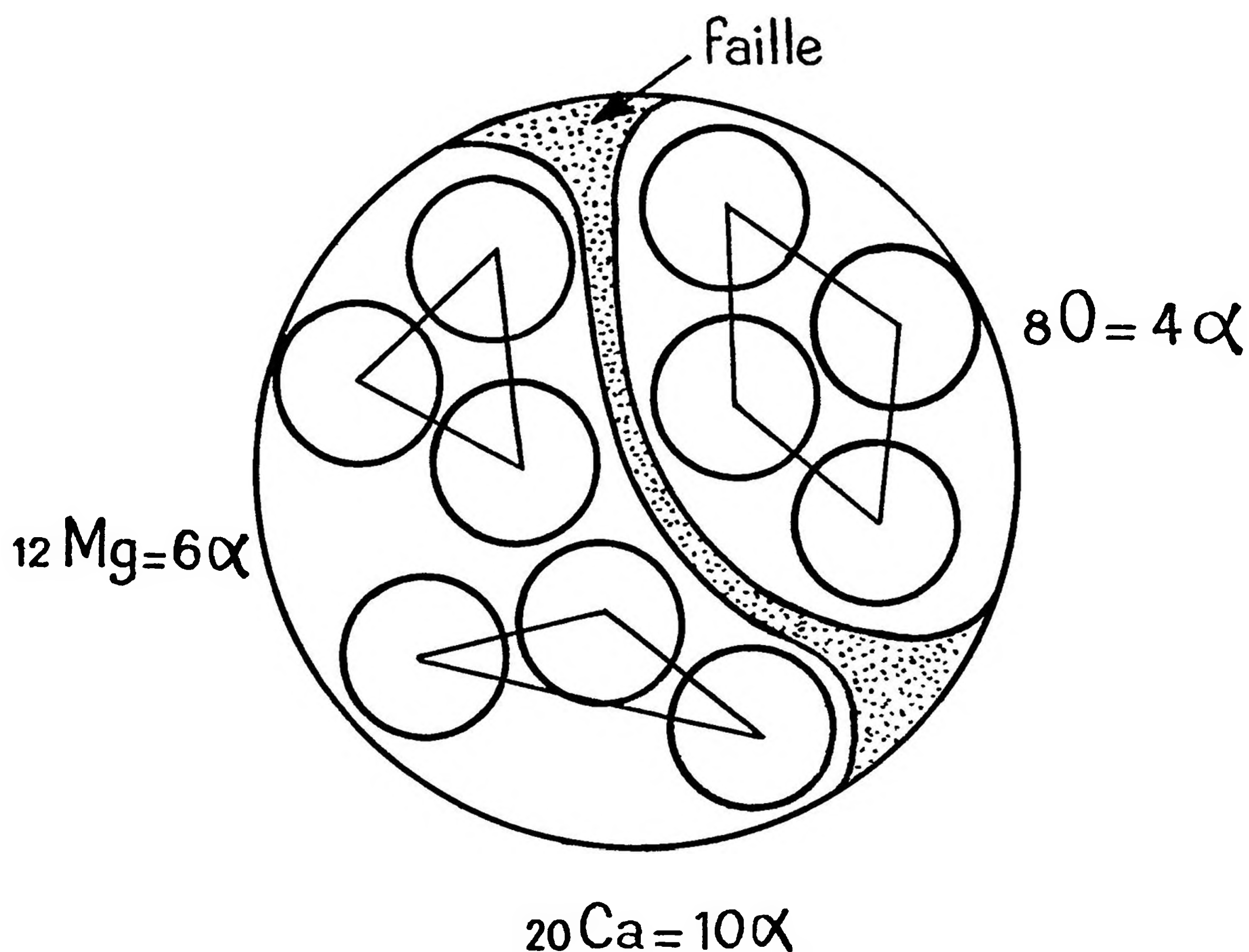


FIG. 21 - Le noyau du calcium peut être schématisé comme formé de deux sous-ensembles faiblement liés, la « surface de clivage » étant figurée en pointillés. Ce clivage se fait avec $2/5 Z$ d'une part (ici l'oxygène) et $3/5 Z$ d'autre part (ici le magnésium).

c'est qu'ici on part de nuclides stables, et qu'on aboutit à des nuclides stables ; dans l'isotope 40 de Ca, il part d'un côté 8 protons avec leurs 8 neutrons, de l'autre côté 12 protons avec leurs 12 neutrons. Mais c'est

la répulsion protonique qui compte pour ces « clivages » (comme je les ai appelés) et il y a un peu plus de souplesse pour les neutrons ; c'est dire qu'on peut partir d'un autre isotope stable de calcium, et les neutrons en excédent par rapport au nombre de protons se répartiront sur Mg ou sur O, ou sur les deux, mais à condition que Mg et O puissent les retenir, c'est-à-dire que la réaction n'est possible que si Mg et O résultant du clivage sont stables eux aussi.

Mais pas plus pour ${}_{92}\text{U}$ que pour ${}_{20}\text{Ca}$ il ne faudrait déduire qu'il y a une règle générale de clivage selon les proportions $2/5$ et $3/5$ de Z . D'ailleurs nous avons vu que pour le ${}_{82}^{206}\text{Pb}$, la séparation se fait en deux parties égales, $Z/2$. Cela est vrai aussi pour d'autres éléments, ou l'inverse, la fusion classique, ou ce que j'ai appelé le « frittage ». C'est ainsi qu'il a été montré à l'accélérateur de particules qu'en projetant un ion ${}_{6}\text{C}^{+}$ fortement accéléré sur une cible de carbone on obtient Mg, qui serait $2.{}_{6}\text{C} \rightarrow {}_{12}\text{Mg}$. Nous avons montré aussi dans nos ouvrages comment on peut écrire que $2.{}_{8}^{16}\text{O} : = : {}_{16}^{32}\text{S}$.

Quant aux réactions avec $\pm \text{H}$, nous en avons vu de nombreux exemples. Il semble même que par des moyens physiques on observe de telles réactions, outre celles que nous avons vues en géologie. Dans le cadre de travaux classiques, J. Romand et B. Vodar, respectivement directeur-adjoint et directeur du Laboratoire des Hautes Pressions et Hautes Températures du C.N.R.S. ont fait état d'une expérience. L'onde de choc d'une explosion, estimée donnant 700 kb aurait transformé du xénon en un produit métallique dont les propriétés seraient analogues à celles du césium. Or 26,96 % du xénon sont constitués par l'isotope 132, et l'on pourrait écrire ${}_{54}^{132}\text{Xe} + {}_{1}^{1}\text{H} \rightarrow {}_{55}^{133}\text{Cs}$. Si cela était confirmé, il y aurait là un autre cas d'application avec $+ \text{H}^{+}$, sans radioactivité, donc différente des réactions classiques. Mais pour ces éléments lourds, l'énergie à mettre en œuvre est considérable ; ce qui est à retenir c'est qu'il y aurait là une fusion obtenue par des procédés totalement différents de ceux de la physique nucléaire classique.

De plus en plus, les physiciens sont donc obligés d'admettre qu'il y a d'autres voies que celles dans lesquelles ils se sont complus pendant plus de 50 ans, malgré d'autres faits, connus, mais auxquels ils n'ont pas songé, toute leur attention étant braquée vers l'avant qui, pour eux, était le perfectionnement des moyens leur permettant de progresser dans la direction qui leur avait été indiquée par Rutherford.

De plus en plus on en parle, on expérimente dans ces voies nouvelles et il faudra bien sous peu que les théoriciens élaborent du neuf.

5) Une remarque sur l'oxygène

J'ai dit que l'oxygène se comportait comme un sous-ensemble se déplaçant d'un bloc, qu'il est insécable. Il convient de nuancer cette affirmation car lorsqu'il est isolé il peut se transmuter, en perdant son proton célibataire, pour devenir azote ; inversement l'azote peut prendre un proton célibataire, mais plus exactement il s'agit alors du deuton ${}^2_1\text{H}$; il y a déplacement du proton et de son neutron lié (il y a 7 couples analogues dans l'azote 14 et 8 dans l'oxygène 16). Nous avons étudié cela dans d'autres ouvrages à propos des intoxications oxycarbonées, sans qu'il soit respiré de monoxyde de carbone.

Cette réaction est importante à retenir car elle ouvre aussi des perspectives en cosmogénèse. Le trio C - N - O a une place à part. Je l'avais montré dans l'édition de 1962, et les rééditions de « Transmutations biologiques ». N est au fond d'un « puits de potentiel » ; c'est lui qui a l'énergie la plus faible, c'est lui le plus stable ; il faut lui fournir de l'énergie pour « monter » au niveau de C, ou de O qui l'encadrent, ce qui est une anomalie vis-à-vis des autres éléments où l'énergie potentielle augmente avec le n° atomique.

Dès lors on comprend que si la masse gazeuse qui a précédé la condensation de la Terre était en grande partie constituée par N on ait pu avoir $2.7\text{N} \rightarrow {}_{14}\text{Si}$, à un autre niveau énergétique il a pu se former $2.7\text{N} \rightarrow {}_6\text{C} + {}_8\text{O}$. Une réaction chimique de 2 atomes de O avec un atome de C aurait donné CO_2 et l'atmosphère des planètes (Vénus ?) pourrait, selon les conditions cosmiques, être riche en gaz carbonique. L'atome de carbone non combiné à O a pu s'occlure dans les composés silicatés de sorte qu'on trouve du graphite dans les roches antérieures à l'apparition de toute vie sur la Terre. Le diamant non plus n'est pas d'origine organique et on voit que tout le carbone n'est pas une conséquence de l'apparition de la vie, il lui est antérieur, antérieur à la photosynthèse et gardons-nous des affirmations trop tranchées, insuffisamment nuancées. Gardons-nous aussi du postulat de l'invariance de la matière pour dire que la vie se contente d'une opération chimique de transformation du carbone de l'air, que le stock de carbone est le même depuis la Création de la Terre, pour l'éternité : de nombreuses recherches en agriculture ont montré que N peut disparaître, tandis que les hydrates de carbone augmentent, mais ces aspects biologiques n'ont pas leur place ici.

APERÇU SUR LES REGLES DES TRANSMUTATIONS

« A FAIBLE ENERGIE »

Il nous reste maintenant à dégager les règles selon lesquelles se font les réactions que nous avons mises en évidence, tout d'abord en biologie, puis confirmées par des moyens purement physiques. Il est toujours difficile de définir un phénomène par une expression très courte, qui risque d'être trop générale, donc inexacte dans certains cas, ou d'être trop limitée, conduisant alors parfois à des extrapolations inexactes aussi. Les transmutations biologiques ne sont qu'un cas particulier ; les transmutations à faible énergie englobent ces transmutations biologiques, mais aussi celles qui sont réalisées par des énergies physiques simples, les énergies physico-chimiques mises en œuvre en biologie étant des plus complexes. Il est certain cependant que l'expression « faible » énergie est très vague. En fait, je l'ai introduite pour distinguer les réactions que je constatais des réactions classiques de la physique nucléaire, où l'on procède par des bombardements de particules, à très haute énergie parfois, appliqués à chaque noyau pour obtenir essentiellement des fissions, car la fusion peut poser d'autres problèmes.

