

PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

**CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE GÉOCHIMIQUE
DES FAMILLES DE L'URANIUM-RADIUM ET DU THORIUM
DANS LES VOSGES MÉRIDIONALES
APPLICATION DE CERTAINS RÉSULTATS EN PROSPECTION
DES GISEMENTS D'URANIUM**

par

Georges JURAIN

Rapport C.E.A. n° 2154

CENTRE D'ÉTUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY

CEA 2154 — JURAIN G.

CONTRIBUTION À LA CONNAISSANCE GEOCHIMIQUE DES FAMILLES URANIUM-RADIUM ET DU THORIUM DANS LES VOSGES MERIDIONALES.

APPLICATION DE CERTAINS RESULTATS EN PROSPECTION DES GISEMENTS D'URANIUM.

Sommaire :

L'étude présentée ici a pour but de conduire à une connaissance plus précise de la géochimie des familles Uranium-Radium et Thorium dans les Vosges méridionales et d'appliquer certains résultats à la prospection des gîtes uranifères.

Il a été mis en évidence :

— une liaison Calcium-Magnésium et Uranium-Thorium dans des granites calco-alcalins. Les minéraux hôtes de l'Uranium et du Thorium sont : la hornblende, la biotite, le sphène, l'épidote.

— une concentration actuelle de l'Uranium en déséquilibre séculaire dans une zone thermique où les minéralisations satellites constituent une paragenèse épithermale.

— un déséquilibre de la famille Uranium-Radium dans des minéraux supergènes du plomb (phosphates et vanadates) prouvant les circulations actuelles de l'Uranium.

— une liaison entre la teneur en Radon des eaux de sources et celle en Uranium-Radium des roches. Une telle liaison permet de réaliser une méthode de prospection fondée sur le dosage du gaz radioactif des eaux de sources froides d'une région quelconque.

352 pages

1962

CEA 2154 — JURAIN G.

CONTRIBUTION TO THE GEOCHEMICAL KNOWLEDGE OF THE URANIUM-RADIUM AND THORIUM FAMILIES IN THE SOUTHERN VOSGES.

APPLICATIONS OF SOME RESULTS IN THE PROSPECTING OF URANIUM DEPOSITS.

Summary :

This work's aim is to lead to a more accurate knowledge of the geochemistry of the Uranium-Radium and Thorium families in the Southern Vosges and to apply some of the results to the prospecting of uraniferous deposits.

It has been showed :

— a bond between Calcium-Magnesium and Uranium-Thorium in the calco-alcalines granites. The host minerals of Uranium and Thorium are hornblende, biotite, titanite and epidote.

— a concentration of Uranium, at present time with secular disequilibrium in a thermal zone where the satellite mineralizations form an epithermal paragenesis.

— a disequilibrium of the Uranium-Radium family in the supergene minerals of the lead (phosphate and vanadate) showing the present circulations of Uranium.

— a bond between the radon grade of the spring waters and Uranium-Radium of the rocks. Such a relation allow to realize a prospecting method based on the determination of radioactive gas from the cold spring-waters of a common country.

352 pages

1962

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
de l'Université de NANCY

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

PAR

Georges JURAIN

Maître-Assistant à la Faculté des Sciences

PREMIÈRE THÈSE

Contribution à la connaissance géochimique des familles
de l'Uranium-Radium et du Thorium dans les Vosges Méridionales
Application de certains résultats en prospection des gisements d'Uranium

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Soutenues publiquement le

1962 devant la Commission d'Examen

MM. M. ROUBAULT

Président

R. COPPENS

A. BERNARD

}

Examineurs

F. PERRIN

Invité

A mes Maîtres :

M. le Professeur Marcel Roubault,
M. le Professeur Jacques Avias,
M. le Professeur Georges Millot,
M. le Professeur René Coppens.

Hommage de ma respectueuse reconnaissance.

A mes Parents,
A ma Femme

Témoignage d'une profonde affection.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
AVANT PROPOS	9
INTRODUCTION	11
CHAPITRE I - LE SECTEUR ETUDIE	13
I - SITUATION GEOGRAPHIQUE	13
II - CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES	13
III - SITUATION GEOLOGIQUE DANS LE MASSIF VOSGIEN	13
IV - LES GRANDS TRAITs TECTONIQUES - CONSTITUTION LITHOLOGIQUE	14
A - LA TECTONIQUE. LES DIRECTIONS FONDAMENTALES. CONSEQUENCE..	14
B - LES FORMATIONS SEDIMENTAIRES	23
1) Formations sédimentaires antépermiennees	23
2) Permien	24
3) Trias inférieur	24
Grès vosgien	24
Grès bigarré	24
4) Trias moyen	25
Grès de Ruaux	25
Muschelkalk	25
Marnes irisées (Keuper)	26
5) Formations quaternaires	26
C - LES ROCHES ERUPTIVES	26
1) Roches plutoniques et leur cortège filonien	26
2) Roches volcaniques	40
D - FILONS METALLIFERES ET EAUX THERMALES	42
V - CONNAISSANCES ANTERIEURES SUR LA RADIOACTIVITE DES ROCHES ET DES EAUX DU SECTEUR	77
1) Roches	77
a) Recherches anciennes (antérieur à 1950)	77
b) Recherches du C.E.A.	77
1) Contrôle de la minéralisation en autunite du Val d'Ajol	79
2) Reconnaissance légère activité de la Mine d'Hérival	79
3) Découverte d'Uraninite et de brannérite à Château-Lambert	80
2) Eaux	80
a) Thermales - antérieur à 1950	
- postérieur à 1950	80
b) Froides - antérieur à 1950	
- postérieur à 1950	81

CHAPITRE II - RAPPEL DES PRINCIPALES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES
ELEMENTS DES FAMILLES URANIUM-RADIUM ET THORIUM.
RECHERCHES SUR LA RADIOACTIVITE DES ROCHES DU SECTEUR ..

I - FAMILLE DE L'URANIUM	85
II - FAMILLE DU THORIUM	89
III - FAMILLE DU POTASSIUM	91
IV - VALIDITE DES MESURES DES RAYONNEMENTS RADIOACTIFS	92
V - LA RADIOACTIVITE γ SUR LE TERRAIN	95
1) But Poursuivi	95
2) Exécution des mesures	96
3) Résultats	
a) Activité γ des formations permotriasiques	96
b) Activité γ des roches métamorphiques	99
c) Activité γ des roches granitoïdes	99
d) Activité γ des roches extrusives	101
4) Comparaison de ces résultats avec des résultats obtenus au cours de travaux similaires	101
5) Conclusion	102
VI - LA RADIOACTIVITE γ AU LABORATOIRE	103
1) Principe	103
2) Réalisation	105
3) Résultats	106
4) Conclusion	107
VII - MESURE DE LA RADIOACTIVITE β DES ROCHES AU LABORATOIRE	108
VIII - ETUDE DE LA RADIOACTIVITE α AU LABORATOIRE	108
1) Considérations générales	108
2) Calcul du coefficient d'absorption	110
3) Plaques photographiques pour usage nucléaire	110
4) Comptage par scintillation α	113
IX - METHODE CHIMIQUE	117
1) Mise en solution	117
2) Extraction	119
3) Dosage	122
X - COMPARAISON DE LA METHODE FLUORIMETRIQUE ET DU DOSAGE α DANS LE CAS DE PRODUITS EN EQUILIBRE	124
CONCLUSION	126
CHAPITRE III - LA TENEUR EN URANIUM ET EN THORIUM DES ROCHES DU SECTEUR	
I - DISTRIBUTION DE U ET Th DANS LES FORMATIONS D'AGE SECONDAIRE ...	127
A - CONGLOMERAT DU SOMMET DU GRES VOSGIEN	127
B - COUCHES INTERMEDIAIRES INFERIEURES	127
C - COUCHES INTERMEDIAIRES SUPERIEURES	127
D - GRES A VOLTZIA	128
E - GRES DE RUAUX	130
F - CONCLUSION	130
II - L'URANIUM ET LE THORIUM DANS LES ROCHES GRANITOÏDES.	
A - DISTRIBUTION DE L'URANIUM EN TANT QU'ELEMENT CHIMIQUE	130
1) Granulite	130
2) Granite gris porphyroïde	130
3) Granite porphyroïde à amphibole	133
B - LA RADIOACTIVITE α DU GRANITE GRIS PORPHYROÏDE	134

	Pages
C - LA RADIOACTIVITE α DU GRANITE A AMPHIBOLE	135
D - RELATION ENTRE LES TENEURS U-Th ET CERTAINS ELEMENTS MA- JEURS DES ROCHES	138
E - LES MINERAUX HOTES DE L'URANIUM	145
a) Granite gris porphyroïde	149
b) Granite à amphibole	153
F - COMPARAISON AVEC D'AUTRES FAITS CONNUS	173
G - ESSAI DE SYNTHESE	178
CONCLUSION	180
III - LES CONCENTRATIONS D'URANIUM	
1) Dans les minéralisations manganésifères	180
2) Dans les autres types de minéralisations	183
3) Conclusions	183
IV - LES CAS DE DESEQUILIBRE DANS LA FAMILLE URANIUM	
1) Région de Bains-les-Bains	184
2) Région du Val d'Ajol	203
3) Région du Ballon de Servance	208
V - CONCLUSION	209
CHAPITRE IV - RECHERCHES SUR LA TENEUR EN URANIUM DES EAUX ET DE LA RADIOACTIVITE DUE AU RADON ET AU RADIUM DANS LE SEC- TEUR ETUDIE.	
I - TENEUR EN URANIUM.	
But poursuivi	211
Technique d'analyse	211
a) Mode opératoire	211
b) Résultats	214
II - TENEURS EN RADON ET EN RADIUM	
But poursuivi	221
Considérations générales	221
Recherches préliminaires	221
Comptage par scintillation α	224
Organisation générale des mesures sur le terrain	233
Résultats :	
a) Vosges	236
Grès	
Granite	
Eaux thermales	
Conclusion	243
b) Extension à différentes régions de France	243
1) Vendée	244
2) Bretagne	249
3) Conclusion	256
4) Limousin - Contre épreuve de la méthode en vue de son utilisation com- me méthode de prospection	257
Synthèse	268
III - ETUDE DES RELATIONS ENTRE LES TENEURS EN RADON, RADIUM ET URANIUM	271

	Pages
CHAPITRE V - CONCLUSIONS GENERALES DE L'ETUDE.	
1) Résultats d'ordre géologique	281
2) Résultats d'ordre géochimique et métallogénique	281
3) Résultats d'ordre technologique	282
4) Résultats d'ordre biologique	283
BIBLIOGRAPHIE	285
APPENDICE : Résultats d'analyses	299

AVANT-PROPOS

Au moment de présenter ce travail il m'est un agréable devoir de remercier ceux qui m'ont conseillé, aidé à le conduire à bonne fin.

Ma reconnaissance sincère et profonde va en premier lieu à M. le Professeur Marcel Roubault, initiateur et conseiller de ces recherches. Depuis neuf ans, j'ai eu l'honneur et la chance d'être son collaborateur et durant cette période j'ai pu profiter de son savoir et de son exemple. Son dynamisme communicatif n'a pas cessé de guider mon travail et de l'étendre en dehors des frontières régionales. C'est grâce à sa bienveillante compréhension que je dois d'avoir pu concilier les exigences de la recherche et celles, parfois si lourdes, de l'enseignement. Qu'il veuille donc bien trouver ici l'expression de ma gratitude.

M. le Professeur Francis Perrin, Haut-Commissaire à l'Energie Atomique, m'a honoré de l'intérêt qu'il a porté à mes travaux. Malgré les nombreuses obligations qu'entraînent la notoriété et les charges administratives, il a bien voulu m'accorder un peu de son précieux temps et s'associer à mon Jury. Sa présence est pour moi un honneur et une joie.

M. le Professeur Coppens s'est toujours intéressé à mes problèmes tant au laboratoire que sur le terrain. Il m'a apporté un soutien efficace, constant et reste pour moi l'exemple de l'autorité bienveillante. Qu'il veuille bien accepter mes remerciements les plus sincères.

M. André Bernard, Professeur, a toujours été pour moi l'interlocuteur obligeant. Je le remercie d'avoir bien voulu accepter de participer à mon Jury.

A M. le Professeur Jacques Avias, je suis reconnaissant de m'avoir prodigué les premiers conseils et d'avoir suivi avec intérêt la progression de mes travaux.

M. Baïssas, M. Debieesse et M. Mabile m'ont permis plusieurs séjours fructueux dans les Centres d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses, de Saclay et sur les divisions minières du Commissariat à l'Energie Atomique. Que toutes les personnes rencontrées au cours de ces séjours soient assurées de ma sympathie pour leur cordial accueil.

A Nancy, MM. les Professeurs J. Bolfa, J. Hilly, F. Leutwein, G. Millot ; MM. Clin et Rocci, Maîtres de Conférences ; MM. G. Durand, Fabries, Haguenauer, Laugier, Perriaux, Soudant, Touret, Weisbrod furent pour moi des contradicteurs aimables.

Au cours de mes travaux j'ai apprécié le dévouement du personnel du Centre de Recherches Radiogéologiques ; Mme Lebon a accompli de fastidieuses tâches et MM. Bourdier et André s'associèrent à mes efforts au laboratoire et sur le terrain avec une égale bonne humeur.

De nombreuses analyses chimiques de roches ont pu être exécutées grâce à la complaisance de M.H. de La Roche, Maître de Recherches au C.N.R.S. et Sous-Directeur du Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy, et à la compétence de M. Behr et de Mme Blanchet, Chefs de la section de Chimie et de M. Govindaraju, Chef de la section de Spectrographie.

Je les en remercie très sincèrement.

Je n'aurai garde d'oublier ceux qui ont permis la réalisation de ce mémoire ; plus particulièrement M. Bristiel pour sa serviabilité, MM. Bauer et Bourdier avec qui j'ai fait l'illustration photographique et M. Lestreit pour l'exécution graphique.

Que tous ceux dont le travail contribua à l'aboutissement de ces travaux trouvent ici l'expression de ma gratitude la plus sincère.

INTRODUCTION

L'extension des moyens analytiques mis à la disposition du géologue a conduit à une meilleure connaissance de la distribution des éléments majeurs des roches.

Les techniques les plus récentes de la physico-chimie, ont permis de recueillir un grand nombre de renseignements pour les éléments disséminés à l'état de traces dans ces roches. Parmi ces traces, les éléments radioactifs, Uranium et Thorium en particulier, ont été plus spécialement recherchés du fait de l'essor prodigieux des techniques liées à la possibilité de l'utilisation de l'Energie provenant de la désintégration du noyau de ces éléments.

Certains travaux déjà réalisés dans ce sens avaient apporté une somme de faits, mais seuls des massifs granitiques acides (granulite) possédant des concentrations uranifères exploitables avaient été étudiés.

De tels travaux méritaient d'être étendus à des massifs granitiques moins acides, ainsi qu'à certaines enveloppes sédimentaires, et à d'autres éléments de la famille de l'Uranium.

Le but de ces recherches a été de contribuer à la connaissance géochimique des familles de l'Uranium-Radium et du Thorium en étudiant un secteur où les formations rencontrées correspondaient à l'extension envisagée = granite à amphibole, granodiorite etc... présentant de faibles concentrations non exploitables de minéraux uranifères.

En outre, le Radon, gaz radioactif de la famille de l'Uranium, soluble dans l'eau, a été recherché dans les eaux circulant dans les diverses formations du secteur. L'amplitude des variations a été déterminée ensuite sur des massifs contenant des gisements uranifères exploitables. Les résultats obtenus ont permis d'établir alors une méthode particulièrement efficace dans la prospection des gisements uranifères exploitables. Cette méthode pourra figurer en bonne place dans l'arsenal des techniques de prospection géochimique à un stade permettant déjà la circonscription d'un corps minéralisé.

Pour être valable, l'investigation géochimique d'une formation géologique donnée repose sur deux axiomes primordiaux : la connaissance solide des principes et des techniques analytiques, ainsi que celle des matériaux expérimentés.

Or, ces conditions sont bien peu souvent réunies.

Il faut reconnaître que fréquemment la géologie traditionnelle marque une admiration respectueuse -voire un scepticisme bienveillant- pour la géochimie et que bien souvent aussi la géochimie a été considérée par certains, comme une quintessence de la connaissance et réservée à un petit nombre d'initiés.

Dans toute la mesure du possible, nous avons tenté d'éviter de telles erreurs.

Naturaliste de formation, nous nous sommes appliqués à développer notre goût pour les méthodes physiques et chimiques en essayant d'adapter techniques et appareillage à nos problèmes. Cependant, nous n'avons jamais négligé d'augmenter nos connaissances générales du secteur étudié et des formations semblables.