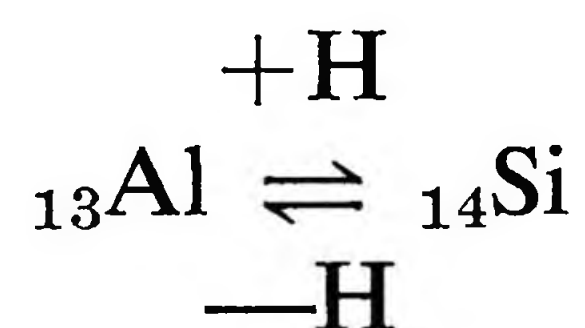
Par de tels moyens on peut envisager de démolir n'importe quel noyau, de le briser, de le faire éclater. Or je montrais que l'on pouvait obtenir, par la douceur en quelque sorte, avec une énergie considérablement plus faible, certaines transmutations qui ne s'expliquaient que par un « clivage » de parties insécables d'un ensemble ; insécables du moins pour les faibles énergies relatives mises en œuvre. De plus ces « glissements » de deux parties (je n'en constatais jamais trois simultanément) l'une sur l'autre, le long de la surface de clivage, se faisait « proprement », « sans bavure », sans « étincelles de rupture », autrement dit sans projection de particules, sans radioactivité. C'est pour englober toutes ces conditions, trop longues à énumérer chaque fois, que cela a été appelé « l'effet Kervran », et que l'on veuille bien m'excuser de l'employer, après 10 ans d'hésitation, et uniquement par abréviation, pour englober tout ce qui précède.

Ces réactions mises en évidence d'abord en biologie, supposaient une structure du noyau qu'il fallait revoir. Il n'était constaté que certaines réactions, réversibles, et pas d'autres. La géologie le confirmait, les recherches in vitro en laboratoires de hautes pressions aussi. Pourquoi ? En biologie je constatais qu'il fallait éliminer toute réaction avec les gaz rares ; inertes, ils n'apparaissent dans aucune combinaison moléculaire biologique. Mais on ne trouve pas non plus en biologie de trace de béryllium, de scandium et il y a peu d'éléments à $Z > 30$.

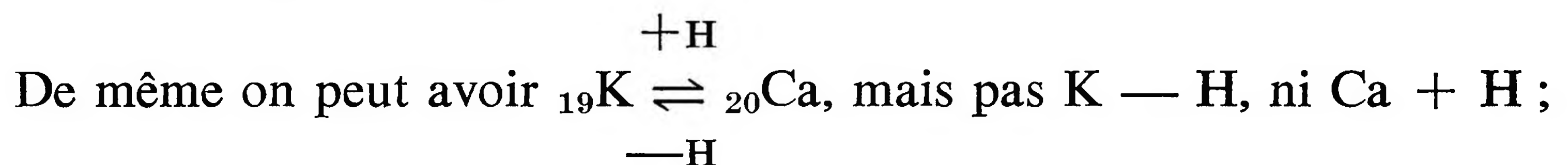
Il serait donc vain de croire qu'il suffit de faire une table à double entrée, d'additionner les numéros atomiques pour dire que cela doit donner un nouvel élément à Z égal à leur somme. Mais même en restant dans les « corps simples » abondants dans la matière vivante, il n'était jamais observé certains passages d'un élément à un autre, par « clivage » ou par « frittage ». Le grand nombre d'expériences convergentes permit de formuler une explication.

1) Les limites des réactions avec $\pm H^+$ (un proton)

On observe, en biologie, comme en géophysique, une réaction telle que ${}_{13}\text{Al} + {}_1\text{H} \rightarrow {}_{14}\text{Si}$; ou bien son inverse, selon les conditions, car la réversibilité ne s'entend pas ici comme en chimie, ce n'est pas un équilibre ; c'est ou l'une ou l'autre, parce que les conditions sont différentes. On peut écrire, globalement :



Par contre, je n'ai jamais observé, et n'ai pas connaissance que quelqu'un ait observé le passage de ${}_{12}\text{Mg}$ à ${}_{13}\text{Al}$; ni celui de ${}_{16}\text{S}$ à ${}_{17}\text{Cl}$.



ni $\text{S} + \text{H}$, ou $\text{Cl} - \text{H}$ etc.

Cela nous a conduit à formuler une règle importante, puisqu'elle peut servir de guide pour orienter les recherches, tout en les limitant :

a) On passe plus facilement d'un élément à Z impair à l'élément à Z pair qui le suit, mais on ne passe pas d'un Z pair au Z impair suivant : on passera de ${}_{13}\text{Al}$ à ${}_{14}\text{Si}$, mais pas de ${}_{14}\text{Si}$ à ${}_{15}\text{P}$.

b) On ne passe pas, comme corollaire, d'un élément à Z impair à l'élément à Z pair qui le précède : on passera de ${}_{11}\text{Na}$ à ${}_{12}\text{Mg}$, d'après l'alinéa précédent, mais pas de ${}_{11}\text{Na}$ à ${}_{10}\text{Ne}$; ou encore de ${}_{13}\text{Al}$ à ${}_{14}\text{Si}$, mais pas de ${}_{13}\text{Al}$ à ${}_{12}\text{Mg}$.

c) On passe plus facilement d'un élément à Z impair au Z pair suivant que l'inverse : il est plus facile de passer de ${}_{19}\text{K}$ à ${}_{20}\text{Ca}$ que de ${}_{20}\text{Ca}$ à ${}_{19}\text{K}$; toutefois ce n'est là qu'une statistique et cette condition est très relative ; on trouve des bactéries qui font ${}_{20}\text{Ca} - {}_1\text{H}$, tandis que d'autres font ${}_{19}\text{K} + {}_1\text{H}$; il y a des ferrobactéries qui font ${}_{25}\text{Mn} + {}_1\text{H}$ et des mangano-bactéries qui font ${}_{26}\text{Fe} - {}_1\text{H}$, selon les conditions, très souvent liées au pH du milieu où elles opèrent (de même en minéralogie).

2) Réactions avec $\pm \text{O}$

Le mouvement du « sous-ensemble » C est rare. Il n'a été observé que dans la réaction ${}_{14}\text{Si} + {}_6\text{C} : = : {}_{20}\text{Ca}$. Certes il a été aussi obtenu ${}_6\text{C} + {}_6\text{C} : = : {}_{12}\text{Mg}$ mais en physique nucléaire classique ; à ce jour je ne connais pas de recherche en « transmutations à faible énergie ». Il y a aussi ${}_6\text{C} + {}_8\text{O} : = : {}_{14}\text{Si}$, mais cette réaction est à classer avec les mouvements du sous-ensemble insécable O (tout comme ${}_7\text{N} + {}_8\text{O} : = : {}_{15}\text{P}$, ou ${}_8\text{O} + {}_8\text{O} : = : {}_{16}\text{S}$ etc).

Cependant, on peut concevoir pour des réactions comme le passage de N_2 à CO un autre processus purement intra-moléculaire : un des atomes de N serait donneur de proton (ou plutôt de deuton) et il resterait C, le receveur en ayant alors 8. On verra plus de détails dans « A la Découverte des transmutations biologiques » ; j'en avais donné aussi dans la première édition de « Preuves » : voici par exemple quelques phrases.

Chaque noyau tourne sur lui-même et la paire de noyaux tourne en outre autour d'un axe vertical situé à peu près au centre de la molécule — plus exactement au centre de gravité de l'ensemble. Mais en outre il y a une vibration, dont on connaît la fréquence — avec deux pics à 8 et à 9,5 μ environ, donc dans l'infra-rouge — qui rapproche et éloigne ces deux noyaux comme s'ils étaient réunis par un ressort oscillant. Par résonance on pourrait arriver à des échanges de protons entre noyaux, un des protons de N_2 passant sur l'autre noyau, qui deviendrait O ; il a fallu fournir de l'énergie extérieure puisque l'équilibre se fait maintenant à une distance un peu plus faible, 1,09 Å au lieu de 1,12 Å.

Pour ceux qui ont approfondi ce problème des vibrations moléculaires, je précise que la radiation se manifeste par une absorption de radiation infra-rouge caractéristique de la molécule. Pour C — O, la vibration de valence est de 1 060 — 1 270 cm^{-1} (nombre d'onde = nombre de longueurs d'ondes comprises dans un centimètre). Pour rendre plus accessible cette notion aux non-spécialistes, et utiliser, comme le commun des mortels, le système métrique, puisque c'est le seul qui soit légal en France, j'ai exprimé les nombres d'ondes en micromètres (millièmes de mm, ou μ) et 9,5 μ correspondent à 1 060 cm^{-1} en nombres

d'ondes tandis que $8 \mu = 1\,250 \text{ cm}^{-1}$, correspondant respectivement à des fréquences de $3,15$ et $3,75 \cdot 10^{13}$. Il y a deux pics de vibration, autour d'une moyenne de $8,75 \mu$ ou $3,42 \cdot 10^{13}$ Hertz ; ce serait une résonance possible avec ces pics qui pourrait provoquer le saut d'un deuton d'un atome à l'autre dans la molécule C — O ?

Les relations avec $\pm \text{O}$ sont plus limitées en nombre, que celles avec $\pm \text{H}^+$. En biologie, dans l'animal, on a plus souvent $^{11}\text{Na} + {}_8\text{O} \rightarrow {}_{19}\text{K}$ que l'inverse. En géologie, selon la nature des roches on a tantôt cette réaction, tantôt son inverse (albitisation). Le passage de Mg à Ca (${}_{12}\text{Mg} + {}_8\text{O}$) est habituel chez l'animal, mais des bactéries font l'inverse (dans le salpêtre brut, dans le sol). Il y a lieu de noter qu'il n'a été constaté, pour le moment, aucune réaction avec $+\text{O}$ donnant un élément de $Z > 20$ (calcium).

Ce serait là un recoupement de plus pour dire qu'au-delà de $Z = 20$, la structure atomique change, y compris dans le noyau : on arrive aux éléments de transition. Au-delà on ne trouve plus d'élément où le nombre de neutrons et de protons est le même (Ca est le dernier, avec 20 protons et 20 neutrons, pour son isotope 40). La structure interne du noyau changerait-elle à partir de Ca ? Aussi bien en biologie qu'en géologie, on constate que les éléments au-delà de $Z = 20$ deviennent rares, ce sont les oligo-éléments. Ces raisons multiples (rareté, ou pas de fil conducteur ?) ont limité mes recherches sur les éléments au-delà du calcium. Je n'ai vu que certains « isolés », et un peu plus le fer qui est le plus abondant des oligo-éléments. On constate l'application des règles ci-dessus : passage de Mn à Fe, et l'inverse, mais pas de Mn à l'élément à Z inférieur (le chrome), ni de Fe à l'impair supérieur (le cobalt). Peut-être aussi faute d'avoir trouvé à ce jour l'agent spécifique ?, mais en tout cas cela s'intègre dans les règles précédemment indiquées. Il n'y a aucun rapport constaté non plus entre Mn ou Fe avec des éléments qui répondraient à ces métaux $+\text{O}$ (au-delà de Mg, il n'apparaît pas de réaction avec $+\text{O}$). Peut-être qu'il faudrait faire intervenir d'autres « sous-ensembles » que O pour comprendre certaines interrelations entre métaux, par exemple Li ? Mais le nombre de recherches est encore trop faible pour en tirer des conclusions affirmatives. Le lien de relation inverse, et réversible, entre Fe et Cu est établi expérimentalement en biologie. En minéralogie aussi : un minerai de cuivre est en général du fer dont chaque grain est entouré de cuivre, pour 1 %, parfois moins (on exploite des mines où le cuivre ne représente pas plus de 0,5 %, et le cuivre est, relativement, une formation de surface). Toutefois, pour le moment, il n'est pas possible de dire si le passage de fer à cuivre se fait par mouvement d'un « bloc » = Li, ou sous l'effet d'un apport de 3 protons, cédés au fer par un groupe méthyle, disponible en bout d'une chaîne enzymatique (les seules expériences en ce sens se placent en biologie, et la formation de minerai semble aussi liée à

des bactéries - v. « Transm. à faible énergie ») il en serait de même pour le passage de $_{50}\text{Sn}$ à $_{53}\text{I}$.