Enfin, n'oubliant pas que l'analyse isole la matière de son support, nous nous sommes efforcés avant de conclure à retourner au contexte général.

Un travail complet aurait exigé l'étude d'un grand nombre de variables. Il ne fait aucun doute, que ces travaux ont été délibérément orientés dans des voies déterminées en abandonnant certains aspects des problèmes abordés.

Le plan de l'exposé ne se comprendra que dans cette perspective.

Un premier chapitre est destiné à situer le cadre de l'étude : situation géographique, caractéristiques climatiques et les grands traits géologiques. Les connaissances antérieures au problème particulier étudié y sont exposées.

Ensuite sont décrites les recherches exécutées sur les échantillons de roches prélevées dans le secteur décrit au chapitre précédent.

Puis l'étude porte sur le comportement géochimique de l'Uranium et du Thorium dans les roches étudiées et sur l'état d'équilibre de la famille de l'Uranium.

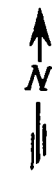
Le cas particulier de la teneur en Uranium des eaux et de leur radioactivité due au Radon dissous est alors abordé. Le désir d'apporter une méthode utilisable en prospection, c'est-à-dire, répondant à de stricts impératifs explique alors l'extension des travaux à d'autres régions réputées pour leurs minéralisations uranifères. C'est dans cet esprit qu'une campagne de vérification de l'efficacité de la méthode a été entreprise.

Les problèmes abordés ne seront pas, hélas, épuisés. Certains aspects en auront été dégagés. L'augmentation de nos connaissances en ce domaine est liée en effet à un appareillage et des techniques d'analyses de plus en plus fines, nécessitant une spécialisation plus poussée.

Carte Géologique et Structurale des Vosges Méridionales

ECHELLE

0 1 2 3 4 5 Km



LEGENDE

Gneiss et micaschistes

Granite à deux micas

Granite gris porphyroïde

Granite porphyroïde de Saulxures

Granite porphyroïde à amphibole

Roches volcaniques basiques tournaisiennes (andésites et basaltes)

Roches volcaniques acides tournaisiennes (rhyolites, microgranites, trachytes)

Tournaisien

Viséen

Stéphanien

Permien

Grès vosgien

Grès bigarré

Muschelkalk

Keuper

Rhétien

Sinémurien

Sondages

Failles

Horsts, mûles

Points minéralisés

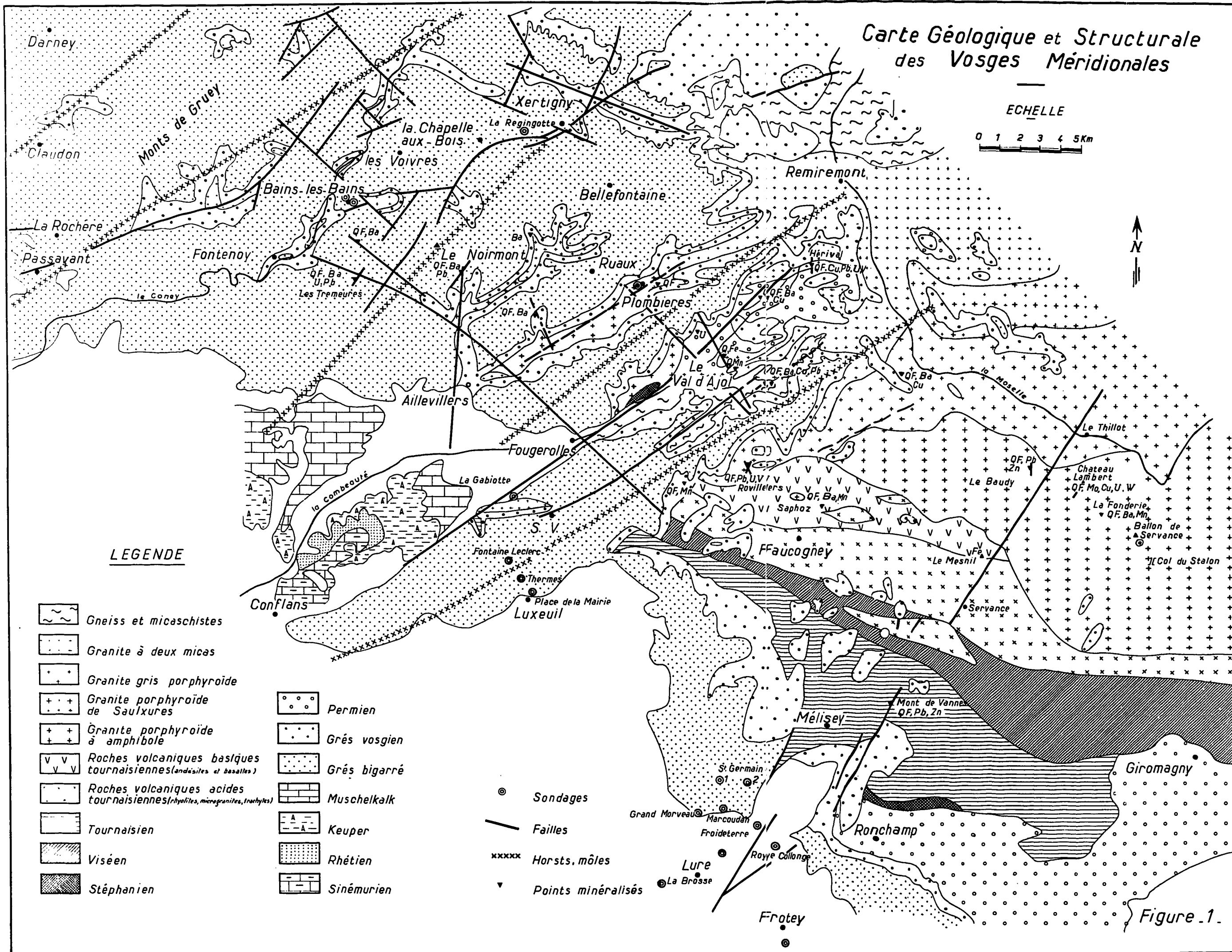


Figure 1.

CHAPITRE I

LE SECTEUR ÉTUDIÉ

I - SITUATION GEOGRAPHIQUE.

Le secteur étudié représente sensiblement une bande située au Sud de Remiremont (Vosges). Cette bande est limitée à l'Ouest par la vallée du Coney et à l'Est par le col du Stalon. Ce col est formé par les Ballons d'Alsace et de Servance et par les vallées du ruisseau de Prelle et du Rahin. La limite Nord, irrégulière, correspond grossièrement à la ligne brisée qui réunit le village des Voivres (au nord de la petite ville de Bains-les-Bains) à Bellefontaine et rejoint ensuite, vers l'Est, la vallée de la Moselle. Cette vallée constitue ensuite la limite Nord jusque dans la région du Thillot. La limite Sud réunit la petite ville de Fontenoy-le-Château (Vosges) à Aillevillers (Haute-Saône) et joint ensuite, dans ce département, Luxeuil-les-Bains à Faucogney, puis Servance, pour atteindre la vallée du Rahin, parallèlement à la vallée de la Moselle. Cette bande présente un axe orienté NO - SE (fig. 1).

Les unités régionales qui sont rassemblées dans ce secteur ont des caractères nettement tranchés. La zone Ouest du secteur constitue la région que les rapports de l'Intendance au XVIII^e Siècle appelaient "la Vôge" (1). L'altitude dans cette région ne dépasse que rarement la cote 550. Puis un glacis monte doucement vers le rebord de la Vallée de la Moselle et atteint aisément 700m. d'altitude = C'est "la Montagne". Enfin, vers l'Est, une région boisée, accidentée, que domine à 1220 m le Ballon de Servance.

II - CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES.

Le climat de cette région présente les mêmes caractères que celui de l'Est de la France, cependant, ils sont plus accentués encore. La Vôge par exemple, connaît généralement deux mois de neige, tandis que le glacis central demeure enneigé trois mois. Le Ballon de Servance souvent enneigé en Octobre, n'est libéré qu'en Mai. Les hauteurs des précipitations illustrent ces faits : 800 m/m à 1000 m/m dans la Vôge, 1000 à 2000 m/m dans "la Montagne", et plus de 2000 m/m au Ballon de Servance. Les températures moyennes annuelles marquent elles aussi un semblable contraste: La Vôge et "La Montagne" 8 à 10°, région du Ballon de Servance 0 à 8°.

Nous verrons plus loin que la structure géologique permettra de dégager des unités régionales plus marquées encore.

III - SITUATION GEOLOGIQUE DU SECTEUR ETUDIÉ DANS LE MASSIF VOSGIEN.

Le secteur étudié correspond sensiblement à la branche inférieure du S figuratif employé par J. Jung (1921) pour décrire synthétiquement la structure du massif Vosgien. Mais ce secteur ne correspond à aucune unité géologique.

Des régions plus restreintes seront décrites dans lesquelles les grands épisodes tectoniques ont joué un rôle prépondérant. Ceci conduit à faire un rappel des grands traits tectoniques de cette région.

(1) La Vôge forme d'après B. Auerbach, un district qui s'étend au Sud jusqu'au relèvement des Faucilles. Mirecourt en est la capitale. Pour H. Joly, c'est la région basse comprise entre les Vosges gréseuses et le Muschelkalk.

IV - LES GRANDS TRAITS TECTONIQUES. CONSTITUTION LITHOLOGIQUE.

A - LES DIRECTIONS TECTONIQUES REMARQUABLES DANS LE SUD DES VOSGES.

L'observation d'une carte topographique à grande échelle, 1/100 000e par exemple, permet de noter dès l'abord trois directions dominantes auxquelles s'ajoute une autre direction plus discrètement marquée.

1) Une direction NE ($N45^{\circ}$ E) s'individualise très souvent, c'est la direction d'un certain nombre de vallées où coulent des rivières souvent importantes : Vallée de la Combeauté où sont bâties : le Val-d'Ajol, Fougerolles ; Vallée de l'Ognon, avec Servance et Melisey ; Vallée du Breuchin, en amont de Faucogney. Si cette direction est nettement marquée par les vallées, elle n'en est pas moins soulignée par des reliefs accentués. Les hauteurs portant les forêts domaniales de Selles et de Passavant au NE de Passavant-la-Rochère ; celles situées au Nord et à l'Est de Luxeuil-les-Bains et portant la forêt des Sept-Chevaux et du Banney, sont particulièrement remarquables. Cette direction, fondamentale dans la région étudiée, correspond à la direction varisque.

2) Une autre direction non moins nette apparaît aisément aux yeux de l'observateur. D'orientation NO-SE (environ $N130^{\circ}$) ; elle est particulièrement bien dessinée au Sud de Bains-les-Bains et de Plombières où elle marque la fin du plateau de la Vôge. Comme la précédente, elle est primordiale dans le secteur, et correspond à la direction hercynienne armoricaine.

3) Une troisième direction, sensiblement Est-Ouest apparaît encore nettement, surtout à l'Est de Luxeuil-les-Bains. Elle correspond à la résultante obtenue en construisant le parallélogramme des forces perpendiculaires aux directions précédentes.

4) La quatrième direction, sensiblement N.S., (oscillant entre 5 à 15° E), ou rhénane, n'est pas marquée dans la topographie. Cependant lorsque l'on fait le relevé d'orientation de plan de diaclase ou celle de filons minéralisés, elle apparaît nettement (Fig. 2).

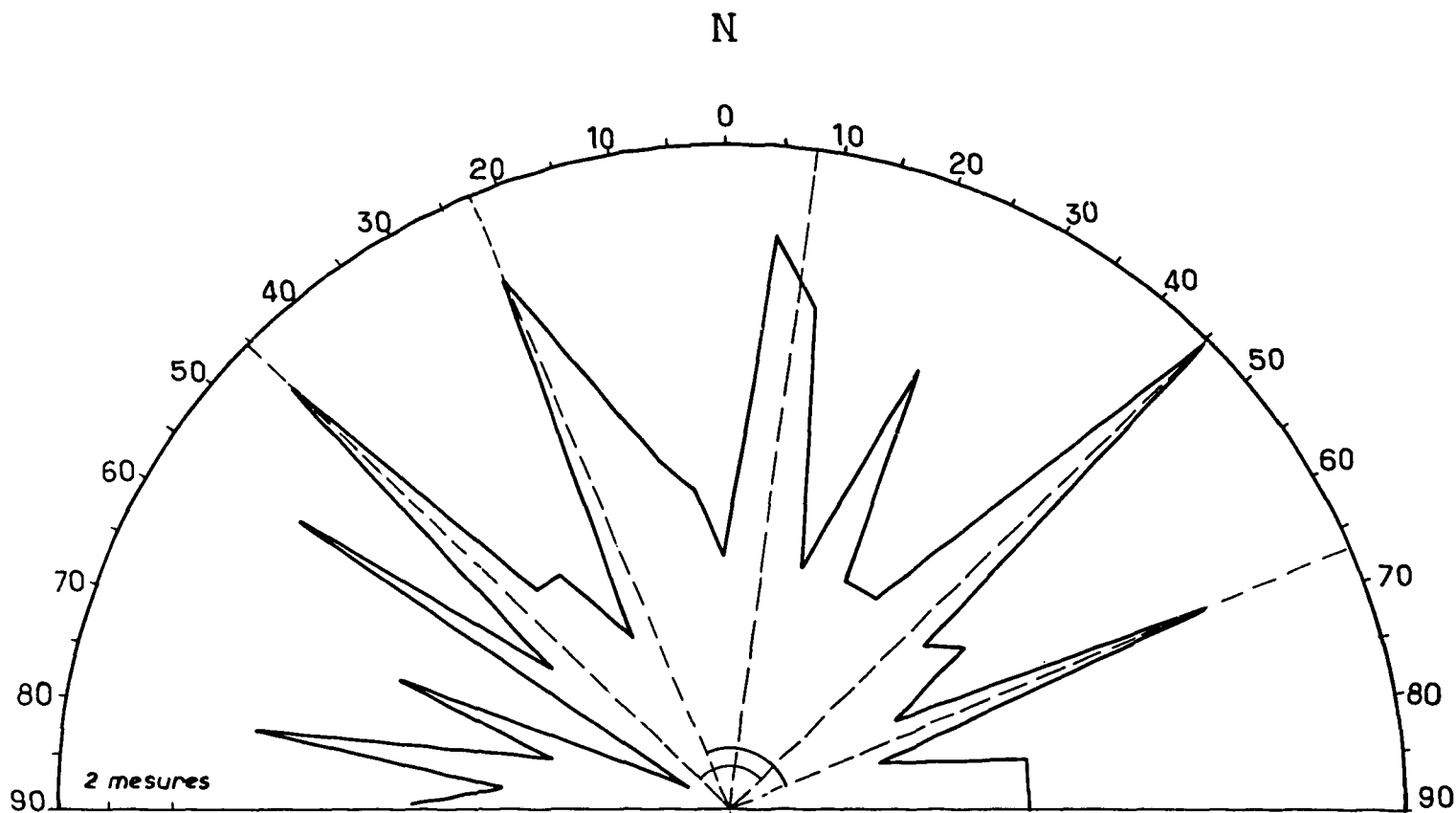


Fig. 2 - Fréquence des directions de 350 diaclases et filons minéralisés des Vosges méridionales. Remarquer les directions orthogonales de certaines directions.

Ces directions relevées, observées sur la carte, et confirmées par les études de terrain correspondent à des failles déterminant horsts et grabens. Ces mûles et ces fossés d'effondrement permettent de délimiter des unités régionales, parfois réduites, mais présentant malgré tout des caractères nettement marqués.

Les failles qui permettent de telles divisions sont, de l'Ouest vers l'Est :

Faille des Monts de Gruely.

Cette faille est située à 2 km environ à l'Est du village de Gruely. Sa direction est N 35° Est dans sa partie Nord. Elle est relayée vers le Sud et son orientation devient N 40-45° Est.

Le rejet est assez important, d'au moins 50 mètres et le regard est Sud-Est. Grâce à cette faille, le socle apparaît quelquefois. Elle livre passage à la "fontaine chaude de Gruely".

Elle limite à l'Est une sorte de mûle, marqué dans la topographie, atteignant Passavant - la Rochère. Le socle affleure à Passavant même : Jannel (1887) y décrit un pointement de "roche porphyrique dite microgranulite" au viaduc de Passavant. L'affleurement existe du "point kilométrique 23,500 au point kilométrique 23,500 et serait "le chapeau d'un batholite sous-jacent" (Pl. I, fig. 1). (1).