3) Explication

Prenons un exemple pour expliquer comment on pourrait comprendre les limitations dans le passage d'un élément à un autre avec $\pm \text{H}^+$. Figurons l'Aluminium (son noyau) par deux blocs frittés entre eux. Il n'est pas exclu que au moins l'une des énergies de liaison entre ces deux « blocs » soit due à l'attraction exercée sur eux par les deux électrons de la couche K (selon le physicien L. Romani) ; ces électrons tournent très près du noyau, pratiquement entre les deux blocs. Nous figurons le « cœur » du noyau de chacun des composants par un pentagone, représentant 5 protons (donc du Bore). Au-delà de 5 protons (avec chacun un neutron) les nucléons en plus viendront se placer sur une deuxième couche (y compris le neutron supplémentaire de $_{11}\text{B}$). Autrement dit, pour nous en tenir aux protons, avec un proton sur la 2^e couche on en a 6 au total ; c'est le Carbone ; avec 2 sur la deuxième couche, c'est l'Azote, avec 3 c'est l'Oxygène. L'oxygène aurait 2 protons couplés, de spin inverse, sur cette deuxième couche, plus un proton « célibataire ».

Ajoutons un proton au $_{6}\text{C}$, en haut, à droite (fig. 22). Il ne pourra se

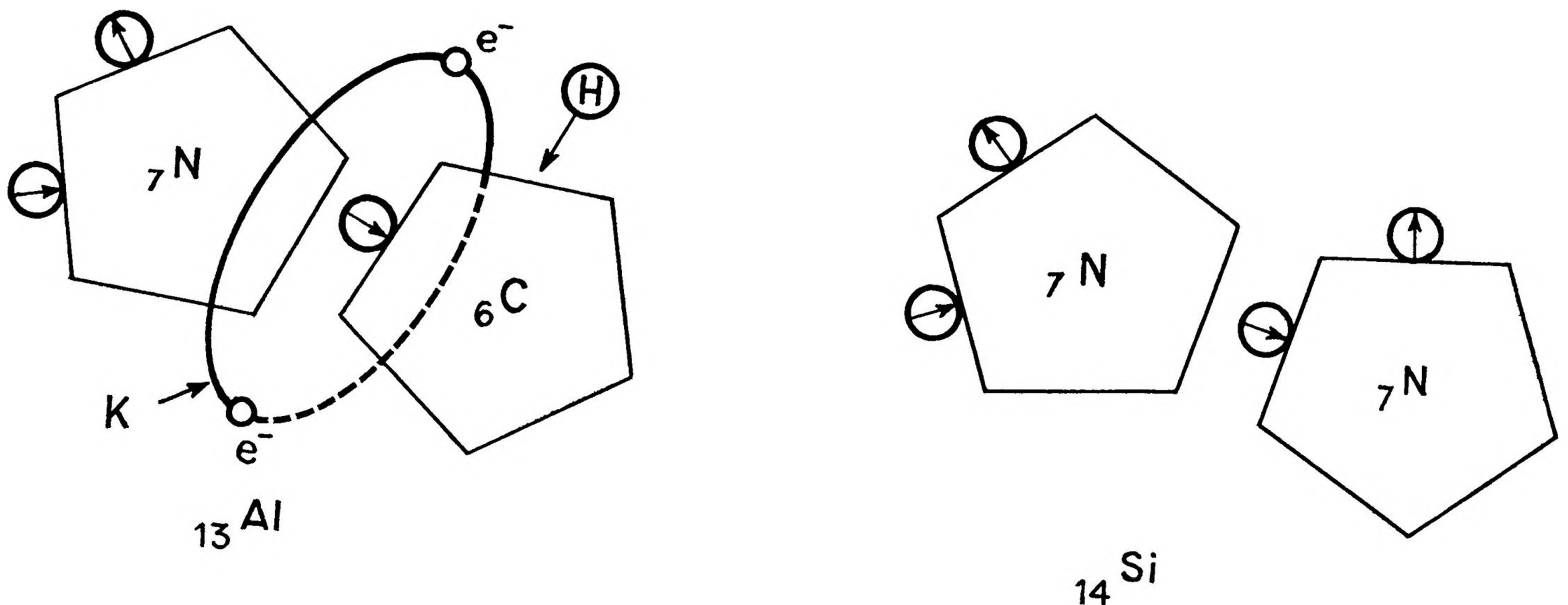


FIG. 22 - Passage de Al à Si.

Le sous-ensemble de droite prend un proton H et de $_{6}\text{C}$ passe à $_{7}\text{N}$.

fixer que si son spin est de sens contraire de celui du spin célibataire déjà en place dans l'édifice, puisque les spins de sens inverse s'attirent ; ils se repoussent s'ils sont parallèles. Il y a aussi passage de $_{13}\text{Al}$ à $_{14}\text{Si}$ (un noyau Al disparaît, pour devenir Si ; autrement dit Al diminue, Si augmente). La réaction inverse exigera plus d'énergie, puisque pour enlever un proton à Si il faut enlever un proton déjà couplé, il faudra vaincre en plus cette énergie de couplage.

Essayons d'ajouter un proton à Si. Ce sera difficile, impossible à faible énergie, tous les protons de Si étant accouplés sur leur couche extérieure. Tous vont donc repousser l'intrus, il n'y a plus de place pour lui. Ce qui expliquerait qu'on n'a jamais constaté, en biologie, ni en géologie, le passage de Si à P ? Il faudrait l'introduire de force, par une violente projection, au moyen d'un accélérateur de particules, et même cela ne semble pas possible avec les moyens actuels dont dispose la science classique ; si l'on réussissait cette opération, il ne faudrait pas longtemps à l'édifice instable ainsi construit de force pour rétablir son équilibre car le ^{29}P ainsi formé n'a qu'une demi-durée de vie de 4,5 secondes (seuls $^{30}\text{Si} + ^1\text{H}$ donnerait ^{31}P , ou $^{29}\text{Si} + ^2\text{H}$, mais il n'y a pas d'expérience en ce sens, à ce jour).

Bien entendu il ne s'agit là que d'explication, d'hypothèse, puisque nous n'avons pas de moyen direct d'investigation à cette échelle. Mais cette concrétisation peut aider à comprendre un mécanisme possible des transmutations selon « l'effet Kervran ». Il ne s'agit que d'une vue un peu globale, que les théoriciens de l'atome pourront peut-être creuser davantage, ou infirmer ? Peut-être verront-ils à approfondir l'explication ci-dessus, en gardant le même exemple, et faisant quelques remarques complémentaires. Par exemple, lorsque l'on a le noyau Si - dans la construction précédente -, les protons de la deuxième couche sont couplés par deux, avec des spins antiparallèles, pour chaque paire et le noyau se trouve dans un état « singulet ». On a passé avec très peu d'énergie de Al à Si parce qu'il y a un « trou », une place libre sur le bloc ${}_6\text{C}$. Mais une fois en place ce proton p est plus difficile à enlever de son « alvéole ». Ce supplément d'énergie pourrait provenir de l'énergie de vibration des deux sous-noyaux et peut-être par un effet de résonance on passe à l'état excité qui a pour effet d'écartier le proton de C, plus libre, parce que seul sur sa couche, tandis que l'ensemble de l'oxygène est plus compact (il correspond au nombre magique 8) et pour que l'un de ses protons monte sur une orbite plus haute, il faudrait une énergie bien plus forte que pour C. Cet état excité semble durer 10^{-8} s. Puis le spin du proton excité s'inverse, ce qui découple ce proton de l'autre : c'est l'état triplet. Cette inversion du spin se ferait en un temps très court, de l'ordre de 10^{-11} à 10^{-12} s, tandis que l'état triplet peut subsister de 4 à 10 secondes. Ces changements semblent se faire sans émission d'énergie, par « conversion », modifiant momentanément l'énergie vibrationnelle entre les deux sous-noyaux (cette vibration est de courte longueur d'onde et n'atteint pas la distance à laquelle la force de Coulomb séparerait les deux sous-noyaux, ce qui limiterait sa longueur d'onde à $1,87 \cdot 10^{-13}$ cm ? Cette énergie vibrationnelle pourrait se perdre par une légère élévation de température, ou encore, plutôt, par un échange, l'énergie du donneur de proton allant à l'atome récepteur ?

Tout cela est bien théorique et n'est donné que comme une suggestion pour montrer une voie aux physiciens-théoriciens. Ils en trouveront probablement d'autres, car il s'agit d'un problème complexe dont tous les aspects n'apparaissent pas encore nettement.

Signalons, pour terminer cette digression théorique, que jamais nous n'avons constaté de transmutation impliquant le départ ou l'arrivée d'un neutron isolé. Probablement parce que tout déplacement de neutron ne se conçoit pas sans radioactivité et il n'y a pas de radioactivité constatée dans ce qu'on a appelé « l'effet Kervran ». Par contre, le mouvement d'un couple « proton-neutron » (deuton, ou hydrogène lourd) reste possible et expliquerait le passage de N^2 à CO, réaction étudiée dans mes autres ouvrages.

Je n'exclus pas cependant la possibilité de trouver un jour - c'est une voie pour les jeunes chercheurs - une espèce de bactéries particulièrement résistante à une intense irradiation radioactive capable de prélever un neutron au sein d'un nuclide (on sait que dans ces bactéries la rapidité de régénération des parties détruites de l'ADN est supérieure à celle de leur destruction). Ce serait alors un moyen de destruction des déchets radioactifs (rappellerais-je que les spores de *Clostridium botulinum* résistent jusqu'à 10^{12} rads ?). Si je ne l'exclus pas c'est qu'un de nos établissements officiels spécialisé m'a invité à aller voir son installation sur le plan semi-industriel pour enrichir le taux $^{239}\text{U}/^{238}\text{U}$, installation faite après un succès confirmé par deux années de recherches en laboratoire. Il ne m'appartient pas de donner des détails, seuls les opérateurs, ou les services officiels qui les coiffent, ayant qualité à cet effet. Ces travaux ont été inspirés par mes publications montrant que des organismes vivants distinguent les isotopes, ne les assimilent pas de la même façon, que le métabolisme n'est pas exclusivement une opération chimique (pommes de terre plus riches en ^{41}K que le K standard, qui comme on le sait est conventionnel : dans le carbonate de calcium des coquillages il y a variation du rapport $^{42}\text{Ca}/^{44}\text{Ca}$, ainsi que de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$; $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ est voisin de 93, contre 89 dans les produits animaux ou végétaux, ce qui permet de distinguer un carbonate d'origine vivante d'un minéral ; l'enrichissement en hydrogène lourd par échange entre H_2 gazeux de NH_3 et une solution de NH_4 ; ce qui permet aussi d'enrichir en $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$; ces différences de comportement physico-chimique sont mises à profit pour la séparation isotopique.

Il s'agit donc d'une jeune science qui s'ouvre et il y a place pour une foule de chercheurs.

4) L'invariance de la matière

C'est là une expression délicate à employer. Elle pose un problème d'épistémologie et il faudrait soit la préciser dans chaque cas, soit l'éviter.

En fait, actuellement, il est impossible de savoir ce qu'elle signifie si elle n'est pas explicitée, d'où cette parenthèse.