Faille de La Chapelle-aux-Bois.

Il ne s'agit pas ici d'un accident simple, mais il semble bien que le jeu de fractures d'orientations diverses : N 20° E, N 45° E, N 75° E, a conduit à une faille complexe dont le rejet est estimé par Jannel (1888) à au moins 140 m. Le regard est N.O. L'une des failles de ce faisceau est visible dans la tranchée de la voie ferrée d'Epinal à Belfort, au point kilométrique 85,440.

Ces deux accidents, faille de Gruely et faille de La Chapelle aux Bois, limitent un fossé d'effondrement que nous convenons d'appeler Graben de Bains-les-Bains.

Faille des Trémeures et de Fougerolles-le-Château.

Cependant cette zone effondrée est à nouveau limitée au Sud par une autre faille nettement marquée dans la topographie. Nous l'appelons faille des Trémeures et de Fougerolles-le-Château.

Il s'agit en fait de deux failles : Le tronçon Est a une direction N 145° (N 55° O), et le tronçon Ouest N 160° (N 70° O), les traces en sont visibles dans la tranchée de la voie ferrée d'Epinal à Lure, au Nord du passage à niveau de la route nationale 64 de Lure à Maizières. Ces traces sont situées respectivement aux points kilométriques 82 et 82,420 (Jannel, 1888). Les couches de grès entre ces deux points occupent une position anticlinale.

Le tronçon Est est très facilement visible dans la tranchée de la voie ferrée de Port-d'Atelier à Plombières, au point kilométrique 2,800 près du Chemin du Grand Fays.

Le tronçon Ouest vient s'amortir près du hameau des Fontenelles où des travaux d'adduction d'eau ont permis de reconnaître un dérangement important du grès, accompagné de silicification avec dépôt de barytine et présence de boxworkds de fluorine.

Le tronçon Ouest a une influence morphologique importante. La faille impose sa direction aux deux étangs des Trémeures et de Falvinfoing et à leurs exutoires. Des dislocations du grès jalonnent son tracé, elles sont particulièrement bien marquées dans la carrière communale de Trémonzey, à proximité du hameau des Trémeures. (Pl. I, fig. 2).

La trace de cette faille est décelable sur photographie aérienne au NE de Luxeuil-les-Bains. Sur le terrain la présence de quartz pyramidé et de boxwork de fluorine est venue confirmer cette observation.

Cette faille limite une autre zone effondrée, mais postérieure au graben de Bains-les-Bains. Cette région est appelée : l'Avant-Pays.

Faille de Conflans

Vient ensuite une région formant un plateau légèrement incliné vers l'Est et découpé par des vallées assez profondes atteignant toujours le socle. Il semble que ce plateau ait légèrement basculé vers le S.E., s'appuyant sur le horst de la Montagne de Luxeuil.

(1) L'étude de cette région a été reprise récemment par N. Theobald (1958), P.L. Maubeuge (1960) et M.J. Jacoulet (1960).

Fig. 1 - Crête des Monts de Gruéy correspondant au horst de Passavant. Au pied, plateau de grès bigarré. Au premier plan, carrière de gneiss de Beauregard - Fontenoy-le-Château. Une première faille a provoqué l'effondrement du plateau de grès au pied des Monts de Gruéy ; une autre, parallèle, a créé une vallée morphologique (vallée de Coney). (Plan de la photo N 45° E. Carrière Mazurier à Fontenoy).

Fig. 2 - Dislocation du grès au voisinage de la faille Trémonzey-Fougerolles-le-Château. (Plan de la photo N 20° S. Carrière communale de Trémonzey).

Fig. 3 - Flanc Ouest de la Vallée du Val d'Ajol. La faille de "Conflans" a respecté un lambeau de Stéphaniens (S). Les formations permienes sont couvertes de prairies ; le grès vosgien et le grès bigarré forment le plateau boisé. (Plan de la photo N 45° E. Chemin de la brasserie - Val d'Ajol).



Fig. 4 - Sur la ligne d'horizon, crête correspondant au horst de la Montagne de la Longine et de Corravillers. Au premier plan, le flanc Ouest de la Vallée de l'Ognon. (Plan de la photo N 35° E. Ferme de la Hutte).



2



4



1



3

En effet, une grande faille de direction N 45° E, que Thirria (1885) appelle faille de Conflans, limite un escarpement à l'Ouest de Luxeuil-les-Bains. Elle se poursuit jusque dans la région du Val d'Ajol. (Pl. I. fig. 3).

Le rejet de cette faille est très important. Il atteint 200 m au moins, puisque au point kilométrique 101 de la voie ferrée d'Epinal à Lure, les terrains primaires (schistes lie de vin) sont au niveau du Trias supérieur (Marnes irisées à gypse de Fontaine-les-Luxeuil. (Jannel C. 1888 - Jurain G. 1955). (1)

Faille d'Outremont-les-Angleys.

Une faille parallèle qui a provoqué la naissance de la vallée de la Rôge en amont de St Valbert double la faille de Conflans. Son tracé est confirmé vers le N.E. En effet, à l'ouest de la vallée d'Outremont-les-Angleys, les grès tabulaires sont situés à 530 m d'altitude, alors qu'au flanc Est le même niveau repère est situé à 660-700 m. Cette dénivellation de plus de 130 m peut se suivre presque sur 1 kilomètre. Enfin des indices sûrs permettent de poursuivre son tracé vers le N.E. par delà la vallée de Méreille ; tandis que vers le S.W. gneiss et micaschistes le jalonnent (Hameau des Forges).

Cette double faille limite ainsi à l'Ouest une dorsale qui peut se suivre très loin au Sud-Ouest de Luxeuil-les-Bains, tandis que vers le N.E. elle irait se confondre avec les hauteurs du Girmont.

Cette dorsale correspond à une ride anticlinale. A propos de cette dernière, notons l'opinion de G. Mathieu (1947) : "une crête granitique doit exister suivant une direction Ouest-Est depuis Fontaine-les-Luxeuil jusque vers Chalindrey où le granite ressort directement sous le keuper à Bussièrès-les-Belmont (Hte-Marne)".

D'après les observations précédentes, il semble qu'il existe une série de crêtes correspondant aux anticlinaux dont Corroy (1934) a relevé les axes entre Vosges et Morvan.

Cette ride anticlinale, de largeur réduite dans la région de Luxeuil-les-Bains, (environ 5 km), s'épanouit dans la région Nord et atteint alors 10 km entre le Val d'Ajol et Corravillers-au-Plain. L'altitude dans cette dernière région est élevée. De l'ordre de 600 m elle atteint 790 m au carrefour de la voie du Grand Ban et 752 m au piton de la Louvière. (Pl. I. fig. 4, Pl. II. fig. 1).

Failles du Breuchin et du col des Croix.

Une région effondrée fait suite à ce horst en allant vers le S.E. Cette zone est limitée par une faille déduite : dite du Breuchin dans la région de Corravillers et par un système de fractures dans la région du col des Croix. La principale faille de ce système a été observée dans la région de Melisey par Cardot (1911). Plus tard Ruhland (1959) reconnut cet accident dans la région du Haut-du-Them (Haute-Saône) et semble lui faire emprunter un tracé qui se superpose à celui de la vallée de l'Ognon, c'est-à-dire N 40° E. Il apparaît certain qu'il existe ici un système complexe et que de petites failles satellites, plus ou moins parallèles à ce grand accident, ont pu avoir une influence primordiale au cours de la mise en place de la minéralisation plombo-zincifère de l'Etang de Baudy (p. 54).

Dans la région du Col des Croix existe une faille bien repérée, dite "faille de 35 mètres", reconnue par les travaux miniers de Château Lambert (p. 59).

Cette zone effondrée est nettement marquée dans la topographie, il s'agit de la zone des Grands Etangs (Pl. II. fig 2). L'altitude est plus faible que dans la région précédente et atteint environ 730 m sur l'ancienne route stratégique des forts de Haute-Moselle.

Faille de la Savoureuse.

La dernière région enfin, correspond au massif du Ballon d'Alsace, limité à l'Est par la faille de la Savoureuse. Elle correspond à un horst.

CONCLUSIONS.

Cette succession de horsts et de zones effondrées, semble assez surprenante. Cependant en se reportant à la carte générale des Vosges, (Jung. J 1928) il est aisé de raccorder les zones décrites aux grandes lignes tectoniques du Massif Vosgien.

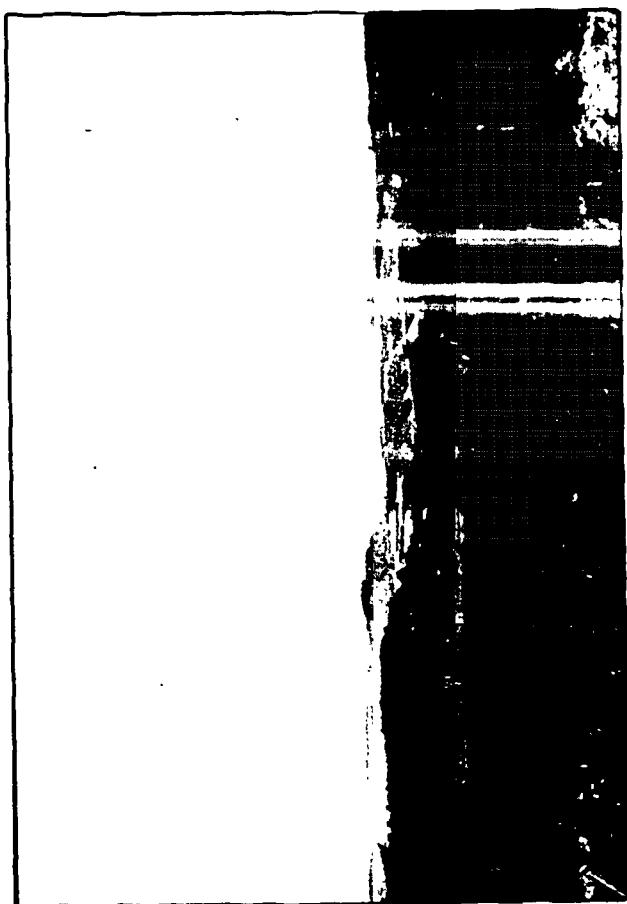
(1) La 1ère édition de la carte géologique de Lure (n° 101) mentionne cette faille et sa trace supposée dans la région du Val d'Ajol. J. Jung, en 1928 la fait figurer sur sa carte des Vosges hercyniennes. La seconde édition de la carte au 1/80 000 ne la mentionne pas.

Fig.1 - Paysage caractéristique de la région effondrée des Etangs. A l'arrière plan le Ballon de Servance. Au premier plan l'Etang du Frenet. (Plan de la photo : N 10° E. Chemin du Frenet).

Fig.2 - Région effondrée des Etangs. A l'arrière plan, au centre, l'éperon du horst de Corravillers portant le fort de Rupt. Au premier plan, lande de genets et de fougères. (Plan de la photo : N 45° E. Carrefour du Reposoir).

Fig.3 - Affleurement de granite montrant les plans de diaclases presque orthogonaux. (Plan de la photo : E.O.-Chemin de Es Moulières à Beulotte, à proximité de la Cote 606).

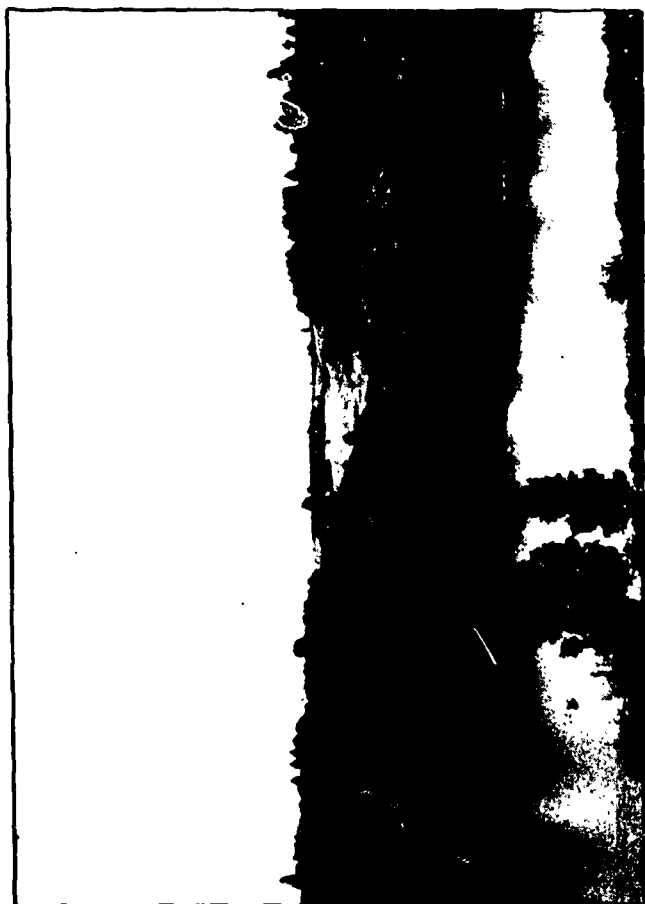
Fig.4 - Phénomènes périglaciaires dans le grès vosgien de la région des Etangs. La tradition populaire veut y voir les vestiges de "pierres à sacrifices". Lieu dit Pré Crapaud.



2



4



1



3

La montagne de Gruey (horst) se superpose à l'axe anticlinal qui, passant par Epinal, atteint le Donon, (Corroy G 1934). La dorsale de Luxeuil-les-Bains se raccorde, dans les Vosges centrales, à l'axe de Gérardmer, (Haut de Tôt). Quand au horst du Ballon de Servance, il se raccorde aux lignes de crêtes Grand Ventron - Hohneck.

Le secteur étudié est donc profondément marqué par les épisodes successifs de l'orogénèse hercynienne (1). Il est certain que les directions anciennes (failles, plis ...) ont dû rejouer à une époque plus récente ; au Tertiaire en particulier. Par contre, les directions rhénanes bien que d'âge tertiaire, ont très peu influencé, en grand, la région étudiée.

Ces observations concordent avec celles que Velain C. et Michel-Lévy Al. ont faites en 1910, à savoir que "la direction des axes tectoniques est armoricaine à l'ouest du massif des Ballons" et semblent confirmer le fait dégagé par Schnaebelé E (1923), à l'opposé de Jung J. (1921), dans les Vosges Centrales : "la forme vraiment hercynienne semble être un système de plis parallèles dévié dans le Sud des Vosges".

B - LES FORMATIONS SEDIMENTAIRES.

1) Formations sédimentaires antépermienne.

C'est Michel Lévy Al. qui le premier, en 1910, introduisit des coupures dans l'ensemble de terrains sédimentaires mêlés de roches éruptives que l'on rapportait antérieurement au Carbonifère inférieur. Ces coupures ont été établies en utilisant les fossiles découverts au Sud-Est du Secteur étudié, dans la région de Belfort.

Cependant, les gisements peu nombreux : Bourbach-le-Haut, Rossberg, les Plaines (près Giromagny), Chagey, ne suffisaient pas à établir avec sûreté les limites ; c'est pourquoi il a fallu utiliser également les analogies que présentent certaines roches des Vosges Méridionales avec celles, bien connues et bien mieux datées, du Morvan.

Le Dévonien moyen bien que représenté au SE du secteur (calcaires et schistes fossilifères de Chagey) n'est pas développé dans la zone qui nous occupe.

Le Dévonien supérieur, très largement représenté par des roches éruptives, ne montre que de rares lambeaux de schistes dans la région de St Amarin et de Bussang, au Nord-Est du secteur.

Le Carbonifère inférieur : Dinantien, semble être aisément divisé en deux étages = Tournaisien et Viséen (Dinantien supérieur).

Le Tournaisien apparaît bien souvent confondu avec le dévonien supérieur. Les formations que nous avons rencontrées dans la région d'Amage pourraient être rapportées à cet étage. Il s'agit d'un conglomérat improprement appelé grauwacke. Il est constitué de grains de quartz de taille assez grande, 1 à 2 cm, bien arrondis, cimentés par une matrice siliceuse, verdâtre et micacée. A la suite de ce conglomérat peuvent parfois se rencontrer des schistes avec interstratification de nids charbonneux. Les schistes peuvent accompagner ce conglomérat. Ils sont fréquents à la Voivre, où silicifiés, ils ont été exploités comme pierre à affûter (Thirria, 1833). De couleur noire ou grisâtre, ils montrent des plans de schistosité orientés E.O. avec un fort pendage : 80° Sud. Ils sont métamorphisés et assez semblables à ceux rencontrés au Col de Bussang.