Il y a une autre « matière » que celle du « corps simple » d'autrefois, de « l'élément » d'aujourd'hui, de l'atome : il y a les parties de l'atome, son noyau notamment. La « matière » est prise ici dans le sens de « matière pesante ». Dès lors nous pourrions transposer « l'invariance de la matière », vraie en chimie (mais pas toujours vraie en biologie, ni en géologie, ni en physique) au stade de « l'invariance du nombre de nucléons », dire que, même dans une transmutation il y a conservation du nombre de nucléons ? Cela même s'il y a « explosion » ? Il y a des protons ou des neutrons, ou les deux à la fois (groupés en deutons, tritons, hélions) qui peuvent s'en aller, mais ils ne se détruisent pas, ne s'annihilent pas, ne disparaissent pas pour donner de l'énergie. Energie et masse de ces nucléons sont deux notions totalement différentes et trop souvent confondues. Les physiciens qui font état, en l'admettant, de l'invariance de la matière sont en contradiction avec eux-mêmes. Ils admettent la « volatili-

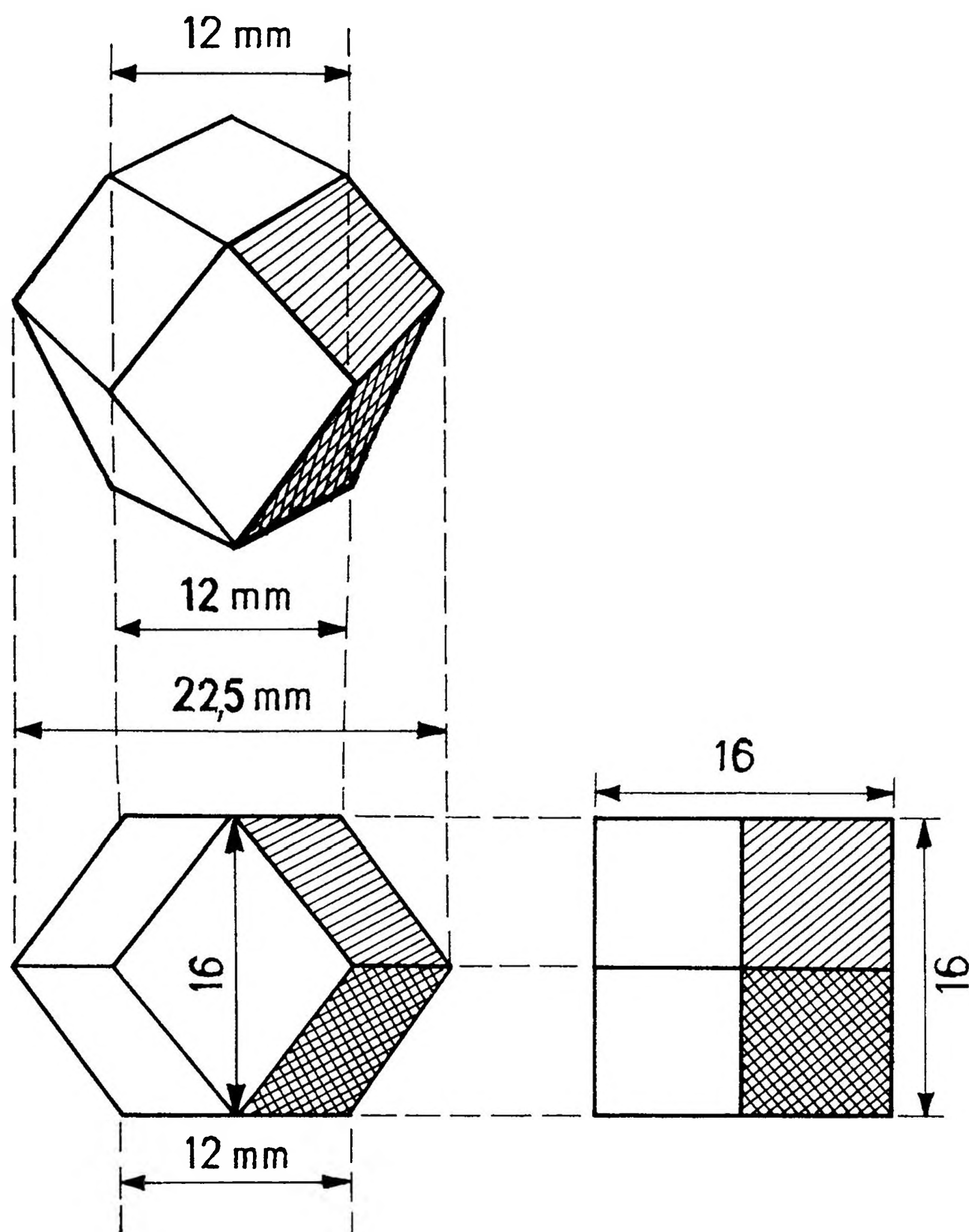


FIG. 23 - Grenat de 13,325 g

En haut : perspective ;
 En bas : vu de face, à gauche ;
 à droite, vu de profil, sommet en avant.

sation », la disparition de la matière qui deviendrait : l'immatérielle énergie.

Cette notion est donc fautive en physique nucléaire : en additionnant deux masses on trouve une autre masse qui n'est pas la somme de deux premières ; il y a « perte de masse », perte de matière pesante et l'invariance de la matière n'existe pas (à l'inverse, lors d'une soustraction il y a

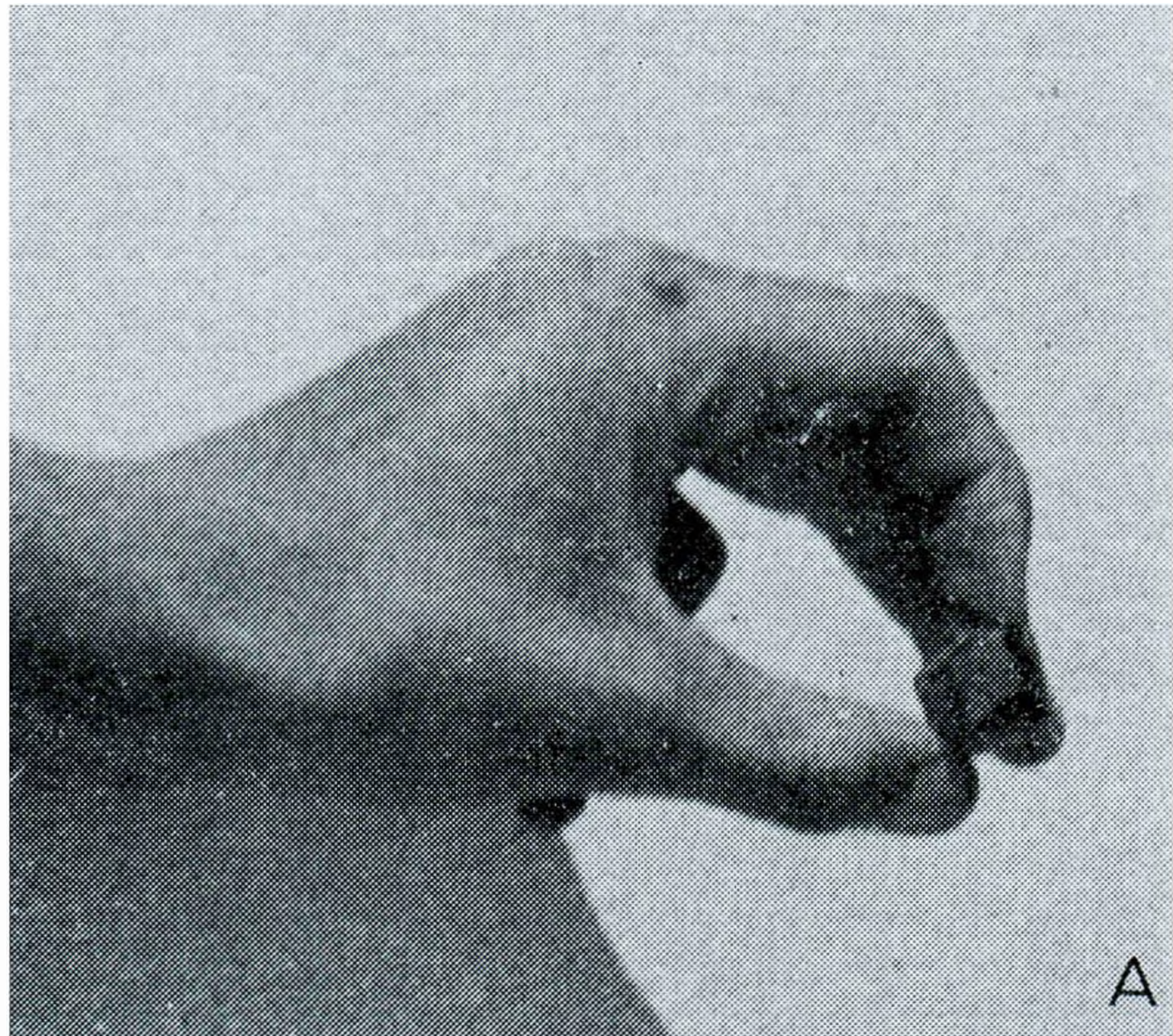
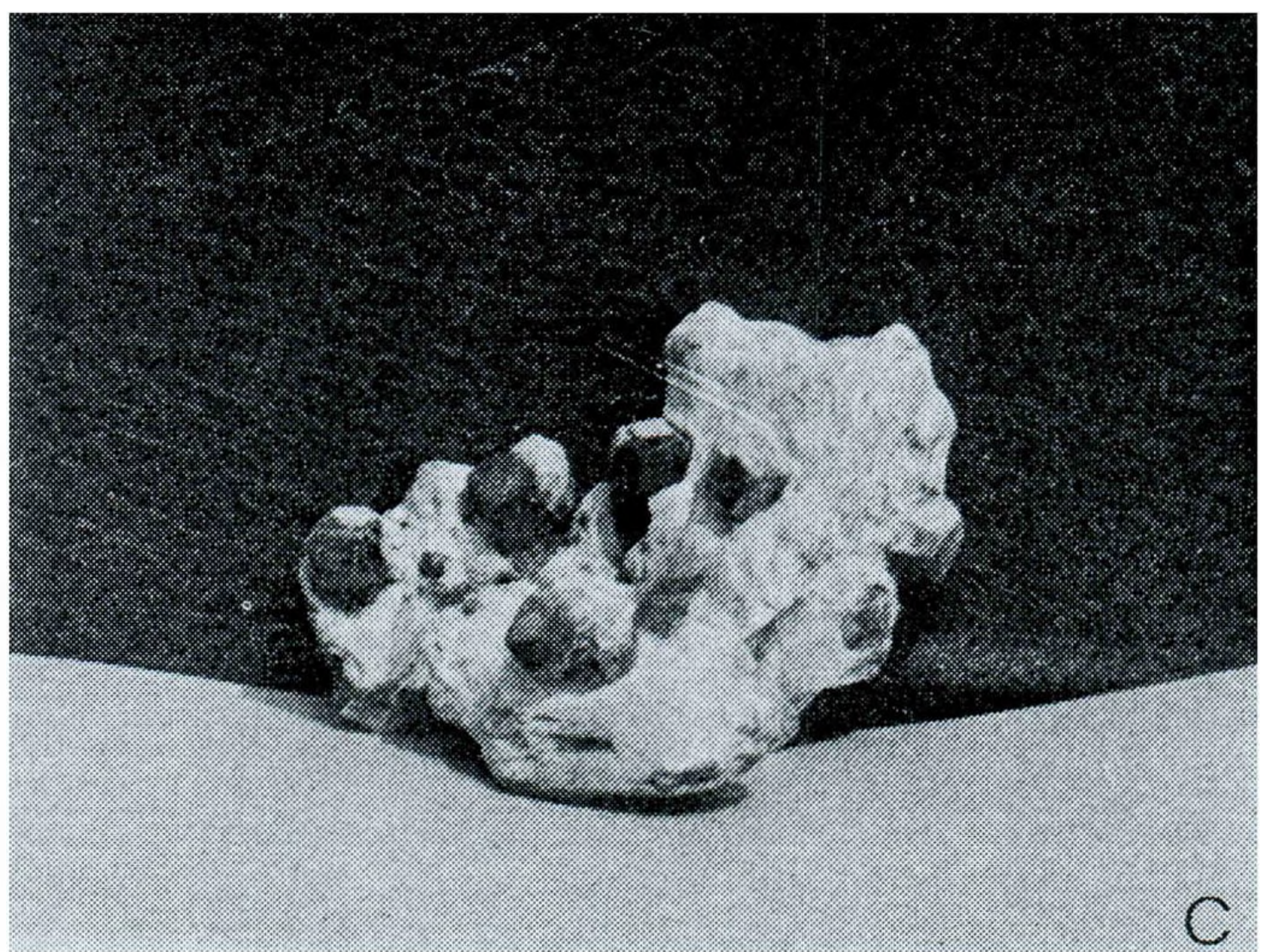
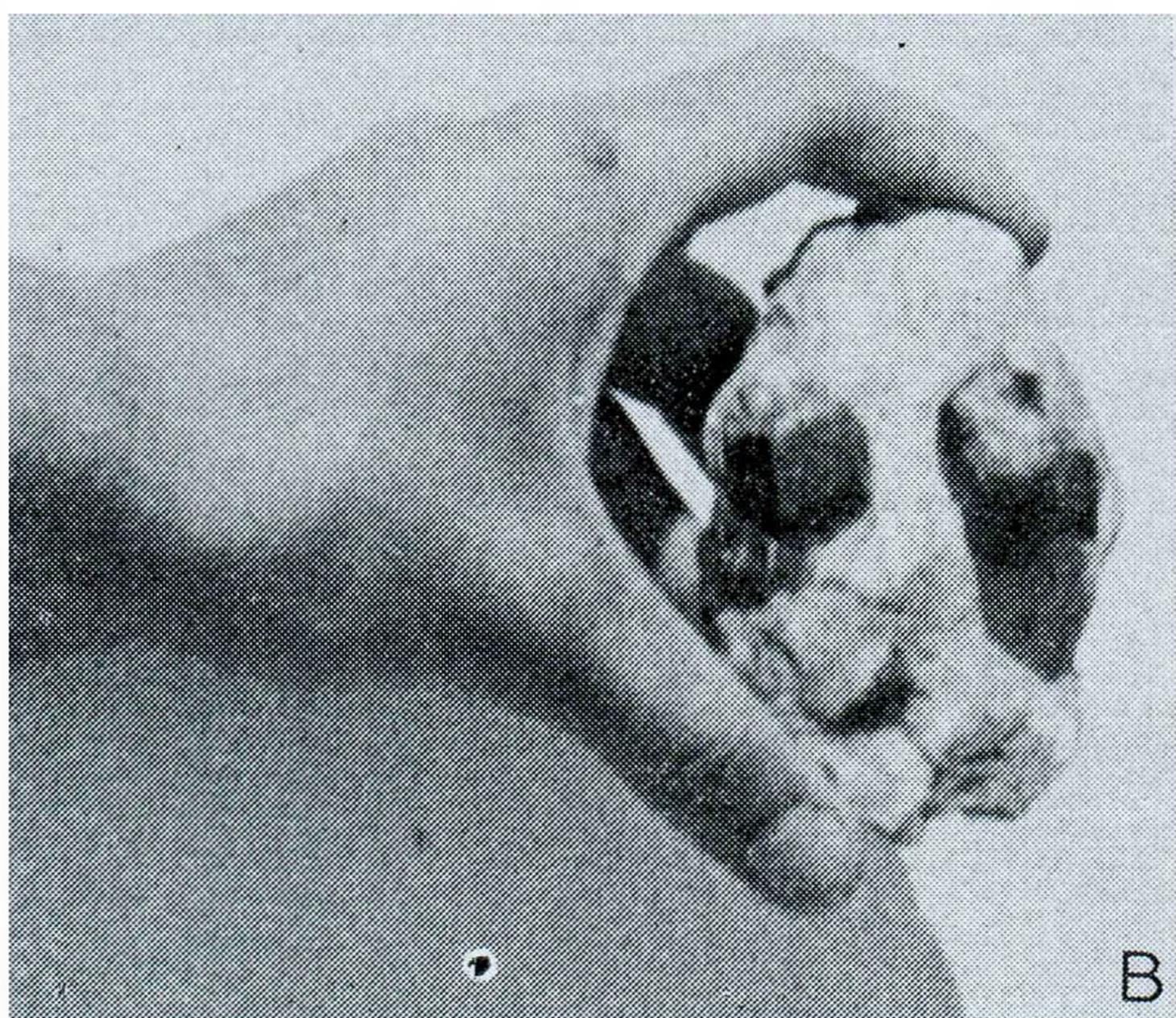


FIG. 24 - Grenats

- A : cristal isolé (douze faces en losange ; grande diagonale = 16 mm ; poids 13,325 g)
- B et C : grenats enchâssés dans leur gangue (au centre deux des grenats ont 20 mm pour la grande diagonale des losanges).



« gain de masse » ; nous l'avons vu pour le chrome, dérivé du fer). C'est pourquoi l'absolu de cette expression la rend inadaptée à toutes les sciences, sauf en chimie, où l'on ne touche pas à la « matière », au noyau, où l'on n'agit que sur les légers électrons (qui eux aussi se déplacent, ne se désintègrent pas). En chimie et, du moins à l'échelle moléculaire, on peut sans inconvénient la considérer comme assez rigoureusement exacte, les variations d'énergie étant « impesables ». Ailleurs évitons-la.

5) Un nouveau type de réaction nucléaire : avec α

J'ai cité de nombreuses expériences montrant que des réactions d'un type non aperçu par la physique nucléaire classique s'expliqueraient soit

par déplacement d'un proton soit encore par celui d'un groupe de nucléons représentant un noyau d'oxygène, le plus souvent ; plus rarement un noyau de carbone, sans que d'autres groupements soient exclus, le lithium par exemple, mais pour celui-ci il n'y avait pas d'expériences systématiques suffisantes pour l'affirmer, seules des observations en biologie ayant été faites auparavant sur ce type de transmutation.

De nombreuses observations et analyses exposées dans les chapitres précédant ont montré que ces réactions étaient les seules aussi à pouvoir expliquer diverses analyses faites sur les minéraux métamorphiques.

Cependant une remarque sur les impactites nous a conduit à poser le principe de l'existence d'un autre sous-groupe, lui aussi à forte cohésion interne, la particule alpha, se comportant comme un sous-ensemble et capable d'entrer dans le cadre établi pour les transmutations qui répondent à ce qu'on a appelé « l'effet Kervran » et que j'ai désignées par « transmutations à faible énergie » pour les distinguer des transmutations de la physique classique.

Or cette possibilité existe bien. Elle a été mise en évidence dans une expérience qui a été décrite longuement montrant que dans un grenat on pouvait, par une action physique, passer du fer au chrome. Nous n'avons jamais rencontré de telles réactions en biologie. Il n'y a pas lieu de s'en montrer surpris : quand on change totalement le mode opératoire on peut se trouver devant de nouveaux phénomènes. Il est antiscientifique de vouloir généraliser, d'extrapoler de façon sommaire, simpliste, comme on le fait trop souvent. Une loi en science n'est valable que dans le cadre qui a servi à l'établir.

Nous avons vu que sous l'effet d'une très haute pression, à température élevée, il se produit - tout au moins c'est la seule explication qui nous soit apparue - dans du grenat un « arrachage » d'une particule α , un dégagement d'hélium (cela postulé, mais non vérifié, pour l'hélium). C'est en tout cas une convergence de plus pour admettre la possibilité d'une structure « granulaire », au moins de certains noyaux qui seraient un assemblage de particules α avec, parfois, en plus des protons et des neutrons séparés, comme je le montrais dans les schémas de mon premier ouvrage en 1962. L'expérience décrite précédemment ne peut, sur le plan des formules, que s'écrire avec un départ d'un α . Peu important les mots, à cette échelle. Certains diront qu'il s'agit d'expulsions de nucléons qui se regroupent à la sortie, les protons et neutrons expulsés constituant alors, et alors seulement un noyau d'hélium, afin d'obéir à un seuil quantique qui règle l'équilibre interne du noyau de départ de cette particule. Il y aurait d'autres seuils quantiques correspondant à un noyau d'oxygène etc. et ce sont ces divers niveaux quantiques qui permettraient à certains noyaux de se cliver, toujours de la même façon, suivant les surfaces de moindre énergie.

Nous avons vu que, sous l'effet d'une excitation entraînant une vibration interne des nucléons du noyau ^{206}Pb , à la résonance ce noyau peut éclater en deux sous-noyaux identiques mais que, rarement, il y a un effet différent : il est expulsé 4 α et il reste du tungstène. Cela pourrait s'expliquer en disant que sur 4 sites du noyau Pb il y a des α plus faiblement liés, probablement deux sur chaque moitié.

D'une façon générale ce type de réaction avec expulsion d'un α n'a été étudié par la physique nucléaire classique que dans la voie mouton-

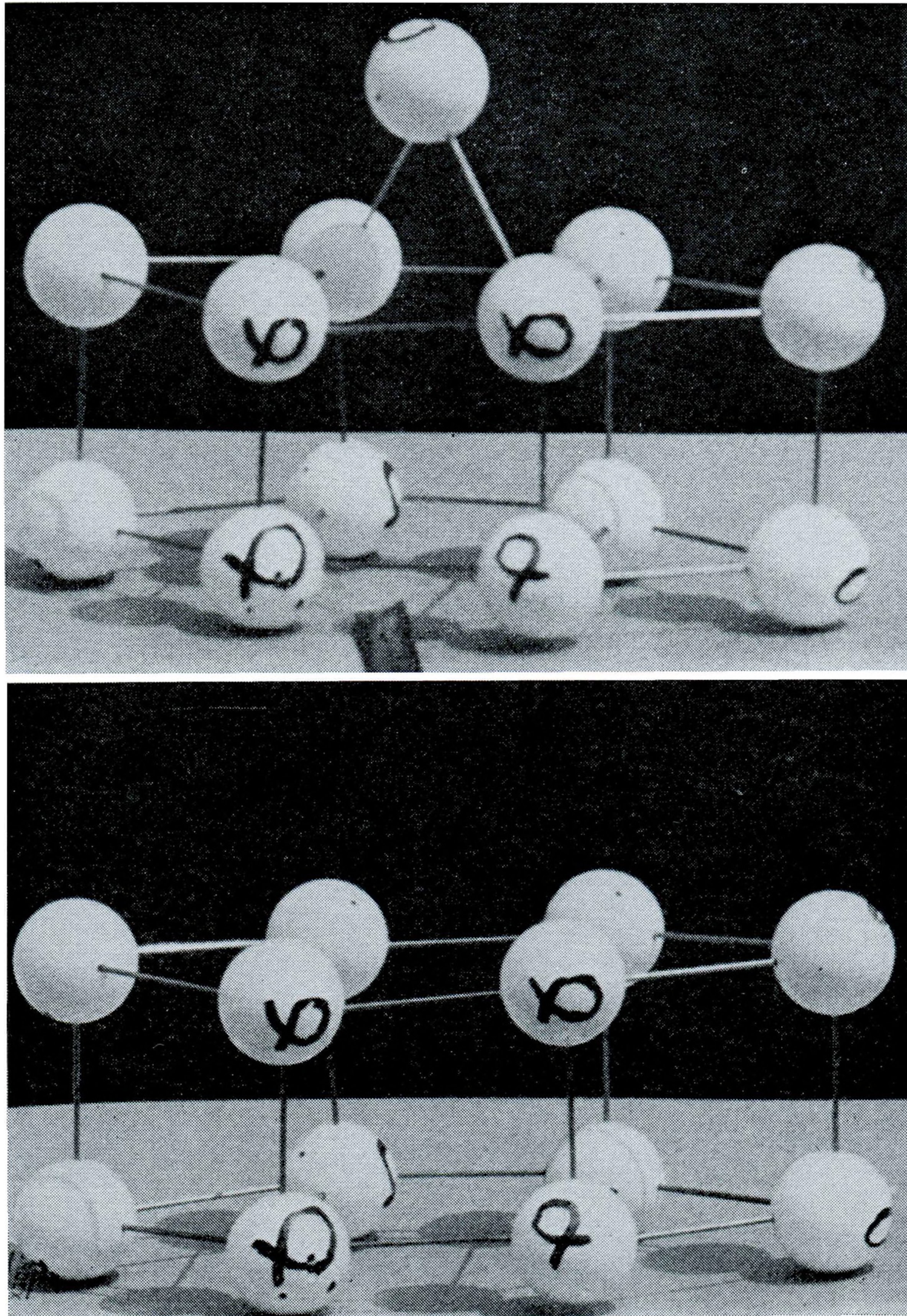
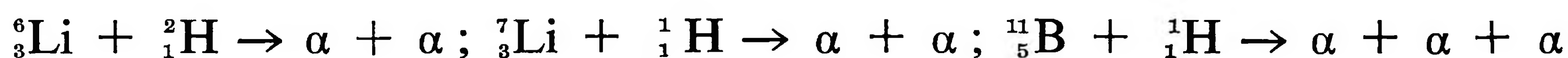