Le Dinantien supérieur est également constitué de schistes dans le secteur étudié. Fortement chargés en matière organique, ils se débitent aisément en parallélépipèdes réguliers. Les plans schisteux sont encore ici orientés E.O.

Il est à noter qu'ils ne sont pas métamorphiques. L'intrusion granitique qui a métamorphisé les schistes tournaisiens (phase bretonne), est donc antéviséenne.

Le Westphalien (Carbonifère moyen) fait défaut dans les Vosges du Sud. Cette lacune correspond à un mouvement tectonique : 3ème phase varisque ou phase asturienne.

Le Stéphanien (Carbonifère supérieur) n'est bien développé et productif que dans la région de Ronchamp. Il semble bien que l'on puisse rapporter à ce niveau le lambeau du Val d'Ajol. On a rencontré en effet, au lieu dit "Les Oeuvres", une petite veine de houille. Ce "gisement", objet de recherches au début du siècle, a été bien vite abandonné. Pour compléter l'analogie avec Ronchamp, on retrouve là les schistes talqueux du Bassin de Ronchamp.

(1) A l'affleurement, les directions fondamentales reconnues ci-dessus sont tout aussi nettes. (Pl. II Fig. 3).

Les formations sédimentaires antépermienues sont donc peu développées dans la région qui nous intéresse. Notons toutefois la lacune du Westphalien et la présence certaine d'un lambeau de Stéphanien sur le flanc Ouest de la vallée du Val d'Ajol.

2) Permien.

Le permien est bien développé dans la région de Ronchamp où il est transgressif, mais discordant, sur les formations stéphanienues.

Le Val d'Ajol constitue l'autre bassin où le Permien est bien développé. Il débute par des argilites multicolores : rouges, vertes, violettes, blanches ou lie-de-vin. C'est en creusant la tranchée de la voie ferrée de Corbenay à Faymont, près de la gare de Faymont, qu'ont été découverts les troncs silicifiés de *Psaronius*, *Cordaites*, *Calamodendron* (Mougeot) permettant de rattacher ces assises à l'Autunien et venant confirmer la position stratigraphique du lambeau stéphanien du Val d'Ajol. Le grès Permien proprement dit vient en concordance avec ces argilites. Il semble débiter par des conglomérats feldspathiques. Les feldspaths broyés constituent le ciment entre des galets de quartz, mais aussi d'éléments granitiques à biotite et même, exceptionnellement, de micaschistes. Ces conglomérats sont très souvent rougeâtres par suite de la libération d'oxydes de fer, mais semble-t-il aussi du fait de teneurs élevées en Vanadium (150 à 400 ppm).

Les grès viennent ensuite, toujours fortement colorés en rouge-violacé. Ils sont constitués de grains de quartz et de feldspath de taille irrégulière, souvent brisés. Le taux en ciment est très variable. De ce fait, les grès sont parfois mal consolidés (1) ou bien constituent des masses très compactes qui ont été confondues avec des rhyolithes. En règle générale la proportion de ciment augmente lorsque l'on gagne le haut de la série, ce qui donne des résultats curieux au cours de l'érosion : les corniches en surplomb ne sont pas rares, avec au pied des accumulations de blocs éboulés.

Le permien a été également déterminé dans la région de Bains-les-Bains, au lieu dit "La Manufacture". Il s'agit de grès arkosique lie-de-vin, assez semblable à celui de Faymont.

Il est remarquable qu'une lacune existe au sommet du Permien dans le secteur étudié. Les formations dolomitiques (équivalentes, semble-t-il aux formations Thuringiennes (Zechstein) bien marquées dans la région de Champagny Longchamp et dans la région de St Dié (Choubert et Gardet 1935) : (Raids de Robache) n'existent pas dans le bassin du Val d'Ajol.

Le grès permien est très souvent tapissé de paillettes d'oligiste.

Il est probable que les rhyolithes associées aux argilites sont le résultat de l'activité volcanique de la phase saalienue.

Le permien, dans cette région, est transgressif. Il est marqué par une intense activité volcanique. Une lacune semble exister, puisque le terme supérieur dolomitique n'a pas été rencontré dans cette région.

3) Trias inférieur.

Le grès vosgien, dans notre secteur d'étude, est transgressif et discordant sur le socle (granite, gneiss, schistes), ainsi que sur les formations permienues. Il est toujours réduit à son seul terme supérieur, c'est-à-dire, au Grand Conglomérat (Hauptconglomérat des auteurs Allemands). Parfois même ce conglomérat n'existe pas et les couches intermédiaires inférieures du grès bigarré reposent directement sur le socle (tranchée de la voie ferrée à Fontaine-les-Luxeuil). (Jurain 1955).

Les galets de taille relativement faible (taille d'une noix à un oeuf) sont polygéniques. Outre les galets de quartz et de grès, le granite à amphibole, le gneiss ou même la diorite ou l'amphibolite, constituent les matériaux primitifs de ces éléments roulés.

Lietard (1889) remarque à propos de ces galets, que le gisement d'origine est toujours situé à l'Est ou au Sud-Est du point où le galet a été rencontré.

Le ciment de ces conglomérats est très souvent ferrugineux. Des grains de quartz plus petits que les galets interviennent également.

La puissance du grès vosgien est variable : quasi nulle, 0,50 m, elle peut atteindre 3 à 5 m.

Le grès bigarré fait suite au conglomérat. Il se subdivise en deux niveaux : La zone inférieure est constituée par un grès à ciment feldspathique avec quelques larges micas. La coloration est

(1) Exemple : Ferme de la Broche. Il semble qu'en ce lieu les grès sont surmontés par des argilites. (Velain 1913).

souvent jaune (oxyde de fer), avec quelquefois une proportion assez importante de grès violacé (lie-de-vin). On y rencontre souvent de petits galets à facettes. La stratification est très souvent entrecroisée. Tandis que la partie supérieure est formée par un grès à ciment feldspathique avec quelques petites lamelles de mica blanc. La couleur est ici lie-de-vin claire, nettement différente de la couleur du niveau précédent. On y rencontre quelques zones violettes semblant correspondre à une phase d'émersion. Ce niveau ne montre plus de stratification entrecroisée, ni de galet. L'ensemble de ces deux niveaux a une puissance de 40 à 50 m. (1)

Ces deux niveaux correspondent aux Zwischenschichten des auteurs Allemands : (Lepsuis-1875).

Le grès bigarré proprement dit leur fait suite. Il s'agit du grès à *Voltzia*.

Ce niveau débute par un banc de grès ferrugineux à végétaux (presque une brèche). La puissance en est faible : 0,25 à 0,40 m. Très constante, elle se rencontre partout dans le flanc des vallées, constituant un excellent repère.

Un grès blanc, à grain fin, avec ciment feldspathique et lit de petites lamelles de mica le surmonte. Ce niveau de grès blanc micacé a fait l'objet de nombreuses exploitations pour meules, dans la région de Bains-les-Bains, Plombières et Ruaux.

Puis vient un grès violacé (lie-de-vin) ou amarante, micacé, comme le précédent, souvent intercalé de niveaux argileux de quelques centimètres d'épaisseur devenant plus nombreux et plus épais à la partie supérieure de la formation.

Les puissances sont respectivement pour le "grès à meules" environ 15 à 20 m et pour la zone amarante argileuse 10 à 15 m.

4) Le Trias moyen.

Le Trias moyen débute par un grès tigré, ocreux, avec taches et dendrites de manganèse, quelquefois lie-de-vin avec taches brunes. Ce niveau gréseux contient rarement des moules de Bivalves assez mal conservés. Ce grès se rencontre dans le sommet des carrières de la Croisette où il atteint une puissance de 1 à 2 m.

Le grès coquillier lui fait suite (Muschelsandstein des auteurs) proprement dit, plus communément appelé grès de Ruaux.

Son extension ne correspond pas à la localité de Ruaux, mais à une région située au N.O. de la localité.

C'est, en effet, au sommet du plateau compris entre les Vallées de la Semouse et de la Bra-mouse, au lieu dit "Le Moulin de Ruaux", que nous avons reconnu les carrières abandonnées livrant la faune classique de cette formation : *Gervilleia mytoloides*, *G. costata socialis*, *Lima radiata*, *Myo-phoria vulgaris* *Modiola*, *Myophoria vulgaris*, etc....

Au-dessus, vient une argile limite bariolée, parfois en plaquette, verte ou chocolat (Passage supérieur du Lyaumont) dont la puissance peut atteindre 10m. (2)

Cette argile limite, bariolée, contient dans toute la région de faibles lentilles de sel donnant naissance à des sources faiblement salées. Elles furent vraisemblablement exploitées car une toponymie évocatrice, n'ayant aucune relation avec des frontières provinciales, tendrait à confirmer ce fait.

Ainsi, à Luxeuil-les-Bains, il existe encore actuellement une rue dite de la Saline, semblant correspondre à un chemin gagnant une source froide salée dont Jurain CC (1716) dit avoir retiré du sel marin.

Les autres lieux : la Saline, près du Hameau du Ruisseau des Ecrevisses, et le Saunier, sur le territoire de la Commune de Trémonzey, correspondent à l'extension de ces argiles limites.

Notons enfin dans toute la région le caractère halophile de la végétation : présence de Salso-lacées = *Salicornia herbacea* (Linné).

Cette région argileuse constitue l'avant pays de la région effondrée.

Pour achever cette brève revue stratigraphique, ajoutons que dans la région de Fontaine, un affleurement de Muschelkalk a été visité. Il s'agit ici d'un calcaire compact avec rares entroques. Des joints argileux ocres sont fréquents (argiles de décalcification) et des structures cône-in-cône

(1) Ces formations renferment parfois des minéralisations cuprifères : mouche de malachite et d'azurite, ainsi que de la pyrite (région du Hameau de Semouse).

(2) C'est à ce niveau que se minéralise la source salée de Saulnot (14 km S.E. de Lure) exploitée au 17ème siècle.

ont été relevées. Les marnes irisées rencontrées dans la même région sont bien développées et les lits gypseux font l'objet d'exploitation pour plâtre.

Au terme de cette étude des formations triasiques rencontrées dans le secteur, il est nécessaire de noter que souvent les affleurements visités ne présentent pas les caractères habituels de ces niveaux.

En effet, il existe de nombreuses failles qui ont permis la circulation de solutions minéralisatrices. Un métamorphisme est alors intervenu dans ces formations. Il n'est pas rare de rencontrer de véritables quartzites (Pré-Verdot - Bains-les-Bains, Vallée de Plombières) dûs à la cimentation des grains de quartz par la silice secondaire. En d'autres endroits, le grès est imprégné de barytine, donnant aux échantillons une densité inusitée.

5) Les formations quaternaires.

Les formations quaternaires sont assez nombreuses dans le secteur étudié. Cependant, elles n'ont pas fait l'objet de recherches particulières. Il est seulement intéressant de noter les surfaces parfois considérables couvertes par les formations fluvio-glaciaires : plateau de Pont-Jeanson au N. de Plombières, complexe fluvio-glaciaire de la Combeauté : Fougerolles-le-Château ...

Des témoins de l'activité périglaciaire sont forts nombreux (Pl. II Fig. 4).

Les tourbières ont également, dans certaines aires, une grande extension : tourbière du Haut-dompré, de la région des étangs, de la Montagne : Bravouse.

Ces formations n'ont pas retenu notre attention.

CONCLUSION.

Les formations sédimentaires, dans la région étudiée, s'étendent du Carbonifère inférieur au Trias moyen.

Ces formations sont rarement concordantes, du fait des phases orogéniques ayant introduit des solutions de continuité.

Des lacunes peuvent exister : par exemple, absence totale de Westphalien et de Permien supérieur. Des roches d'épanchement viennent encore ajouter à la complexité des formations étudiées.

Cette région montre donc, en raccourci, les épisodes souvent très étendus rencontrés dans les autres régions des Vosges, plus à l'Est ou au Nord.

Cette région a été probablement un haut-fond stable par rapport aux aires environnantes (A. de Lapparent, 1897) et le horst de Luxeuil correspondait à une terre émergée à la fin du Permien.

C - LES ROCHES ERUPTIVES.

La diversité des roches éruptives rencontrées dans le secteur étudié nous a conduit à simplifier l'étude, le but principal de notre travail n'étant pas l'étude pétrographique et pétrogénétique des formations. Cependant il a semblé nécessaire d'aborder, au moins dans les grandes lignes, le problème des roches plutoniques et de leur cortège filonien et celui des roches volcaniques. Comme précédemment, la description ira de l'Ouest vers l'Est.

1) Les roches plutoniques et leur cortège finonnien.

Les granites.

a) La granulite.

La légende des éditions successives de la feuille de la carte géologique (Lure n° 100), fait état de cette roche de la famille des granites. La granulite s'étend à la limite Nord de la feuille et se rencontre, dans le secteur étudié, dans les fonds de vallées : vallées de la Semouse, de l'Augronne, de la Combeauté.

Il importe de définir ici le terme de granulite. Divers auteurs l'ont employé pour désigner les roches qui par la suite n'ont guère révélé de points communs.

Michel Lévy A. (1874) définit ce terme et le Service de la carte géologique semble l'avoir généralisé et appliqué à des granites à muscovite à grain grossier et présence de quartz automorphe.

La biotite, absente en principe, peut prendre une certaine importance et même peut devenir dominante. Par la suite, de nombreuses controverses éclatent et, par exemple, en 1901 de Launay

observe à propos des roches du Limousin, que l'on peut trouver de vraies granulites sans muscovite et que de plus il est possible de grouper sous ce nom divers types de roches.

Trente ans plus tard, ce même auteur semble définir sa position et applique le terme à des roches "à prédominance des feldspaths qui leur donne une teinte blanche ou rosée et qui se prête à la kaolinisation, par le développement des quartz isolés, par l'irrégularité de la structure, par la présence ordinaire de la muscovite, par l'apparition fréquente de certains minéraux tels que le grenat ou la tourmaline". Il fait ensuite des remarques quant à leur origine.

D'autres auteurs - (Raguin, 1927) - réservent ce terme de granulite aux granites à deux micas où la muscovite est prédominante, souvent même seule présente. De plus le microcline y est très fréquent.

J. Jung (1928) semble ne pas avoir utilisé ce terme pour les roches qui nous intéressent, mais se sert des termes de granite à muscovite et granite à deux micas.

La roche affleurant dans les vallées de la Semouse, de l'Augronne et de la Combeauté, se présente à l'affleurement sous un aspect clair, rosé ou gris, la muscovite apparaît peu importante vis-à-vis de la biotite. Le grain est fin à moyen. Au microscope le quartz apparaît abondant, xénomorphe, le feldspath potassique est l'orthose tandis que le plagioclase est très altéré. La muscovite n'est pas très abondante ; elle se présente en lamelles de petite taille. La biotite, nettement dominante sur la muscovite, est très souvent altérée. Les lamelles sont de taille sensiblement égale à celle de la muscovite. Les auréoles pléochroïques, assez rares, ont pour centre de petits cristaux très réfringents : zircons probablement.

Il s'agit donc en somme d'un granite à affinité granulitique. En effet, rares sont les caractères qui permettraient de le placer dans le groupe de la granulite, suivant la définition de Michel Lévy et Raguin (cf ante).

Au Nord de la vallée de la Combeauté, on peut observer une roche de teinte gris clair, où l'oeil nu décèle aisément quartz, feldspath, orthose, biotite, en petites lamelles, ainsi que muscovite. La biotite est parfois très abondante.

Le microscope permet de reconnaître du quartz en gros éléments, en cristaux automorphes, souvent brisés. Des cristaux xénomorphes, plus petits, forment le fond avec un ciment feldspathique.

L'orthose constitue le fond feldspathique. Les cristaux sont de taille assez grande et voisine de celle des cristaux de quartz. Le plagioclase est l'oligoclase en éléments de taille semblable au quartz et à l'orthose. Ce plagioclase s'altère en donnant des paillettes micacées très petites (séricite).

Ces feldspaths sont broyés et les morceaux forment un ciment conjointement avec les petits cristaux de quartz xénomorphes.

La muscovite est assez importante. Les cristaux peuvent se rassembler en amas. La biotite est constante, parfois abondante. Les lamelles sont souvent tordues et contiennent en inclusion des baguettes d'apatite et montrent quelques auréoles pléochroïques. D'autres fois, les cristaux sont automorphes avec une bordure déchiquetée. (Pl III, fig. 1).

La composition chimique confirme l'observation microscopique (Tableau 1).

Les paramètres CIPW - Lacroix confirment pour l'échantillon du Blanc Murger un granite hyperalcalin ; cette confirmation est obtenue également pour le granite d'Hérival. Pour ce dernier, il est probable que des phénomènes secondaires (lessivage, altération) ont oblitéré les caractères chimiques primitifs.

b) Le granite gris porphyroïde.

Dans le secteur étudié, le granite gris porphyroïde occupe une certaine place, surtout au Nord de la vallée du Breuchin. Il fait alors suite aux grandes masses rencontrées plus au Nord au-delà de la Vallée de la Moselle.

Macroscopiquement, c'est une roche grise pouvant devenir rose lorsqu'elle est particulièrement chargée de feldspaths. Le quartz se reconnaît à l'oeil nu. L'orthose, très importante, présente la mâcle de Carlsbad. La biotite est l'élément coloré le plus important, c'est elle qui donne à la roche son aspect grisâtre.

Au microscope, le quartz est abondant, xénomorphe, parfois à extinction roulante (dans ce cas, les cristaux sont souvent brisés). Les feldspaths sont souvent altérés mais l'orthose est bien cristallisée en gros éléments mâclés, suivant la loi de Carlsbad.

Fig. 1 - Granite à deux micas (biotite dominante sur la muscovite) - Hérival. Dans le quart supérieur droit lamelle automorphe de biotite avec bordure corrodée. Dans le quart inférieur droit lamelle de biotite contenant de petits cristaux d'apatite. L. P. x 60.

Fig. 2 - Granite gris porphyroïde (St-Bresson). Amphibole altérée, chloritisée, associée à des lamelles flexueuses de biotite. Dans le quart supérieur gauche : sphène automorphe. Au centre, dans la partie supérieure, biotite altérée. L. N. x 60.

Fig. 3 - Granite gris porphyroïde. Grandes lamelles de biotite contenant de petits cristaux de zircon ou de xénotime. Dans le quart supérieur droit cristaux automorphes d'apatite. L. P. x 60.

Fig. 4 - Granite porphyroïde à amphibole (Ballon de Servance). Hornblende verte caractéristique où se développe la biotite. Dans la réticulation des clivages, petits cristallites opaques. Les taches sombres correspondent à de faibles auréoles pléochroïques. L. N. x 140.



1



2



3



4

Tableau 1
Composition chimique du granite à deux micas

Echantillonnage	Analyse n° 603 (Lieu-dit le Banc Murger) (904.040 - 340.750 Lambert)	Analyse n° 257 Contre-essai n° 219. (Lieu-dit Prieuré d'Hérival) (413.300 - 131.600 Lambert)
Si O ₂	71	73,17
Al ₂ O ₃	15,67	8,72
Fe ₂ O ₃	0,92	1,78
Fe O	0,84	1,21
Mn O	0,05	0,02
Mg O	0,45	1,21
Ca O	traces	traces
Na ₂ O	3,22	0,13
K ₂ O	5,10	2,16
TiO ₂	0,22	0,51
P ₂ O ₅	0,17	0,72
Paramètres CIPW-LACROIX = I' - (3) 4 - 1' - '3		'II - '2 - 1 - 1'

Les plagioclases sont petits, ils sont représentés par l'oligoclase altéré et séricitisé.

Les biotites, très abondantes, sont la plupart du temps déchiquetées, corrodées (Pl III. fig 2). Des déformations mécaniques ont dû s'exercer dans certains cas, car la biotite est broyée. Elles contiennent de nombreux cristallites d'apatite et de zircon, entourés d'une auréole pléochroïque. Le sphène est également présent (Pl III. fig 2). L'apatite, automorphe, est fréquente (Pl. III. fig 3) entraînant des teneurs importantes en P₂ O₅.

La muscovite est très rare.

Parfois, surtout dans les échantillons provenant de la bordure Est, on peut observer des amphiboles (hornblende verte).

Enfin, le fer provenant de l'altération peut donner quelques amas rougeâtres. La magnétite est parfois présente.

Il existe une relation constante entre la présence du quartz à extinction roulante et les biotites broyées ou flexueuses. Les échantillons où ces caractères s'observent le mieux, sont ceux proches des grands accidents tectoniques.

Tableau 2
Composition chimique du granite gris porphyroïde

Analyse n° 609 : 414 - 122 (414.020 - 122.010 Lambert)	
Si O ₂	67,80
Al ₂ O ₃	14,69
Fe ₂ O ₃	1,42
Fe O	2,70
Mn O	0,08
Mg O	1,98
Ca O	0,30
Na ₂ O	2,41
K ₂ O	5,46
Ti O ₂	0,41
P ₂ O ₅	0,61
Paramètres CIPW. Lacroix : 'II - (3) 4 - 1 - (2) 3	

La composition chimique moyenne de ce granite donne les paramètres (CIPW Lacroix) suivants : $\text{'II} - (3)4 - 1(2)3$ et $\frac{\text{orthose}}{\text{plagioclase}} = 1,5$ correspondant à un granite alcalin. Il est remarquable que la composition chimique varie dans la bordure du contact avec le granite à amphibole. Ainsi la teneur en silice peut décroître avec augmentation concomitante du calcium et magnésium et du fer ferrique, la composition chimique tend alors vers celle du granite à amphibole.

Le granite à amphibole.

Le massif de granite à amphibole occupe une grande partie du secteur. A l'Ouest, les vallées de la Combeauté, de l'Augronne, de la Semouse, permettent son observation. Vers l'Est, il apparaît lié au granite gris porphyroïde dans la région de la Longine-Corravillers-au-Plain et s'étend jusqu'aux Ballons de Servance et d'Alsace.

Macroscopiquement, c'est une belle roche rose à brun grisâtre où le quartz est difficilement visible (ce qui autrefois avait conduit à appeler cette roche syénite des Ballons : elle est exploitée pour ornement sous le nom de Syénite feuille morte).

L'orthose, automorphe, mûlée suivant la loi de Carlsbad, se présente en très gros cristaux ayant jusqu'à 2 cm sur 5 cm. Teintée en rose par les oxydes de fer, elle est souvent moirée (schillérisation). Les autres feldspaths apparaissent blanchâtres et de taille beaucoup plus petite. La biotite est difficilement visible à l'œil nu, mais le fond gris ou noir de la roche est constitué par de l'amphibole en petits cristaux de 2 à 3 m/m.

A l'affleurement on observe souvent des amas irréguliers de pyrite, pouvant quelquefois atteindre une surface de l'ordre du centimètre carré.

Au microscope, le quartz apparaît abondant en cristaux xénomorphes. L'orthose, automorphe, en grands et en petits cristaux, présente la macle de Carlsbad. Elle est parfois en association perthitique avec l'albite. Les cristaux d'orthose sont pour la plupart altérés en damourite et en séricite donnant ainsi une teinte trouble. Les plagioclases sont très altérés (damourite). Ils peuvent se grouper en amas enchevêtrés. Les sections intactes permettent de déterminer un taux d'anorthite de 30%.

L'orthose peut présenter une association microperthitique avec les plagioclases.

Les minéraux ferromagnésiens sont représentés par la hornblende et la biotite.

La hornblende est très abondante. De couleur verte, elle est légèrement pléochroïque. Elle est automorphe ou quelquefois mûlée. Les traces de clivages sont bien visibles. Aux noeuds de ce réseau on observe de petits cristallites noirs formant le centre d'un halo pléochroïque (Pl. III Fig. 4).

Elle s'altère avec libération d'oxyde de fer, soit au pourtour, soit dans le réseau du clivage.

La biotite est beaucoup moins abondante que la hornblende. Elle lui est presque toujours associée. Les lames minces montrent la transformation de la hornblende (Pl III fig. 4) et souvent même, la biotite la pseudomorphose (Pl IV fig. 1). Lorsque ce phénomène est observé, on constate toujours à l'intérieur ou au flanc du cristal envahi, des cristaux de sphène, d'épidote, et des sections carrées, opaques, de magnétite (Pl IV fig. 2 et 3). Il semble bien que l'on se trouve alors en présence d'une biotitisation de la hornblende ; ce phénomène ayant comme résultat l'exsudation des éléments qui ne peuvent pas demeurer dans la structure de la biotite.

Les sphènes sont très nombreux et leur association avec la hornblende en voie de biotitisation a été signalée (Pl IV fig. 3). Ils sont automorphes mais le plus souvent ils se présentent en masses informes. Altérés ils montrent une trame d'ilménite.

L'apatite est également très abondante (p. 150). Elle peut se rencontrer soit dans la hornblende en fines aiguilles, soit dans la biotite de néoformation formant alors le centre de halos pléochroïques.

Les zircons sont très abondants et bien développés. Ils montrent parfois une zonation régulière. Leur place n'est pas indifférente. Ils sont toujours situés près des cristaux de hornblende ou en inclusions dans ceux-ci.

Quelques rares minéraux à très fort relief sont parfois présents. Il s'agirait de grenats.

L'altération conduit à la formation de nouveaux minéraux. La séricite est abondante sur les plagioclases. La chlorite-pennine est bien développée aux dépens de la biotite.

Enfin, on peut observer quelquefois de la calcite sans forme propre. Elle occupe des infractuosités entre des cristaux de toute nature. De ce fait, son origine secondaire est probable.

La composition chimique du granite à amphibole diffère sensiblement de celle du granite gris porphyroïde, bien qu'un passage progressif de l'un à l'autre ait été constaté.

Tableau 3

Composition chimique du granite porphyroïde à amphibole

Echantillonnage	Analyse n° 264 425 - 119 (425 100-119 020 Lambert)	Analyse n° 831 428 - 114 (428 260 - 113 900 Lambert)
Si O ₂	53,31	66,24
Al ₂ O ₃	20,12	14,05
Fe ₂ O ₃	2,60	2,58
Fe O	5,51	1,91
Mn O	0,15	0,08
MgO	4,94	2,25
CaO	3,26	3,06
NaO	2,48	3,95
K ₂ O	3,06	4,32
TiO ₂	0,85	0,54
P ₂ O ₅	0,32	0,32
Paramètres CIPW Lacroix	II (III) - 4' - '3 - 3	(I) II - 4' - 2 - 3'

Les paramètres CIPW Lacroix, tirés du calcul de la norme, montrent qu'une grande variabilité existe. Par exemple l'analyse n° 216 conduit aux paramètres II(III)-4'-'3-3 avec un rapport $\frac{\text{orthose}}{\text{plagioclase}} = 0,5$. Cette roche correspond à un gabbroquartzique. Un autre échantillon analyse n° 831 répond à (I)II-4'-2-3' avec un rapport plagioclase voisin de 0,6 et correspondant à un grano-diorite.

Il semble inutile de multiplier les exemples, mais il est très important de noter que ces granites calco-alcalins peuvent avoir des compositions chimiques variables suivant le point de prélèvement. Ceci est une conséquence du phénomène d'endomorphisme provoqué à un granite semblable au granite gris décrit précédemment, digérant des formations calcifères du dévonien (Michel Lévy-Al.Velain C, 1910). Cette hypothèse est admise avec une certaine réticence par Jung. J (1928) car, pour cet auteur, "elle rend compte de toute une série de coïncidences que les théories de l'intrusion d'un magma indépendant seraient obligées d'attribuer au hasard". (1)

E. Raguin (1946) admet d'emblée cet endomorphisme et il nous semble sage d'utiliser cette hypothèse comme base de travail.

Donc, tout naturellement, seront étudiées les roches caractéristiques de ce phénomène. Il s'agit des diorites et des monzonites ainsi que de la pegmatite associée, rencontrée dans la diorite.

La diorite.

La diorite, dans le secteur étudié, est surtout localisée dans la région de Château-Lambert, dans la partie Est du secteur.

Macroscopiquement, c'est une roche équiaxe, rouge à verdâtre, où le quartz est très difficile à reconnaître. L'orthose, irrégulièrement distribuée, donne une teinte rouge dans les parties où elle est abondante, tandis que l'amphibole (hornblende verte), peut former des amas plus sombres.

L'observation microscopique confirme la rareté du quartz et la faible abondance de l'orthose. Des plagioclases (30 % d'Anorthite) plus petits sont répartis dans la masse.

Les minéraux ferro-magnésiens sont essentiellement la hornblende verte et la biotite qui lui est toujours associée.

(1) La présence de micaschistes et de schistes métamorphiques en enclaves a été reconnue par Gardet (1938) au Nord-Ouest de Château-Lambert (425,100 - 118,900 Lambert).
Nous avons observé en un point voisin (425,300 - 118,900) des enclaves dans le granite. Ce sont des zones mélanocrates ou ne s'observent pas à l'oeil nu de minéraux exprimés. Ces zones paraissent être des schistes noirs profondément transformés (Cornéennes).

Fig. 1 - Hornblende du granite à amphibole presque complètement biotitisée, mais présentant encore les formes cristallines caractéristiques. Remarquer au centre de la préparation un minéral à section carrée (magnétite probablement). Noter également les petits minéraux entourés d'une auréole pléochroïque. L.N. x 140.

Fig. 2 - Résultat de la biotitisation d'une hornblende du granite à amphibole. Les minéraux néoformés (biotite, minéraux opaques à sections géométriques, petits cristaux réfringents de sphène) simulent encore la forme géométrique de l'ancien cristal. L.N. x 60.

Fig. 3 - Association minéraux opaques sphène, épidote, à la suite de la biotitisation granite à amphibole. L.N. x 140.

Fig. 4 - Association pegmatitique d'orthose et de quartz. Microgranite de Bains-les-Bains. Carotte de Sondage 33m L.P x 60.



1



2



3



4

Enfin ces minéraux sont quelquefois altérés : chloritisation des hornblendes et de la biotite, libération d'oxyde de fer, présence de calcite secondaire.

Tableau 4
Composition chimique de la diorite et de la monzonite

	Analyses n° 523-540 Tunnel (Côté Thillot)	Analyse n° 265 (429 900 - 118 010 Lambert)
Si O ₂	51,6	49,28
Al ₂ O	19,11	22,03
Fe ₂ O ₃	4,18	3,34
Fe O	3,61	7,37
Mn O	0,21	0,18
Mg O	5,76	3,66
Ca O	4,29	3,46
Na ₂ O	2,88	2,35
K ₂ O	3,54	2,82
Ti O ₂	0,82	1,18
P ₂ O ₅	0,29	0,41
Paramètres CIPW Lacroix	(II) III - 4 - 1 - 3	(II) III - 4' - '3 - 3

La composition chimique (Analyses n°523-540) vient confirmer tous ces faits et donne les paramètres (II)III-4-1-3 avec un rapport $\frac{\text{orthose}}{\text{plagioclase}}$ voisin de 0,4.

La monzonite.

Il a été possible de reconnaître une roche macroscopique très voisine d'une diorite, cependant le microscope confirme la pauvreté en orthose et l'abondance d'un plagioclase à environ 40 % d'Anorthite. L'épidote est parfois abondante.

L'analyse chimique (n° 265) confirme l'examen microscopique et les paramètres (II)III-4'-'3-3 et un rapport $\frac{\text{orthose}}{\text{plagioclase}}$ voisin de 0,6, permet de conclure à une monzonite.

La pegmatite associée.

Un certain nombre de filons pegmatitiques recoupent le massif de diorite. Ces filons diversement minéralisés en cuivre, molybdène, ont fait autrefois l'objet de tentatives d'exploitation (cf. p.59 et Raguin. E - Jacquemin. E 1946).

C'est à la suite de Burg. G (1942) que nous admettons une liaison de pegmatites avec le granite calcoalcalin. Elles sont précoces par rapport aux pegmatites stricto sensu des granites alcalins. D'après Burg. G, la séquence en est la suivante (pegmatites de granites calcoalcalins) :

tourmaline
cuivre
or-cuivre
titane-cuivre
or
scheelite
molybdénite
rutile
apatite

Certaines phases pouvant être totalement absentes. La pegmatite de Château Lambert correspond bien à cette image, en effet : cuivre (chalcoppyrite), or natif, titane (brannérite), scheelite, molybdénite sont connus.

Il convient cependant d'y ajouter la présence d'uraninite et de mispickel.

Autres formations associées au granite gris ou au granite à amphibole.

Il existe, associés aux deux variétés de granite porphyroïde, un certain nombre de filons de microgranite. N'exécutant pas une étude pétrographique nous n'y avons attaché qu'une importance relative.

a) Microgranite du granite gris.

Un affleurement particulièrement beau est situé en plein massif de granite gris porphyroïde (417,470 - 124,050 Lambert).

La direction du filon est environ N 110° S (E S E).

C'est une roche sombre, grise avec des taches claires dues aux feldspaths. Il est aisé de reconnaître à l'oeil nu de grosses orthoses, de la biotite et du quartz emballé dans une pâte très finement grenue. Le microscope confirme le diagnostic macroscopique et permet de découvrir quelques plagioclases (oligoclase) ainsi que du quartz automorphe et de rares amphiboles.