FIG. 25 - Modèles de noyaux d'atomes :

- En haut, le fer, formé de 13 particules α , dont une en saillie.
- En bas, le chrome = le fer qui a perdu son α en saillie.

nière tracée par Rutherford en 1919 : la projection de particules sur une cible peut provoquer des transmutations ou des désintégrations (ces mots sont pris ici avec le sens adopté avant 1939 : la transmutation est la modification d'un noyau d'un élément stable par l'intervention d'un agent extérieur afin de donner un autre élément, stable ou non ; la désintégration est la disparition d'un noyau qui éclate, sous l'effet d'un déséquilibre interne, en particules élémentaires p, n ou α (éventuellement D, T). La transmutation est provoquée, la désintégration est un effet d'un déséquilibre, naturel ou provoqué et ne dépend que de ce déséquilibre, de cause encore inconnue ; lorsque le déséquilibre est provoqué, la désintégration est indépendante de l'agent causal, c'est la radioactivité. Le seul moyen connu de provoquer la radioactivité est d'occlure dans un noyau une particule incidente, par un « bombardement ». Souvent l'équilibre ne se rétablit que par l'expulsion d'une particule α et voyons de plus près ce cas de départ d'une particule α , conséquence du bombardement de noyaux stables et laissant un autre noyau stable après départ de ce « rayon alpha ». Si un α part, c'est qu'il est moins lié à l'ensemble du noyau, tandis que les 4 nucléons du noyau d'hélium sont très énergétiquement liés entre eux. Il y a donc une structure hétérogène, comme nous l'avons indiqué, car sinon les nuclides sortiraient au hasard ; il ne saurait être question d'énergie par nucléon ; c'est là une notion sans valeur.

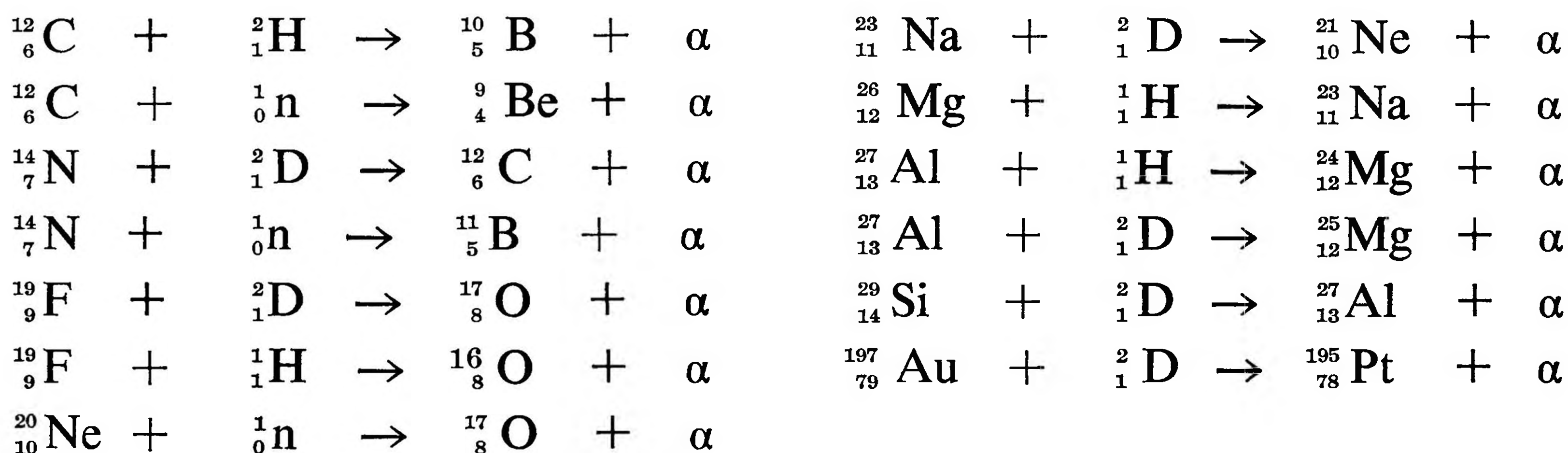
Citons quelques désintégrations classiques :



Cette expulsion d'un α est bien connue de la physique classique. Donnons quelques exemples en ne retenant que ceux qui partent d'un isotope stable pour donner un isotope stable d'un autre élément.

La réaction de désintégration du bore, sus-indiquée, peut ne pas se produire, si l'on se sert comme projectile d'un deuton au lieu d'un proton ; c'est alors ${}^{11}_5\text{B} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^9_4\text{Be} + \alpha$.

Dans des tables classiques (peut-être périmées ?) je relève :



Comme on le voit la moisson est assez élevée et la physique classique a bien mis en évidence de façon irrécusable qu'il peut y avoir, sous l'effet d'un choc et de l'occlusion d'une particule, expulsion d'un α . Quels que soient les artifices de langage il faut donc bien reconnaître que, dans certains noyaux, une particule α peut être chassée, donc qu'elle est moins bien liée et, dans une transmutation, il n'en sort qu'une seule. Cette sortie se fait d'ailleurs avec une énergie très faible et une particule α peut être arrêtée par quelques centimètres d'air ou une feuille de papier.

Mais, toujours, la physique classique a opéré par *addition* d'une particule plus ou moins accélérée. Nous introduisons une technique nouvelle, *soustractive*, et soustractive d'une particule α . Puisqu'une telle particule est moins énergiquement liée, ne peut-on l'arracher par une autre voie que la radioactivité ? Par exemple une forte pression qui la fait « glisser » jusqu'à l'arrachage, ses liens se trouvant distendus par l'élévation de température (vibration interne accélérée, jusqu'à une résonance qui correspondrait à un point d'eutexie ?).

Nous avons vu que nous pouvons concevoir le fer comme constitué par l'assemblage de 13 α (et quelques neutrons supplémentaires). Le 13^e α n'est-il pas en position stérique telle qu'il peut être arraché par la pression ? Ce que nous avons vu succinctement au chapitre sur le passage du fer au chrome. Il est probable qu'une telle opération sur du fer pur serait sans effet, cela pour des raisons multiples. Il serait nécessaire que l'atome de fer soit occlus (ou chélaté ?) dans une structure moléculaire telle que la position de ce 13^e α soit « en pointe » dans la structure stérique de la molécule, du cristal de chromite par exemple. Pour le moment tout cela n'est qu'hypothèses. Il faudrait d'autres expériences sur de nombreux minéraux pour en tirer une règle. Ce passage d'un élément à un autre par soustraction d'un α est-il constaté dans d'autres cas ? Peut-on dans un minerai métamorphique comprenant un silicate de magnésium obtenir une augmentation de Mg au détriment de Si ? C'est probable, comme nous l'avons vu au chapitre sur les impactites. On remarque alors que l'on partirait de ${}_{14}\text{Si} = 7 {}_2\alpha$ (impair) pour aboutir à ${}_{12}\text{Mg} = 6 {}_2\alpha$ (pair, assemblage plus stable) ? Pour Fe on part aussi d'un nombre impair d' α pour aboutir à un nombre pair, puisqu'on n'en retranche qu'un. La correspondance avec $-\alpha$ est peut-être à étendre aux nuclides composés des particules α auxquelles sont liés des protons ou des deutons. Par exemple y a-t-il une relation entre les isotopes stables 10 ou 11 de B et 6 ou 7 de Li ? Ils diffèrent d'un α pour tous leurs isotopes stables.

Mais il faut se garder de généraliser trop vite ; l'expérience sera nécessaire car il est probable qu'il faille d'autres conditions : structure cristalline du même système etc ? On peut trouver des exemples montrant qu'il ne suffit pas de partir d'un nombre impair d'alphas. Soit ${}_{30}\text{Zn}$, avec

15 α ; si l'on pouvait lui arracher un α il resterait Ni. Mais là il y a un « décalage » neutronique qui ne permet pas une correspondance avec plusieurs isotopes, notamment le plus léger et le plus lourd. Les différences entre Zn et Ni sont multiples tandis que, entre Fe et Cr il y a certaines « affinités », si bien que dans un ouvrage du début de ce siècle j'ai trouvé la phrase assez curieuse : « Le chrome a toutes les propriétés du fer, mais il est moins altérable que lui ». Peu après d'ailleurs d'autres ouvrages distinguaient le « groupe du chrome » (Cr, Mo, W, U) tandis que le « groupe du fer » réunissait Mn, Fe, Ni, Co et de nos jours les tables périodiques ont séparé Mn des trois suivants qui restent groupés.

La « réaction soustractive alpha » est totalement nouvelle en physique nucléaire. Elle mérite de retenir l'attention des spécialistes de la physique théorique. Nous avons vu qu'il est possible aussi d'arracher un proton à un nuclide, mais nous n'avons aucune observation permettant de penser que l'on puisse arracher un neutron (ni l'ajouter) dans ce type de réaction : si c'était possible ce serait un moyen de changer d'isotope, voire de stabiliser les déchets radioactifs. Nous n'en sommes pas là, mais il faudrait voir de plus près le comportement de certaines bactéries radio-résistantes.

(On connaît l'extraordinaire résistance de certaines *Pseudomonas*. Mais la bactérie la plus résistante aux rayons γ semble être *Micrococcus radiodurans* : à des débits de dose un peu supérieure à un million de rads, elle peut reproduire la thymine de son ADN plus vite que n'est détruite cette base : l'impact désordonné des photons γ ne frappe pas à jet continu le même point de l'ADN et dans l'intervalle de « deux coups au but » sur la même base du même « barreau de l'échelle » de l'ADN, la réparation de la partie perturbée de la molécule s'est faite. Mais nous ne pouvons développer cette parenthèse de biologie. A noter que, dans ce cas précis - ne généralisons pas - la loi du cumul des doses ne joue pas).

Peut-être faudrait-il aussi songer à la réaction inverse, voir s'il est possible d'effectuer une thermopression en atmosphère d'hélium susceptible de réaliser $Z + \alpha$; par exemple ${}_{26}\text{Fe} + {}_2\alpha \rightarrow {}_{28}\text{Ni}$? Près de 99 % de Ni répondraient à cette formule ; il n'y a que l'isotope stable le plus lourd de Ni, peu abondant, qui aurait alors une autre origine ?