Tableau 5
Composition chimique du microgranite gris

Echantillonnage = 417 470 - 124 050 Lambert Analyse n° 218			
Si O ₂	60,50	Ca O	2,04
Al ₂ O ₃	17,50	Na ₂ O	2,41
Fe ₂ O ₃	0,79	K ₂ O	5,68
Fe O	4,80	Ti O ₂	0,23
Mn O	0,08	P ₂ O ₅	0,89
Mg O	3,85	Paramètre CIPW-Lacroix II - 4' - (1) 2 - 2 (3)	

Les paramètres CIPW - Lacroix : II - 4' - (1) 2 - 2 (3) avec un rapport $\frac{\text{orthose}}{\text{plagioclase}} = 1,35$ en font un microgranite calco-alcalin, avec une légère tendance plagioclasique.

b) Microgranite du granite à amphibole.

Deux variétés de ce microgranite sont susceptibles d'être rencontrées. En premier, il s'agit d'une roche très nettement cristallisée se présentant (environ du Km 7,5 de la route stratégique), (428.570 - 115.900 Lambert), en filon de direction N 70° E. La roche est gris-rose clair. De gros cristaux d'orthose avec biotite sont dispersés dans une masse finement grenue. L'observation microscopique confirme ce microgranite. Nous ne disposons malheureusement pas d'analyse chimique.

L'autre variété a été rencontrée dans la falaise bordant la route au-dessus de Château-Lambert. Il s'agit d'une roche rose très claire, compacte, à cassure esquilleuse. Elle se présente en filon de direction sensiblement N 70-75° et de 15 à 20 m de puissance. On peut suivre ce filon sur quelque distance et il semble que ce filon se poursuit assez loin vers l'Est. En effet, dans une ancienne galerie du versant vosgien (au lieu dit Les Mines), il a été observé une roche en tout point semblable à celle de la falaise de Château-Lambert.

Macroscopiquement, cette roche a l'aspect d'une rhyolite : rares cristaux de quartz avec orthose de petite taille dans une pâte dont il est difficile de dire si elle est vitreuse ou microcristalline. L'examen à la loupe confirme la présence de lamelles de barytine et de cristaux de fluorine violette tapissant les fissures. De plus, des mouches de molybdénite sont présentes dans la masse.

L'observation microscopique permet de reconnaître d'abondants micro-cristaux de quartz. L'orthose montre de grands cristaux altérés. Les plagioclases, en phénocristaux, ont un taux d'anorthite de 30 %. En microcristaux ils participent à la composition de la pâte.

La biotite est entièrement chloritisée en pennine. La composition chimique est la suivante :

Tableau 6

Composition chimique du microgranite alcalin

Analyse n° 515 426-940 - 117980 Lambert			
Si O ₂	72,13	Ca O	traces
Al ₂ O ₃	16,17	Na ₂ O	2,88
Fe ₂ O ₃	0,89	K ₂ O	5,76
Fe O	1,73	Ti O ₂	0,17
Mn O	0,02	P ₂ O ₅	0,08
Mg O	0,64	Paramètre CIPW-Lacroix I' - '2 - 1 - '3	

Les paramètres CIPW Lacroix tirés de cette composition sont les suivants : I' - '2 - 1 - '3 avec un rapport $\frac{\text{orthose}}{\text{plagioclase}} = 1,67$. Il s'agit donc d'un microgranite alcalin à tendance monzonitique.

Remarques.

Les directions des filons de microgranites correspondent à des orientations prépondérantes dans le massif des Vosges méridionales. Ces directions les plus fréquentes sont N 70° Ouest, N 70° Est, voire même N.S. ou N. 10-15° Est. Or il ne s'agit là que des directions des principales fractures. Ces filons occupent donc des ouvertures d'accidents postérieurs à la mise en place du massif granitique.

La présence de molybdénite dans le microgranite de Château-Lambert confirme cet âge récent qui date, selon toute vraisemblance, du Permien.

c) Microgranite de Bains-les-Bains.

Enfin, pour être complet, il faut signaler la présence de microgranite reconnu dans les sondages pour eau thermale de Bains-les-Bains : niveau 33 m (p. 61).

Il s'agit d'une roche grise à rose où les grands feldspaths sont dispersés dans une pâte grisâtre.

Au microscope, le quartz apparaît en cristaux importants parfois corrodés, de taille environ dix à quinze fois plus grande que celle des micro-cristaux formant le fond de la roche.

L'orthose, altérée, peut quelquefois être mâclée, suivant la loi de Carlsbad. Il faut noter la présence de microcline en association perthitique avec l'albite. Les plagioclases, très rares et très fortement damouritisés, ne permettent pas l'évaluation du taux d'anorthite. La biotite est bien représentée en cristaux sains ou bien elle peut être chloritisée (clinochlore). Le sphène, l'épidote, l'apatite, peuvent y former des inclusions à auréoles pléochroïques.

L'amphibole est une hornblende verte. Elle est fréquente, mais le plus souvent altérée.

Les zircons sont très souvent zonés.

L'altération de la roche conduit à une libération d'une quantité considérable d'oxydes de fer.

La composition chimique fait apparaître l'altération due à la circulation des eaux thermales⁽¹⁾. La haute teneur en potassium est particulièrement remarquable.

(1) Une observation semblable peut être faite sur la composition chimique du granite porphyroïde de Plombières, affleurant dans la galerie de captage des eaux thermales au droit de la source S 10. (Analyse n° 220)

Tableau 8

Composition chimique du granite porphyroïde de Plombières

Si O ₂	63,55	Ca O	traces
Al ₂ O ₃	14,96	Na ₂ O	0,93
Fe ₂ O ₃	2,58	K ₂ O	8,40
Fe O	1,21	Ti O ₂	0,62
Mn O	0,04	P ₂ O ₅	0,70
Mg O	2,43	Paramètres CIPW Lacroix (I) II - 4 - 1 - 1 (2)	

Les paramètres tirés de cette composition conduisent à la formule (I)II-4-1-1(2). Le rapport $\frac{\text{orthose}}{\text{plagioclase}}$ atteint 6,5.

Il est probable qu'il y ait une formation d'un feldspath potassique : (D. E. White, 1955).

Tableau 7

Composition chimique du microgranite du sondage de Bains-les-Bains

Analyse n° 238 Sondage de Bains-les-Bains : 33 m			
Si O ₂	63,79	Ca O	0,89
Al ₂ O ₃	15,34	Na ₂ O	0,54
Fe ₂ O ₃	3,57	K ₂ O	9,48
Fe O	0,86	Ti O ₂	0,52
Mn O	0,03	P ₂ O ₅	0,58
Mg O	1,40	Paramètres CIPW-Lacroix I' - 4 - 1 - 1'	

Les paramètres CIPW Lacroix calculés à partir de cette composition sont I' - 4 - 1 - 1' et le rapport $\frac{\text{orthose}}{\text{plagioclase}} = 10$. Ils montrent bien le caractère d'une altération due à l'action des eaux thermales.

2) Les formations extrusives.

Les roches d'extrusion forment des massifs importants dans la série sédimentaire primaire des Vosges. Ces roches se rencontrent surtout dans les Vosges méridionales (cependant une certaine extension est connue dans les Vosges septentrionales). Ces formations sont particulièrement abondantes et oblitèrent souvent la stratigraphie (fig. 1).

Nous adoptons ici les coupures définies par Michel-Lévy Al.(1910).

Les roches extrusives rencontrées dans le secteur étudié sont situées sur le flanc Nord du synclinal Tournaisien. (Carbonifère inférieur).

L'axe de ce synclinal est constitué de formations plus récentes (Viséen). Il se situerait au Sud de Faucogney, dans la région d'Annegray-Amage (fig. 1).

Ces roches extrusives constituent, dans le secteur étudié, deux unités bien distinctes :

La première, la plus septentrionale dans notre secteur, s'étend en arc de cercle depuis St-Bresson jusqu'au-delà du hameau de la Pile, vallée de l'Ognon ; son extension transversale maximum correspond à la vallée du Breuchin. Cette unité est formée de roches basiques (andésites, basaltes) et des tufs associés.

La seconde, située au sud de la précédente, s'allonge d'Est en Ouest depuis la vallée du Radon (Commune de Raddon), jusqu'au-delà de la vallée de Servance. Les roches qui la constituent sont plus acides : trachytes et rhyolites accompagnés de tufs. Ces dernières dominent les premiers dans le secteur étudié et il semble que l'on puisse parler de microgranites plutôt que de rhyolites.

Bien que ces roches n'aient pas retenu essentiellement notre attention, leurs principaux caractères sont brièvement les suivants :

a) Roches basiques

Macroscopiquement, ces roches sont de couleur sombre, vert à brun noir. Elles sont denses et compactes. Seuls quelques phénocristaux sont discernables à l'oeil nu, disséminés dans une pâte amorphe.

Le microscope permet de déceler quelques rares cristaux de quartz à extinction roulante. Ce dernier peut aussi tapisser des fissures. L'orthose est présentée en fines baguettes et se groupe suivant la loi de Carlsbad. Les plagioclases sont disposés en tous sens, parfois ils sont broyés. La calcite s'observe également, elle peut se grouper en amas enchevêtrés. Les minéraux sombres sont abondants : magnétite, limonite, titano-ilménite (?).

Certaines sections minces montrent des sphérolites de minéraux secondaires. Ces amas correspondraient aux bulles de la lave occupées par la suite par des minéraux de néoformation difficilement identifiables.

La taille des cristaux de plagioclase et leur altération importante ne permet pas de déduire le taux d'anorthite.

Dans d'autres lames minces, l'augite, le diopside, peuvent être observés. La plupart du temps ces minéraux sont ouralitisés. La composition chimique confirme le caractère franchement basique de ces roches.

Tableau 9
Composition chimique des roches basiques extrusives.

Echantillonnage	Analyse n° 1003 (411,040-118,080 Lambert)	n° 1019 (413-117,850 Lambert)	n° 961 (417,030-117,040 Lambert)
Si O ₂	43,92	53,63	49,60
Al ₂ O ₃	18,90	15,64	15,87
Fe ₂ O ₃	6,73	6,15	7,23
Fe O	7,03	4,64	6,43
MnO	0,24	0,12	0,17
MgO	6,63	3,57	4,43
CaO	3,90	5,50	5,90
Na ₂ O	3,75	5,70	3,65
K ₂ O	0,60	0,40	0,85
TiO	2,76	1,82	2,52
P ₂ O ₅	0,57	0,30	0,32
Paramètres CIPW-Lacroix	II (III) - 5 - 3 - 1'	II - 5 - (2) 3 - 5	II - (4) 5 - 1 (2) - 4 (5)

Les paramètres CIPW Lacroix tirés des résultats de la première analyse permettent donc de dire que l'on se trouve en présence d'un basalte II (III) - 5 - 3 - 1'.

La seconde donne la formule II-5-(2)3-5 correspondant à une andésite.

La troisième analyse fournit II-(4)5-1(2)-4(5) caractéristique elle d'un trachyte alcalin.

b) Roches acides

Sur le terrain ces roches contrastent avec les précédentes. De couleur claire, rouge brique, rose à grise, elles forment des massifs qui montrent un débit prismatique (par exemple au Sud de Servance, lieudit les Etroitures). Ces roches, sur le terrain, forment souvent des falaises ayant à leur pied des éboulis stériles.

Les divers échantillons recueillis permettent de reconnaître des phénocristaux d'orthose de 2 à 3 mm disséminés dans une masse apparemment amorphe.

Le microscope décèle le quartz en petits cristaux à extinction roulante souvent corrodés ou bordés d'une pellicule d'oxyde de fer. L'orthose, en petits ou grands cristaux, est altérée en damourite et séricite. Elle est souvent corrodée.

Les plagioclases (eux aussi altérés) sont quelquefois brisés et recouverts de paillettes de damourite. Ils peuvent présenter simultanément la macle de l'albite et celle de Carlsbad. Les cristaux ayant une taille un peu plus importante ont révélé un taux d'anorthite de 30 %.

L'apatite est rare, mais la magnétite est abondante accompagnant ilménite et limonite.

Une remarque nous semble importante : le fond supportant les phéno-cristaux apparaît comme une transition entre une substance vitreuse et une formation microcristalline.

Certaines lames taillées dans les roches de cette formation montrent nettement le caractère microcristallin de la pâte. Il semble bien que l'on puisse admettre ici que nous nous trouvons en présence de rhyolites dévitrifiées passant à un microgranite caractéristique.

La composition de ces roches vient confirmer en tous points le diagnostique optique.

Il s'agit donc de microgranites alcalins où souvent la soude domine la potasse.

Tableau 10
Composition chimique des roches acides extrusives.

Echantillonnage	n° 867 (410.070-116.070 Lambert)	n° 1017 (411.940-116.840 Lambert)	n° 870 (413.950-114.960 Lambert)	n° 963 (419.890-113.840) Lambert)
Si O ₂	68,33	67,65	64,33	68,60
Al ₂ O ₃	17,32	15,91	18,43	15,02
Fe ₂ O ₃	1,48	2,18	3,54	1,66
Fe O	1,17	2,23	3,11	4,17
MnO	0,04	0,08	0,06	0,12
MgO	0,41	1,17	1,22	0,82
Ca O	0,15	0,52	0,15	0,25
Na ₂ O	5,00	4,45	3,85	4,70
K ₂ O	3,70	4,35	3,65	2,40
Ti O ₂	0,22	0,47	0,66	0,67
P ₂ O ₅	0,18	0,19	0,12	0,23
Paramètres CIPW-Lacroix	II - 4' - 1 - '4	I (II) - 2 - '3 - 3 (4)	II - 3' - 1 - 3	I (II) - '4 - 1 - 4

En conclusion, les roches extrusives de Tournaisien montrent deux formations différentes, l'une basique, l'autre acide.

Roches acides permienes.

Enfin, pour compléter cette étude, il faut parler des roches éruptives acides permienes du Val d'Ajol. Il s'agit de rhyolites bien développées, en particulier à la cascade de Faymont. Ce sont des roches roses très claires où l'orthose et le quartz, parfois pyramidé, sont disséminés dans une pâte amorphe. Le microscope confirme la texture vitreuse du fond de la roche.

Les extrusions de ces rhyolites permienes sont beaucoup moins importantes que les microgranites Viséens. Nous n'avons d'ailleurs recueilli que peu de renseignements sur ces formations de la fin du Primaire.

Pour clore l'esquisse géologique et pétrographique de la région étudiée, il semble qu'un tableau permettrait de mettre mieux en évidence les relations des diverses formations lithologiques rencontrées au cours de l'étude (Tableau 11).

D - LES ZONES MINERALISEES ET LES EAUX THERMALES.

Sous cette rubrique sont groupées les données recueillies tant par nous que par les différents auteurs ayant étudié cette région. Elles concernent les filons minéralisés et les eaux thermales, ces dernières étant considérées comme des agents importants de transport et d'accumulation d'éléments souvent dispersés à l'état de traces. Ici encore, l'ordre géographique suivi va d'Ouest en Est.

1) Zones minéralisées.

a) Région de Bains-les-Bains.

Au Sud de Bains-les-Bains, à environ 4 km, à proximité du hameau des Trémeures, dans une carrière de grès bigarré, on peut reconnaître les parties supérieures d'un filon minéralisé.

Ce filon, de direction N 60° E et de pendage 80° Ouest, est encaissé dans le niveau supérieur du grès à Voltzia. Ce dernier est très fortement silicifié au voisinage du filon.

La tectonique semble avoir joué un grand rôle. En effet, la trace de la faille des Trémeures-Fougerolles (p. 15) est très marquée dans une petite carrière proche de celle où le filon a été reconnu. Les blocs y sont fracturés et le front de taille laisse apparaître les fissures de mêmes directions que la faille (Pl. I Fig. 2). Le filon, de ce fait, semble occuper une fracture sensiblement orthogonale à la grande faille, mais sans rejet ou déplacement vertical (Pl. V fig. 1 et 2).

Tableau 11
Histoire géologique des Vosges du Sud

ETAGES GEOLOGIQUES	SEDIMENTATION-EROSION	VOLCANISME	PLUTONISME	PHASES TECTONIQUES	REMARQUES
Tertiaire	Vallée du Rhin	Basaltique		Alpine Effondrement vallée du Rhin, de la Saône	Tectonique cassante dont l'influence est certaine dans la ré- gion qui nous inté- resse.
Jurassique-Crétacé					
Trias { Keuper Muschelkalk Grès bigarré					
	Discordance				
Permien { Sup. Thuringien	Lacune (Val d'Ajol)				
	Grès, argilite.	Rhyolitique		Phase saalienn °	Tectonique cassante
	Inf. Autunien				
	Stéphanien				
	Lambeau Houiller (Val d'Ajol) Bassin Ronchamp				
	Discordance				
Sup. { Westphalien	Lacune			Phase asturienne	Exhaussement (Emersion)
	Grauwacke (Bassin de Ronchamp)		Granite à 2 micas (?)	Phase sudète	
	Namurien				
	Viséen	Orthophyres labradorite			
	Poudingue Arkose (Avaux)				
	Discordance				
Inf. { Dinantien	Schistes noirs à plantes (Oderen, Bussang)	Orthoalbito- phyres (Amont, Servance)	granite gris porphyroïde et granite porphyroïde à amphibole Roches ver- tes Diorites	Phase bretonne °	Le Tournaisien est métamorphisé mais pas le Viséen.
	Tournaisien				
	Discordance				
	Calcaires et schistes (Bois de la Thure) Chagey		Diabase		
Dévonien { Supérieur					
	moyen				
Archéen Silurien					Inconnu dans la région étudiée.

Ces deux phases sont probablement les plus intenses et les plus importantes.

Fig.1 - Trace du filon de Quartz des Trémeures. (Plan de la photo : N 120° E. - Carrière communale de Trémonzey).

Fig.2 - Filon de Quartz des Trémeures. Le grès est fortement silicifié. Dans les fissures ouvertes, le quartz est pyramidé. Plan de la photo : N 120° E. Carrière communale de Trémonzey.

Fig.3 - Quartz enfumé zoné du filon de Quartz de Trémeures. Grandeur naturelle. Carrière communale de Trémonzey.

Fig.4 - Cristaux de pyromorphite tapissant une cavité provoquée par la dissolution d'un cristal de fluorine. $\times 10$. Filon des Trémeures. Carrière communale de Trémonzey.



1



2



3



4

La minéralisation comprend, des épontes vers l'axe :

1) du quartz saccharoïde carié, vacuolaire, dont les vides cubiques correspondent à la fluorine cristallisée et dissoute ; des vides tapissés par

2) du quartz de deuxième génération, pyramidé. Ce quartz, bien cristallisé, est fortement développé dans l'axe du filon, engrainé comme "des dents de requins". Il est enfumé sur les "pyramides terminales (Pl V. Fig. 3). Les vides sont occupés par de la pyromorphite (Pl V-fig. 4) des oxydes de manganèse en sphérolithes, des oxydes de fer ; limonite ocre ou jaune, de l'argile blanche ou brunâtre (1).

Il s'agit donc du chapeau de fer d'un filon sulfuré à galène (peut-être d'autres sulfures) et à gangue de quartz et de fluorine.

A proximité de la tranchée de la voie ferrée d'Epinal à Belfort, aux environs du point kilométrique P K 78, a été recueilli un placage de barytine crêtée sur du microgranite. Il a été possible de reconnaître pyromorphite et galène, avec quelques cristaux de fluorine.

Enfin, dans cette région de Bains-les-Bains, au Nord du village de Clerjus, un autre filon minéralisé a été reconnu. Encaissé dans le niveau supérieur du grès à Voltzia, sa direction est N 65° E et de pendage 80° N.E. La minéralisation est constituée par du quartz carié à empreinte de fluorine. La pyromorphite est également présente. La paragenèse semble en tout point semblable au filon des Trémeures. Toutefois l'extension en est plus restreinte (Pl. VI fig. 1 et 2).

Le relevé des directions des plans de diaclases reportées sur un canevas de Schmidt, fait apparaître pour le filon de Trémeures un effort d'extension dirigé N.O. Celui du Clerjus montre un effort dirigé S.E. c'est-à-dire en un sens contraire. Ceci tendrait à confirmer le fait d'avoir considéré le plateau de Haudompré-Noirmont comme un môle.

b) Région du Val d'Ajol.

Cette région est fort complexe (p. 19). Les filons minéralisés, assez nombreux, viennent encore ajouter à cette complexité.

C'est dans cette région qu'a été découverte, dans les grès permians, une minéralisation en Autunite décrite un peu plus loin dans un paragraphe concernant les minéralisations uranifères (p. 79) (Pl VI fig. 3).

Les filons minéralisés, succinctement décrits ici, ont été découverts antérieurement.

1) Filon de quartz et minéralisation associée de la Vallée des Roches.

Ce filon est situé à environ 1 kilomètre au Nord de Faymont. Il barre la Vallée de la Combeauté qui a dû se creuser un passage en forme de cluse.

Ce filon de quartz recoupe les grès permians et le granite. Au S.E., le grès est très fortement imprégné de silice, tandis qu'au N.O. le granite est écrasé et broyé.

Relativement long, il s'étend du Nord des Aubeux jusqu'à la maison forestière du Sogard. Il forme ainsi le versant Sud du Bois de Chanot Arroux et, après la cluse de la Combeauté, le versant Nord du bois de la Vêche. Cette longueur est sensiblement de 1 km. La puissance est variable, mais voisine de 100 à 120 m. La direction est N 58° - 60° E et le pendage subvertical.

Le quartz est blanc laiteux, veiné de rouge, parfois des géodes montrent des cristaux jaunes, améthystes, rarement enfumés.

Contre le flanc N.O du filon quartz, s'appuie un filon de fluorine. La puissance en est de quelques centimètres à environ 2 m avec une direction semblable à celle du filon de quartz et de pendage S.SE. La fluorine est verte, bleuâtre, quelquefois incolore, très rarement violette.

La fluorine montre une légère minéralisation de cuivre : bournonite, cuivre gris, chalcoppyrite, malachite, ainsi que pyrite et des oxydes de manganèse.

Elle a été exploitée par une petite mine. Des travers blancs de direction N.O - S.E, étagés, coupent le filon, tandis que des recoupes tracées au minerai le suivent. (Chermette 1950).

Enfin, il est nécessaire de mentionner la présence de 3 filons de barytine, plus ou moins associés au filon de quartz.

(1) Il s'agirait peut-être du filon de quartz "que Monsieur Saur a trouvé à une heure de Bains, près de Fontenoy et dont il a retiré un grain d'or par gros en 1764". (Chronique ancienne des environs de Bains : Archives du Service des Mines de Belfort).

Fig. 1 - Filon de quartz du Clerjus. Remarquer la dislocation du grès dans une zone fracturée. (Plan de la photo N 130° E. Carrière de Clerjus).

Fig. 2 - Quartz carié à empreintes (boxworks) cubiques de fluorine. (b w) (Carrière du Clerjus).

Fig. 3 - Site du "gisement" d'autunite du Val d'Ajol. Un lambeau de grès permien au pied de l'escarpement des grès triasiques renferme la minéralisation uranifère. (Plan de la photo E.O. Chemin de la Brasserie, Val d'Ajol).

Fig. 4 - Site du filon de quartz de la Vallée des Roches. Le filon est à droite. La tache claire correspond aux haldes de l'exploitation du filon de barytine accolé au filon de quartz. (Plan de la photo N.S. - Le Haut du Seux).



2



4



1



3

Le premier semble naître dans la région des Aubeux, traverse le permien silicifié et en s'infléchissant vers le N, vient se plaquer contre l'éponte S.E du filon de quartz. La barytine est blanc-rosée (oxyde de fer), très rarement crêtée. La puissance est variable, elle croît du S.O au N.E.

Les deux autres sont situés au N.O des filons de quartz et de fluorine. La direction en est N. 48° E. Le pendage est subvertical. Ils recoupent la masse de fluorine. Ils font l'objet d'une petite exploitation utilisant les travaux exécutés pour la fluorine. Actuellement, la production atteint 400 à 450 T. par mois. (Pl. VI fig. 4).

2) Filon de Hamanxard.

Cette formation minérale s'étire depuis le Hamanxard jusqu'au-dessus du hameau des Chênes.

Elle est encaissée dans le granite et dans le grès. Sa direction est sensiblement N 30° O, et le pendage est subvertical. La puissance est de l'ordre de 2 m. Elle est constituée par du quartz blanc broyé et recimenté par de la calcédoine rouge (1).

La minéralisation est surtout constituée par des oxydes de manganèse au SE, de l'oligiste vers le NO ; vers le NO s'ajoute d'ailleurs de la barytine.

Il est remarquable que la direction N 30° O, est sensiblement la même dans le gîte de manganèse de Saphoz (p. 52).

3) Filon des Mousses.

Au SE des Mousses, en bordure de l'ancienne route départementale du Val d'Ajol à Corravillers, on rencontre deux amorces de travers-bancs exécutés sur un filon de quartz et fluorine. Il est encaissé dans un granite à grains fins, à enclave de micaschistes, avec aplite et pegmatite à tourmaline. Une brèche de granite fin, rubéfiée et silicifiée, accompagne ce filon.

La direction est voisine de N 25° E, avec pendage 75° SE. La puissance est variable : 0,5 à 2 m.

La minéralisation est essentiellement constituée par du quartz blanc géodique, de la fluorine incolore ; la galène est disséminée dans la masse de la fluorine avec quelques mouches de chalcoppyrite et des oxydes de manganèse lamellaires sont disposés dans des fissures. Une tentative d'exploitation pour fluorine a été exécutée, mais la fluorine est trop riche en quartz.

Pour en terminer avec la région du Val d'Ajol, il faut citer encore la recherche pour vanadinite. (L. et H. Longchambon - 1932). Cette zone minéralisée est située à environ 3,5 km au N de Faymont, plus précisément sa trace coupe le chemin forestier à 200 m au Nord de l'ancien prieuré d'Herival.

Le filon, découvert par M. Romary, a fait l'objet en 1935 d'une tentative d'exploitation par la Société UGINE, (Hames, 1935), et il subsiste actuellement un travers-banc accessible d'environ 45 m.

La roche encaissante est un granite très altéré (presque arénisé) et broyé. Les biotites sont chloritisées.

Le filon, de très faible puissance, 3-10 cm, a une direction N.S et plonge de 75° vers l'E.

La minéralisation est constituée essentiellement de vanadinite, de pyromorphite, de mimétèse (minéralisation supergène) emballant des nodules de galène, (minéralisation hypogène) en voie d'altération.

La fluorine qui l'accompagne est violette et nous avons reconnu du quartz très fortement enfumé. Le remplissage de la caisse filonienne est constitué par une brèche argileuse.

c) Région de Saint-Bresson et Faucogney.

1) Filon manganésifère de la Broche (Commune de St-Bresson).

Il ne s'agit, en fait, que d'indice situé à 1 km environ à l'O.SO de St-Bresson (Hte-Saône). Ce filon est encaissé dans le granite gris porphyroïde ; il est orienté sensiblement N 50° E, avec un pendage 70° NO.

(1) Au delà de la Combeauté, vers le N.O, cette fracture minéralisée se transforme en faille. L'influence géomorphologique est importante : le tracé de la faille correspond au ravin de Pulnoux.

La minéralisation est constituée par du quartz avec un peu de fluorine, l'oligiste et les oxydes de manganèse en constituent les éléments utiles.

2) Filon plombifère et cuprifère de Rovillers (Commune de St-Bresson).

Ce filon est situé à 1,5 km à FE-NE de St-Bresson, à proximité du hameau de Rovillers.

Il a une direction N 60° Ouest, avec un pendage 70° NO. Une galerie encore accessible le suit et recoupe un autre filon de quartz et de fluorine de direction N 40° E subvertical.

Il est encaissé dans le granite gris porphyroïde à la limite de l'auréole d'andésite. Karpinski (1931) signale l'antériorité de l'andésite par rapport au granite.

Ce filon est connu depuis longtemps: Jurain C.C (1716) le cite comme ayant fait l'objet d'exploitation dans le passé. De Gensanne (in Thirria) l'a fait exploiter aux environs de 1756. Plusieurs essais d'exploitation ont été tentés dans un passé assez récent (Thirion, 1935). A l'heure actuelle, il fait l'objet de recherches pour fluorine.

Le premier filon a une puissance de 0,50 m. La minéralisation est essentiellement fluorée avec un peu de quartz postérieur à la fluorine. On peut voir, en effet, des moulages en creux de la fluorine par du quartz (Boxwork).

Cependant, on trouve de la galène disséminée dans la fluorine. Les minéraux supergènes sont surtout la pyromorphite, mais aussi la vanadinite (L.Longchambon (1)). La fluorine noire a été reconnue par nous dans certains échantillons.

3) Les filons manganésifères de Saphoz près Faucogney (Hte Saône).

Ces gisements sont situés à 2,5 km au NE de la petite ville historique de Faucogney. Il semble qu'ils soient connus depuis fort longtemps, puisque Thirria cite une exploitation datant de 1805. Diverses autres tentatives d'exploitation ont été exécutées, mais toutes sans succès. La dernière date de 1930. Une étude a été publiée par Thirion en 1935 (b), à l'occasion du Congrès International des Mines. Les diverses tentatives d'exploitations ont été évidemment effectuées en des points différents, si bien que l'on dispose d'un certain nombre de "regards" sur cette zone minéralisée.

Au Nord du système minéralisé, à l'Est du hameau de Es Mottes, des petits travaux de surface et des galeries ont découvert le filon. Il a une direction N 35° 0 et un pendage subvertical ; la puissance en est faible : 0,50 m.

Il s'agit en fait d'un stockwerk : chevelu de filons de faible puissance, contenu dans un énorme filon de quartz. La roche encaissante est : soit le granite porphyroïde (galerie de l'étang Corveraine), soit l'andésite (Fig. 3). Un rapide inventaire des travaux accessibles permettra de dégager les caractères de cette minéralisation.

La minéralisation est essentiellement du minerai de manganèse compact (pyrolusite, psilomélane, acerdèse, manganite avec barytine), du manganèse terreux (Wad) remplissant des fissures. La barytine est assez abondante, massive ou bien cristallisée. Le quartz et la calcédoine forment les autres gangues. On note encore la présence de fer oligiste. Au-delà de 6 m de profondeur, les oxydes n'existent plus et le filon est rempli de carbonates complexes non altérés : ankérites.

Vers le Sud, le filon prend une direction N 50° O, avec léger pendage Est. Les oxydes de manganèse disparaissent rapidement en profondeur, tandis qu'en surface la barytine en tablettes ou en veines, la calcédoine, forment les gangues.

Des travaux plus récents, au lieu-dit "Le Volcan" ont reconnu le filon vers le Sud. La direction est NO-SE, avec pendage 70° SO. La puissance est de l'ordre de 1 m. La minéralisation est constituée en profondeur par des carbonates (type ankérite) et des oxydes. Le quartz et la calcédoine en constituent la gangue.

Au Sud-Ouest, un puits a reconnu un stockwerk.

Près de l'étang Corveraine, des travaux accessibles (galeries) permettent de reconnaître un filon de direction sensiblement NO-SE, avec pendage 45°-50° O. La puissance est de l'ordre de 30 cm.

Un autre filon a été exploré par galerie au lieu-dit "la maison Toinot". Il est dirigé N 35° O, avec pendage 65°-70° O. Sa puissance semble augmenter avec la profondeur ; elle est de l'ordre du mètre.

(1) Documentation = Service des Mines à Belfort.