Pour le moment, en tout cas, aucune règle sûre ne saurait être dégagée ; on ne peut avoir que des hypothèses de travail pour passer à de nouvelles recherches.

CONCLUSION

« On se sentira aujourd'hui moins enclin à supposer que les concepts de la physique et même ceux de la physique quantique peuvent s'appliquer sans méfiance à toute la biologie ou à d'autres sciences » - W. Heisenberg (Phys. et Philos., p. 201, A. Michel, édit. Paris, 1961).

Heisenberg a établi le principe d'incertitude, à partir des électrons. Il se garde bien de l'extrapoler aux nucléons : « On ne peut pas actuellement espérer que les concepts et les lois soient aptes à représenter par la suite de leurs applications de nouveaux domaines de l'expérience. Les concepts et les lois de la théorie des quanta ne peuvent pas, eux non plus, être appelés définitifs autrement qu'entre ces limites ».

Un travers de l'esprit humain, dans sa généralité, est de vouloir simplifier puis généraliser. Cela malgré les mises en garde des grands scientifiques qui, eux, ne perdent jamais de vue les limites des lois qu'ils ont établies, à partir de certaines bases. Là où ces bases de départ n'existent pas, il faut bien se garder d'affirmer a priori que les lois dégagées dans d'autres conditions sont valables aussi ; seule l'expérience peut emporter la décision. C'est pourquoi Einstein a mis en garde contre l'application de sa loi de la Relativité Restreinte à la biologie qui opère dans un domaine tout à fait différent des postulats dont il est parti pour formuler sa loi. Louis de Broglie a rappelé que les lois actuelles de la physico-chimie ne permettent pas de comprendre toute la biologie et il a écrit plusieurs ouvrages pour montrer qu'il n'est pas d'accord sur diverses extrapolations de la mécanique ondulatoire, dont il est un des fondateurs. C'est là une position de tous les vrais scientifiques, qu'on retrouve dans tous les pays.

Citerai-je encore quelques lignes d'un texte de grand intérêt publié par V. Ambartsoumian, directeur de l'observatoire de Burakan (U.R.S.S.) : « Il n'en faut pas conclure... que le système des lois de la physique soit complètement délimité et achevé... Ces lois ne donnent qu'un reflet incomplet et approximatif de la réalité objective... Une telle perspective trouve son fondement dans l'analyse du développement contemporain

des sciences de la nature. Elles découvrent une masse grandissante de phénomènes nouveaux qui se distinguent qualitativement de tous ceux auxquels elles avaient affaire auparavant. Plus d'une fois l'homme s'est trouvé devant la nécessité de généraliser les lois et les théories de la physique pour comprendre les données réelles propres à des phénomènes qualitativement différents de ceux qui ont servi à établir les lois de la physique actuelle... La conclusion qui s'imposerait, c'est que des lois de la physique ne peuvent être acceptées sous leur forme actuelle. Non seulement cette éventualité semble très probable, mais encore elle n'a rien d'étonnant car les lois fondamentales de notre physique sont définies par l'étude des propriétés de la matière telles que nous les observons à l'intérieur d'une gamme de conditions physiques qui, pour être étendue, n'en a pas moins ses limites... ».

Cette citation un peu longue est la position que j'ai adoptée : observant des phénomènes en biologie, inexplicables par la physique classique, j'en étais arrivé à conclure que cela résultait du fait que la physique classique avait établi ses lois à partir de faits complètement différents. Il fallait donc penser une autre branche de la physique nucléaire établie à partir de nouvelles expériences. C'est là le cheminement de mon action décrite dans le présent ouvrage.

J'ai rappelé que la physique nucléaire classique est partie surtout de l'expérience réussie en 1919 par Rutherford. Il a montré une voie pour produire une transmutation artificielle, en bombardant une cible au moyen de particules émises par une substance radioactive naturelle. Depuis plus de 50 ans tous les physiciens se sont enfoncés dans cette brèche ouverte sur la structure du noyau des atomes, l'élargissant, apportant de précieux enseignements. Mais ils n'ont pas songé qu'une telle voie a ses limites, que même en allant de plus en plus loin dans cette voie ils ignoreront toujours ce qui ne peut être atteint que par des voies divergentes.

Dans des conférences j'ai fait souvent la comparaison simple suivante : on peut étudier certains aspects physiques de la structure de grains d'ardoise en l'écrasant de plus en plus finement, en accroissant la puissance de l'appareil d'écrasement. Mais par ce moyen on ignorera toujours un aspect important : celui de la structure en feuillet de l'ardoise. Or, à la main, avec un peu d'énergie, avec un canif, je puis mettre en évidence cette structure.

De même la physique nucléaire classique a ignoré certaines structures des noyaux des atomes. Elle ne pouvait pas les voir, à cause du procédé qu'elle a utilisé. Ce n'est pas en bombardant de plus en plus fort qu'on verra toute l'architecture d'un noyau. Ce que la physique classique a établi, prouvé, ne saurait être mis en cause, mais il serait naïf de croire que par une seule voie, qu'on ne quitte pas, on arrive à connaître tous les sites intéressants d'un paysage inconnu.

Je sais hélas que la science actuelle est soumise à des impératifs psychologiques qui n'ont rien à voir avec la science et il est banal d'entendre dire que les scientifiques de valeur moyenne, qui forment la grande masse des chercheurs, comme des enseignants, ont beaucoup à perdre, sur le plan matériel, sur le développement de leur carrière, en prenant le risque d'innover. D'où une généralisation de la tendance au conformisme. Les idées nouvelles, qui ne sont pas conformes aux normes intellectuelles de l'infime minorité qui a su capter les postes de commande de la « Science » sont en général rejetées par les grands prêtres des sectes scientifiques et leurs auteurs doivent lutter pour s'imposer.

Le conformisme intellectuel est presque de rigueur dans les groupes structurés, dans le travail en équipe, où chacun doit se plier aux règles imposées par la majorité. Il ne faut donc attendre des équipes scientifiques que des explorations dans un cadre tracé, des progrès limités à ce cadre, donc des détails. Par leur structure même elles ne peuvent concevoir une idée vraiment neuve, originale, de grande portée. Cela est l'apanage d'un homme seul. Quand un astronaute lunaire, Young écrit en 1972 : « La mission de la science doit être d'assurer une recherche d'avant-garde, au-delà des avant-postes de la frontière de l'homme, la frontière de l'inconnu », il est certain que ce n'est là que l'opinion d'un homme seul, jamais une équipe ne s'y conformera. On ne finirait pas de citer ouvrages et périodiques où sont étalées de telles constatations, souvent désabusées. Il est à souhaiter que de plus en plus d'individualités se dégagent de cette gangue et puissent aller de l'avant : une masse de nos jeunes chercheurs est actuellement entravée. Elle se rend compte que la physique nucléaire classique piétine ; les structures actuelles ne lui permettent pas hélas de s'épanouir. Timidement le C.N.R.S. s'ouvre à cette recherche individuelle ; espérons que nos grands organismes scientifiques déchireront de plus en plus le carcan collectif qui bride les valeurs potentielles qu'il y a chez nos jeunes.

*
**

Le présent ouvrage est en quelque sorte un exemple. J'ai montré qu'il y a, dans des disciplines diverses, des observations variées impossibles à expliquer par les lois classiques de la physique nucléaire. Cela ne veut pas dire que je récuse ces lois, mais je n'ai pas le simplisme de croire qu'elles sont valables nécessairement dans des situations autres que celles qui ont servi à les établir, situations qu'il faut évidemment connaître et ne jamais perdre de vue.

J'ai pu dégager de nouvelles lois, à partir de situations tout à fait différentes, en biologie d'abord, terrain où jamais la physique nucléaire classique n'a expérimenté : ce n'est pas en « décortiquant » des atomes

qu'on se trouve dans le domaine de la vie ; il fallait donc partir d'expériences tout à fait différentes.

Le fait bien établi qu'il y avait des transmutations d'un type tout à fait différent de celui qui avait été observé par Rutherford, j'ai essayé de comprendre comment elles pouvaient s'expliquer. D'où le concept que j'exprimais en 1959 qu'il fallait, tout au moins pour certains éléments, car il ne faut jamais généraliser, concevoir un noyau d'atome pouvant avoir une structure hétérogène, être un ensemble de « sous-ensembles » en quelque sorte. Les sous-ensembles seraient des « entités » de nucléons solidement réunis entre eux, difficiles à disloquer (ou à construire). Mais ces sous-ensembles seraient liés entr'eux par une énergie plus faible. D'où mon étude des « transmutations à faible énergie » qui englobe les « transmutations biologiques ».

Dès le début de mes publications je précisais qu'il s'agissait, dans ces dernières, d'actions enzymatiques complexes qui, par une action très fine, submoléculaire, s'exerçait par des forces physiques combinées, électro-positives et électro-négatives, pour pénétrer jusqu'au cœur de l'atome, écarter les électrons périphériques et intervenir jusque sur les protons du noyau. A aucun moment je n'évoquais une quelconque métaphysique. Bien entendu cette explication par des attractions et des répulsions électrostatiques n'est qu'une vue grossière d'un phénomène plus complexe et nous avons tenté de montrer qu'il fallait affiner l'étude, qu'il y avait d'autres vues que celles de la loi macroscopique de Coulomb. Mais au fond tout cela reste de l'épistémologie, car en 1973 nous ne sommes pas sûrs du tout de la nature des énergies mises en œuvre à l'échelle subatomique, au niveau des nucléons ; tout reste théories, opposées parfois.

Je concevais donc, dès le départ, que de telles transmutations pouvaient se faire sous l'action de forces physiques qui pouvaient être abiotiques. Et elles n'étaient pas nécessairement et exclusivement électriques ; d'ailleurs la physique classique utilisait aussi pour ses transmutations la force vive d'un projectile. Si l'action finale se fait sentir sur des protons, ce peut donc être aussi une force mécanique, une pression par exemple. Je le disais en 1959 pour expliquer certaines modifications constatées dans la transformation de la croûte terrestre, inexplicables par la physique classique. De l'avoir exprimé m'a valu l'appui de nombreux géologues dont Jean Lombard qui fit accepter par une revue scientifique mon premier article, en 1959 (du fait des délais de publication, il ne sortit qu'en 1960). Les professeurs de géologie Furon, Bellair, Cailleux etc m'appuyèrent aussi. Puis les géologues professionnels dont le seul métier est la géologie (tandis que le métier des enseignants est d'enseigner) apportèrent leur contribution car la géologie telle qu'elle était enseignée était en opposition avec leurs observations sur le terrain, dans plusieurs domaines et ils voyaient dans mes travaux l'explication qui leur manquait, que ne

pouvaient apporter les enseignants ; plusieurs de ceux-ci le comprirent, révisèrent leurs théories pour tenir compte des faits constatés par les professionnels. J'ai longuement cité par exemple les études de Georges Choubert, acceptées aussi par des professeurs de facultés ou d'écoles supérieures de formation d'ingénieurs ayant à s'occuper du sol à un titre quelconque : des cours de ces professeurs, imprimés par les plus grands éditeurs scientifiques, consacrent un chapitre à mes travaux, indispensables à connaître de tous ceux qui ont à s'occuper du sol.

C'est grâce d'ailleurs à cet appui maintenant généralisé de la Géologie que j'ai pu finalement arriver à faire procéder, par des organismes officiels, à une expérience sur un minéral, ne mettant en œuvre que des paramètres simples de physique, et deux paramètres seulement. Tandis qu'en biologie les facteurs sont si nombreux qu'une expérience est toujours délicate à interpréter, et les sceptiques, qui veulent du simple, sont toujours réticents devant une « démonstration biologique », science trop compliquée pour des esprits géométriques et il leur faut une « science exacte », c'est-à-dire « limitée ».

J'ai voulu surtout exposer des faits. Il m'a semblé vain de m'attarder sur des théories, des alignements de formules mathématiques qui ne serviraient à rien. Il s'agit d'un phénomène nouveau qui ne peut pas se placer dans le cadre de lois établies à partir de faits différents, et reprendre les formules déduites de ces faits est un vain exercice. Des faits nouveaux ne peuvent conduire qu'à des lois nouvelles. Ces lois nouvelles n'ont nullement la prétention de rendre caduques les lois antérieures ; elles viennent se placer à côté des autres, montrer un champ d'action différent, montrer de façon plus évidente les limites des anciennes lois.

Il conviendra de garder toujours présent à l'esprit que le fait de dégager une loi ne doit pas conduire à la généraliser. Nous avons vu, en biologie, que le corps humain peut sécréter beaucoup de potassium lors d'un travail dans une atmosphère sèche à une température supérieure à celle du corps humain. Nous avons vu qu'une plante calcifuge peut faire son calcium, pas une plante calcicole. En minéralogie il en est de même et souvent une réaction ne sera observée que pour tel minéral, pas pour un autre de composition cependant voisine, que son métamorphisme ne se produira que dans des conditions étroites de température et de pression. C'est donc toujours l'expérience qui décide et dans la nouvelle direction que je viens d'indiquer par le présent ouvrage, presque tout est encore à défricher : c'est un vaste champ d'activités ouvert à nos jeunes chercheurs ; à eux bon courage et bonne chance.

BIBLIOGRAPHIE

Une bibliographie plus détaillée est donnée à la fin du premier tome. Il ne sera rappelé que quelques-uns des principaux titres évoqués dans le présent tome.

Références classées en fonction des chapitres.

- *Altération des roches par des micro-organismes*

BERTHELIN J. — Altération microb. d'une arène granit., C.N.R.S., Pédol. Nancy, 1971.

CAMBEFORT H. — Introd. à la Géotechn. (v. pp. 107-110) Eyrolles, Paris, 1971.

FUSEY P. et HYVERT G. — C.R. Acad. Sc. Paris, 29 juin 1964.

KERVAN L. — Comm. 1^{er} Congr. Intern. sur la détérior. des pierres en œuvre, La Rochelle, 1972.

KERVAN L. — Comm. au 3^e Congr. Inter. Interpetrol, Rome, 1973.

MONNET B. et MILLOT G. — La Malad. des grès de la cathéd. de Strasbourg, Bull. Serv. Carte Géol. Als., Lor., pp. 131-157, 1967.

PALENI A. — Textes du 3^e Congr. Inter. Interpetrol, 1973, Roma (édit. Poligrafico Artioli - Modena).

PENNER et Coll. — Investig. of heave in Billings shale, Canad. Geotechn. Journ. Vol. VII, n^o 3, p. 333, Aug. 1970, Ottawa.

ROMANOVSKY V. — C.R. 1^{er} Coll. Intern. sur la détér. des pierres en œuvre, Centre de Rech. et d'Etudes Océan., Paris, 1973.

- *Métamorphismes de minéraux*

BOURGEOIS L. — Reprod. par voie ignée d'un certain nomb. d'esp. minér. appart. aux familles des silicates, des titanates et des carbonates, Thèse, Gauthier-Villars, Paris, 1883.

DUPARC L. — Sur la transf. du pyroxène en amphibole, Bull. Soc. Franç. de Minér. Paris, 1908.

DUPARC L. — Titres et public. scient., Genève, 1924.

POMEROL Ch. et FOUET R. — Les roches métamorph., P.U.F., Paris, 4^e édit. 1969.

RENARD L. — Les roches grenatif. et amphibol. de la région de Bastogne, Bull. du Musée Royal d'Hist. Nat. de Belg., Bruxelles, 1882.

- *Granitogenèse*

CHOUBERT G. — L'origine du granite et la phys. nucl., Notes et Mém. du Serv. Géol du Maroc, n° 95, vol VI, pp. 167-214, Rabat, 1952.

CHOUBERT G. — Les granites de l'Ouest Africain, UNESCO, Ress. Natur, t. VIII, pp. 53-93, Paris, 1968.

CHOUBERT G. — Les gran. du N.E. du Brésil, La Chron. des Mines et de la Rech. Min., nov. et déc. 1970, Paris (B.R.G.M.).

CHOUBERT G. — Comm. au 1^{er} Cong. Intern. de Géochimie, Moscou, 1971.

LOMBARD J. — Gran. et traces d'étain dans le N. Cameroun, Bull. Soc. Géol. de France, 1954 (et dans UNESCO, Ress. Natur., 1968, t. VIII).

MICHEL-LEVY A. et WYART J. — Reprod. artif. de minér. silicatés, Mém. Soc. Géol. de Fr., Paris, 1947.

WINKLER — La genèse des granites, C.R. Acad. des Sc. Paris, 1960.

WINKLER — La genèse des roches métamorph., Orphys, Gap, 1966.

WYART et SABATIER — Transf. des sédim. argil. Applic. à la granit., C.R. Ac. Sc. Paris, 1959 et diverses publ. de Wyart.

- *Explosion atomique souterraine*

CHOUBERT G. — 1^{er} Congr. Intern. de Géochim. de Moscou, 1971.

FAURÉ — Anal, chim. des granites d'In Ekker lors d'une expl. atom. souterr., Thèse, 1970.

- *Tectites et impactites*

CHOUBERT G. — 1^{er} Congr. de géoch., Moscou, 1971.

CHOUBERT G. — Bull. du Serv. Géol. du Maroc, Rabat, 1973 (à l'impression).

CUNIE, ROUDOT etc. — Analyses dans des cratères météoritiques au Canada 1971-1972 (non publiées).

- *Recherches en Russie*

KOROLKOV P.A. — Chap. dans livre de Neiman, 1971 et communic. diverses par lettres, en 1972-1973.

NEIMAN V.B. — Probl. de Transmut. dans la Nat., Concentr. et dispers. (ouvrage collectif, en russe) Aiastan-Erevan, 1971.

- *Recherches aux U.S.A.* - voir dans le chapitre

- *Métallogenèse* - v. rôle du Cuivre en biolog.

MASOERO P. — Notiz. ed Osservaz. sul. Biochim. et sul. Impiezo del Rame, Sc. e. Pratic. Zootec., 1969 XLII, 1970 XLIII, Torino.

KERVAN L. — Le probl. des Carences, La Vie Claire, Paris, sept. et oct. 1972.

KERVAN L. — dans Transm. à faible énerg., Maloine Paris, 1972.

- *Divers et ouvrages généraux*

— Remarques pertinentes sur des anomalies de la géologie classique :

BELLAIR P. et POMEROL Ch. — Elém. de Géolog., Armand Colin, Paris, 1971.

CAILLEUX A. (de Cayeux) — Trente millions de siècles de vie, A. Bonne, 1959, ou Trois milliards d'années de vie, Planète, Denoel, Paris, 1964, et nombreux ouvrages sur la géol. aux P.U.F., etc.

DERREY F. — La terre, cette inconnue, Préf. de J. Lombard, Planète, Denoel, Paris, 1964.

FISCHHOFF — Bull. du Cercle de Phys. A. Dufour, Paris, 1963.

— Voir aussi les arguments de « contestataires » de certaines lois de la physique classique :

SIVADJIAN — v. nombreuses référ. p. 223 de Transmut. à faible énerg. 1972.

NAHON Ch. — Gravitation, n° 8, Marseille, 1970 et Tempo Nuovo, janv. 1973, Naples.

de PUYMORIN R. — Les actions à distance, Les forc. électr. stat. et la grav. Gauthier Villars, 1948, Paris.

de PUYMORIN R. — L'altéra. de la force coulomb. par le mouvem., I.E.A., n° 2, X^e année, Cordoba.

TABLE DES MATIÈRES

I - Introduction

PREMIÈRE PARTIE

Recherches & Analyses d'origines diverses prouvant des transmutations en géologie

II - Altération bio-métamorphique des pierres des monuments

1 - Altération des grès des monuments kmers	11
2 - La maladie des grès de la cathédrale de Strasbourg ..	15
Commentaire	19
3 - Géotechnique - Géologie du Génie civil et des grandes infrastructures	21
4 - Des points d'interrogation en géologie	23
Houille	24
Passage de la dolomie au calcaire (et l'inverse)	24

III - Granitisation (granitogenèse)	27
--	----

IV - Métamorphisme de certains minéraux	35
--	----

1 - Bref historique	35
2 - Pyroxènes et amphiboles	38

V - Expériences sur des effets des températures et des pressions élevées	47
---	----

Une conférence au congrès de géologie de Moscou en 1971	47
Introduction	47
1 - Essence de la granitisation	48
Hypothèses existantes	48
Nouvelle hypothèse	48

2 - Réaction nucléaire : transmutation-type	49
Réactions nucléaires en biologie	49
Explosion atomique souterraine	50
Conclusion	57
Variations autres que Al et Si	57
VI - Tectites & Impactites	59
1 - Au congrès de Moscou 1971	59
2 - Cratères météoritiques du Canada	61
Variation de Si → Al	62
Variation de Ca → Mg	63
Variation de Na → K	63
Etude de G. Choubert	64
Commentaires complémentaires	65
VII - Recherches en Russie	69
VIII - Recherches aux U.S.A.	73
1 - Généralités sur des synthèses de roches silicatées	73
2 - Augmentation du rapport Ca/Mg dans la synthèse de quelques roches métamorphiques	75
Les recherches de J. Akella	76

DEUXIÈME PARTIE

Nos recherches par voie physique

IX - Une réaction nouvelle pour la physique nucléaire	83
A - Recherche de base	83
1 - Un peu de chronologie	83
2 - Préliminaires et points d'interrogation	87
3 - Protocole	90
4 - Analyses	92

5 - Constatations générales	92
6 - Interprétation :	93
a) Variation du manganèse	93
b) Variations conjointes du fer et du chrome ..	93
B - <i>Une expérience capitale pour la physique nucléaire et pour la minéralogie</i>	95
1 - Variation du fer	95
2 - Variation du chrome	97
3 - Rapprochements et convergences	98
4 - Isotopes	100
5 - Cristallographie	101
6 - Précisions sur les analyses	102
7 - Anticipation sur des critiques imaginées	103
8 - Extension des recherches	104
C - <i>Considérations théoriques</i>	105
1 - Gain de masse dans la réaction $\text{Fe} - \alpha \rightarrow \text{Cr}$	105
2 - Essai sur une structure possible des noyaux du fer et du chrome	108
3 - En conclusion sur cette expérience	112
D - <i>Ouvertures sur la métallogenèse</i>	115
E - <i>Nécessité de repenser le métamorphisme</i>	119
F - <i>Répétition des analyses</i>	127

TROISIÈME PARTIE

Nouvelles perspectives pour la physique nucléaire

X - Repenser la physique nucléaire	137
XI - Quelques points d'interrogation en physique nucléaire ..	143
1 - Difficultés d'une explication « concrète »	143
2 - L'uranium 235	152
3 - Le plomb stable n'est pas stable	154

4 - Convergences avec notre concept du noyau	156
5 - Une remarque sur l'oxygène	158
XII - Aperçu sur les règles des transmutations à faible énergie ..	159
1 - Les limites des réactions avec $\pm H^+$ (un proton)	160
2 - Réactions avec $\pm O$	161
3 - Explication	163
4 - L'invariance de la matière	165
5 - Un nouveau type de réaction nucléaire, avec $- \alpha$	167
Conclusion	173
Bibliographie	179