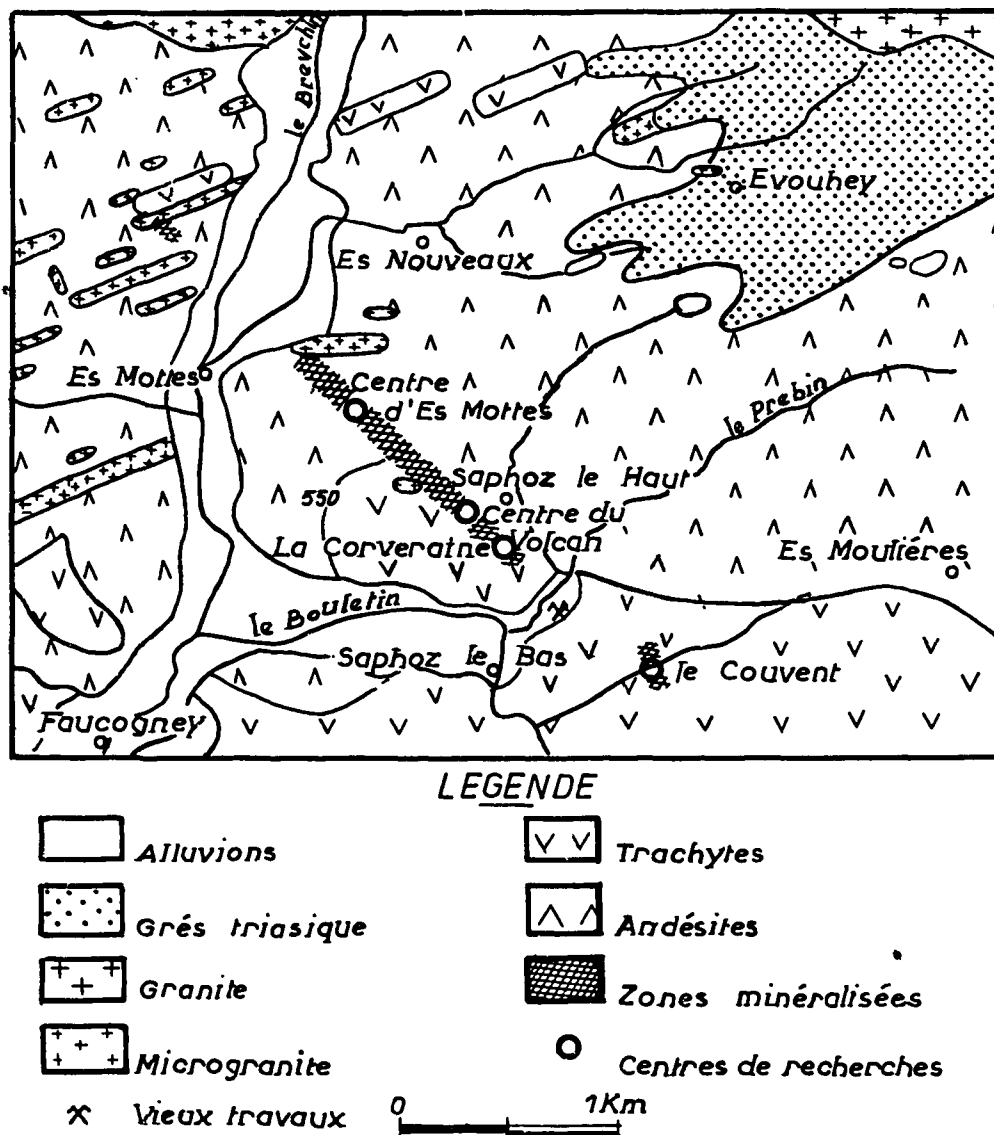


Fig.3 - Esquisse géologique de la région de Faucogney - Saphoz (d'après Karpinski, Lougnon et nos propres observations).

En profondeur les oxydes font place aux carbonates complexes. La gangue est quartzeuse (calcédoine) avec barytine.

D'autres travaux existent encore dans ce secteur. A Saphoz-Bas, une galerie en arc de cercle (travers banc Keller) d'environ 150 m est encore facilement accessible.

Au lieu-dit "le Couvent", des travaux ont reconnu le filon. La direction est NO-SE, avec un pendage 70° 80° . La puissance est de l'ordre de 1 m. Il s'agit d'oxydes avec gangue de barytine.

En conclusion, tous ces indices tendent à définir une zone minéralisée (Stockwerk) de direction générale NO-SE. En surface, la minéralisation est essentiellement oxydée : oxydes de manganèse (psilomélane, acerdèse, manganite), oligiste et hémaïte. La gangue est siliceuse : quartz et calcédoine avec de la barytine.

En profondeur, les travaux souterrains montrent les carbonates, ankérite principalement. Plus loin (p.183) sera défini le rôle que peut jouer cette minéralisation dans la concentration de l'Uranium.

d) Région du Ménil (Servance) et du Baudy (près du Col des Croix).

1) Le gîte filonien du Ménil est situé à 1 km au N de Servance, sur le flanc NO du Mont Ménil. Ce filon est situé à proximité du contact de "rhyolithe" et de l'andésite.

Il s'agit d'un filon de quartz de direction NE-SO, obliquant à N 80° E. Le pendage est sub-vertical à 70° N. La puissance est de l'ordre de 2 m.

Les minéralisations sont constituées surtout par de l'oligiste en masses difformes, mêlé à de l'hématite et aux oxydes de manganèse. La barytine est abondante, elle accompagne le jaspe et le quartz.

2) Gîte plombifère du Baudy. Cette minéralisation est connue depuis longtemps, puisque de Gensanne, en 1756, exécutait un rapport sur ces mines (in Thirria). La fluorine a fait l'objet d'exploitation épisodique jusque vers 1930.

Ce gîte plombifère est situé à environ 2,5 km à l'O.NO. du Col des Croix. Le filon est contenu dans un petit massif de diorite et de monzonite sur la bordure S.O du batholite de granite du Ballon de Servance.

Les travaux sont actuellement très difficilement accessibles, cependant il est facile de relever une direction N.S. (N 10° E) et un pendage subvertical.

La minéralisation est essentiellement constituée par de la galène en mouche dans de la fluorine bleue très claire ou incolore, parfois verte, rarement lilas ou mauve. La blende claire a été parfois rencontrée.

e) Zone minéralisée du Col des Croix et du Ballon de Servance.

1) Col des Croix : Le Thillot - Château-Lambert.

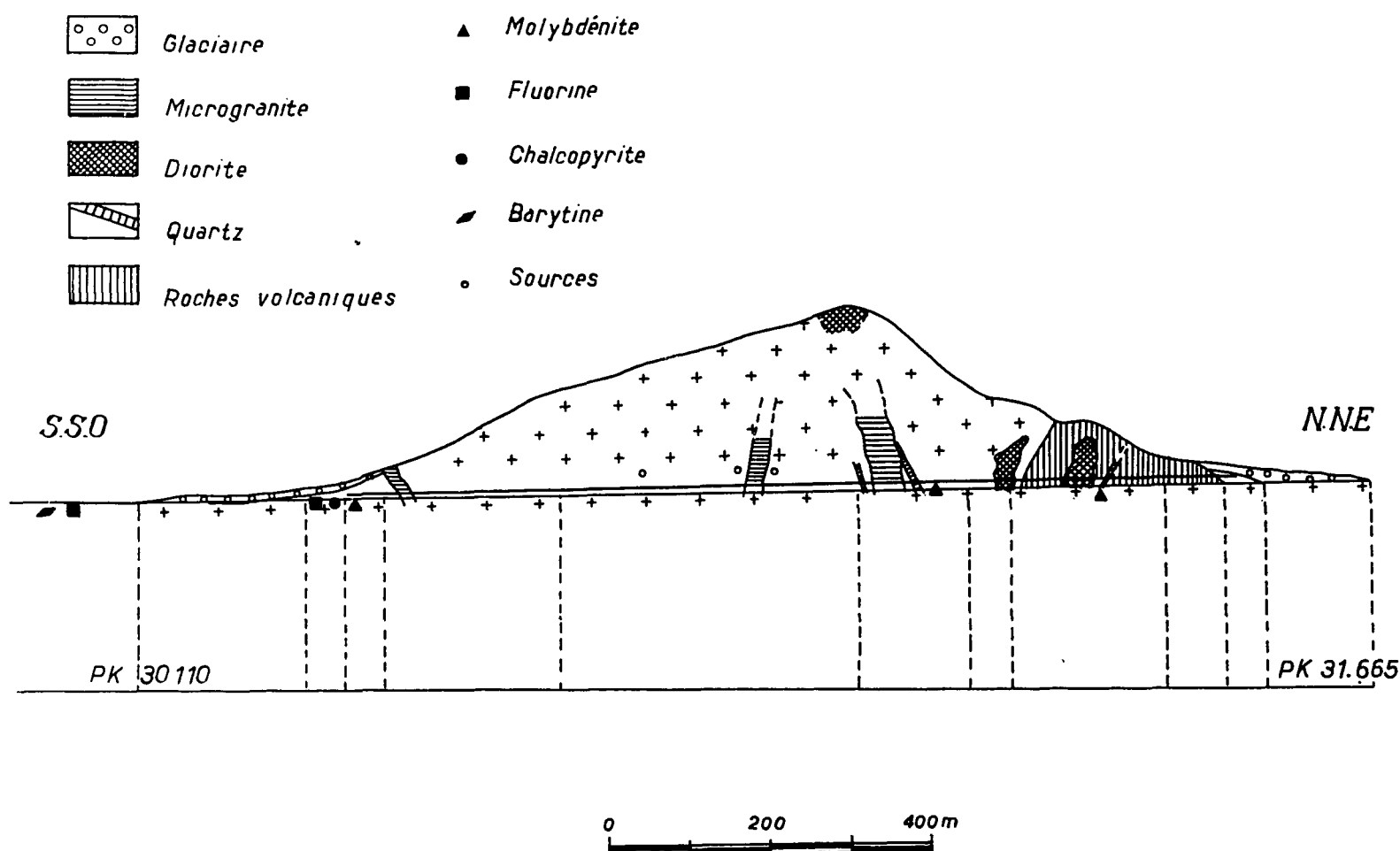


Fig. 4 - Coupe géologique du tunnel du chemin de fer d'intérêt local de Lure (Hte-Saône) au Thillot (Vosges) à Château-Lambert, dressée par C. Cardot. 1913.

Cette zone minéralisée est située à cheval sur la limite des anciennes provinces de Lorrain et de Franche-Comté, c'est-à-dire, sur la ligne de partage des eaux du Bassin Rhénan (drainées par la Moselle) et du Bassin Rhodanien (drainées par l'Ognon).

Les filons minéralisés ont été exploités depuis fort longtemps. Sur le versant Franc-Comtois, les travaux ont été fort actifs sous Philippe II d'Espagne.

De Gensanne entreprit en 1734 le creusement d'une galerie d'écoulement d'orientation sensiblement E-NE, aboutissant vers la côte 660, sous le tertre portant l'église de Château-Lambert.

Cette exploitation fut reprise à des temps différents et la dernière en date, ne s'attachant pas à la mine elle-même, traita les haldes, très abondantes, pour en séparer la molybdénite.

Cette zone minéralisée est située dans un massif de diorite, à proximité du contact de cette dernière avec le granite porphyroïde à amphibole. Ces diorites semblent être le résultat de la digestion de roches plus basiques par le granite (p. 33).

De grands filons de pegmatite recoupent ces diorites et constituent le gîte.

Au nombre de 6, sensiblement parallèles, ils sont orientés NO-SE et le pendage est S.O 60° à 70°.

La pegmatite est plus ou moins quartzreuse. L'orthose souvent rubéfiée est abondante, par contre l'albite est rare. La chlorite est le témoin du mica noir, normalement présente, mais altérée.

La molybdénite apparaît associée au feldspath ainsi qu'au quartz. La molybdénite forme également des enduits sur les salbandes.

D'autres sulfures : pyrite et chalcopryrite, accompagnent la molybdénite. Ces minéraux semblent plus abondants lorsque la pegmatite montre des lentilles de calcite (1). Uraninite et brannérite constituent la minéralisation uranifère de la pegmatite.

En observant les échantillons recueillis sur les haldes, il semble que l'on puisse établir l'ordre suivant dans les minéralisations :

- 1) Feldspath.
- 2) Quartz et mica.
- 3) Calcite.
- 4) Pyrite et Chalcopryrite.
- 5) Molybdénite.
- 6) Calcite d'altération (peut-être fluorine).

La présence de scheelite a également été signalée (Geffroy J., 1953).

Pour ajouter à la complexité déjà grande du secteur, il faut mentionner un filon de microgranite que nous avons reconnu au bord de la route stratégique, près des dernières maisons de Château-Lambert. Ce microgranite contient de petites mouches de molybdénite avec, de plus, fluorine violette et barytine. Un semblable filon a été reconnu dans la portion accessible du filon de Mairielle (lieu-dit "Les Mines"), recoupant la pegmatite minéralisée.

Il est à noter que le B.R.G.M. (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) a tenté une reconnaissance de la partie Ouest de la zone minéralisée. Cette reconnaissance avait comme point de départ (à peu près au tiers N), le tunnel de l'ancien tramway de Lure au Thillot. Deux petits travers-bancs, en direction de la grande faille, ont été tracés, mais semblent ne pas avoir permis de recueillir d'indices intéressants.

Le plan ci-joint (fig. 5) synthétise tous les renseignements recueillis tant par nous au cours de nos visites dans les travaux encore accessibles, que par les équipes du C.E.A. ou les travaux de recherches du B.R.G.M.

2) La Fonderie. Cette aire minéralisée, de faible extension, est située à l'Est du village du Haut-du-Them, à 1 km à l'est du hameau de Mouhémont.

Il s'agit d'un filon de manganèse encaissé en plein granite porphyroïde à amphibole. Il occupe une fracture N°75 E (orientation déjà reconnue pour la grande faille limite de Château-Lambert).

Subvertical, ce filon a une puissance d'environ 1 m. La minéralisation est essentiellement constituée par des oxydes de manganèse et de l'oligiste. La gangue est constituée par la barytine et la fluorine (souvent dissoute) accompagnées de quartz et de calcédoine. Des petits travaux ont fait apparaître en profondeur le carbonate complexe : ankérite.

(1) Mentionnons la présence de Gentiana lutea (Linné) en 429 300 - 114 400 Lambert (Pl. VII, fig. 3). Cette présence insolite dans un massif granitique - la gentiane jaune est calcicole - pourrait s'expliquer par la présence d'enclaves calcaires non digérées, ou la libération de calcium, (calcite) au cours de processus d'altération des amphiboles.

Malyuga (1958) considère la gentiane comme une espèce tendant à accumuler le molybdène et serait le traceur de ce métal.

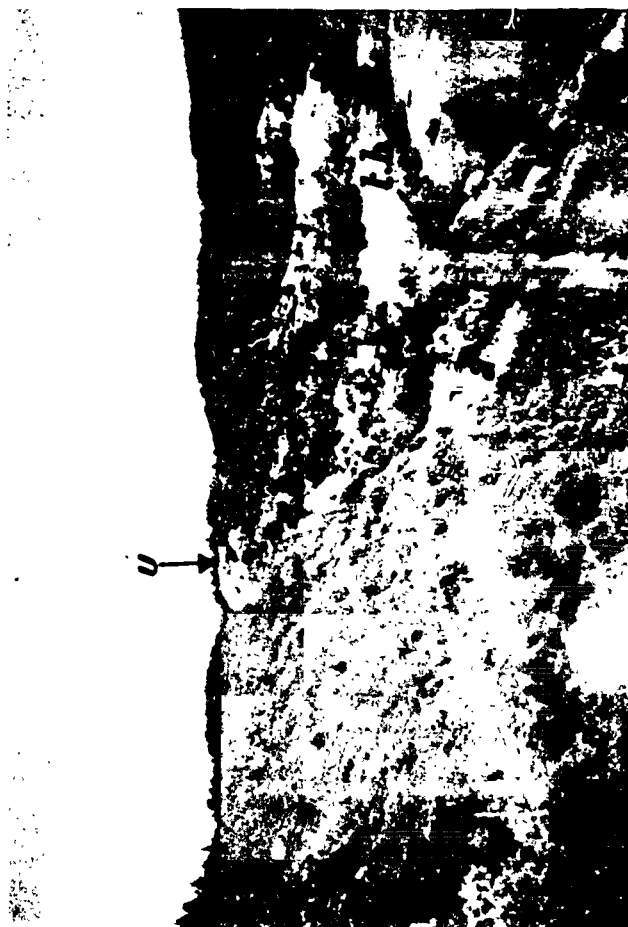
Ne s'agirait-il pas là du phénomène inverse ? La gentiane spécifiquement calcicole coloniserait les enclaves calcaires non digérées au cours du métamorphisme endomorphe et des phénomènes connexes (pyrométasomatisme) qui, on le sait, sont à l'origine de la concentration du Molybdène.

Fig.1 - Site des anciennes mines de Fer du Ménil (premier plan), à l'arrière-plan, à droite, le Mont Cornu. (Plan de la photo N.S. - Les Cotes de Servanceuil).

Fig.2 - Site des anciennes mines de molybdénite et chalcoppyrite de Château-Lambert. L'entrée du travers-banc se trouve sous l'éperon rocheux qui supporte l'église (t.b). Les vestiges de l'atelier qui traita les haldes pour récupérer la molybdénite se trouve au premier plan (a). Au centre, derrière la crête, se trouvent les haldes à uraninite (U). (Plan de la photo N.S. - Falaise de la Cote 763 - Col des Croix).

Fig.3 - *Gentiana lutea* (Linné) à proximité de l'ancienne table d'orientation. Ballon de Servance.

Fig.4 - Section carrée de fluorine violette avec lamelles de barytine. Microgranite de Château-Lambert. Photo directe x 5.



2



4



1



3

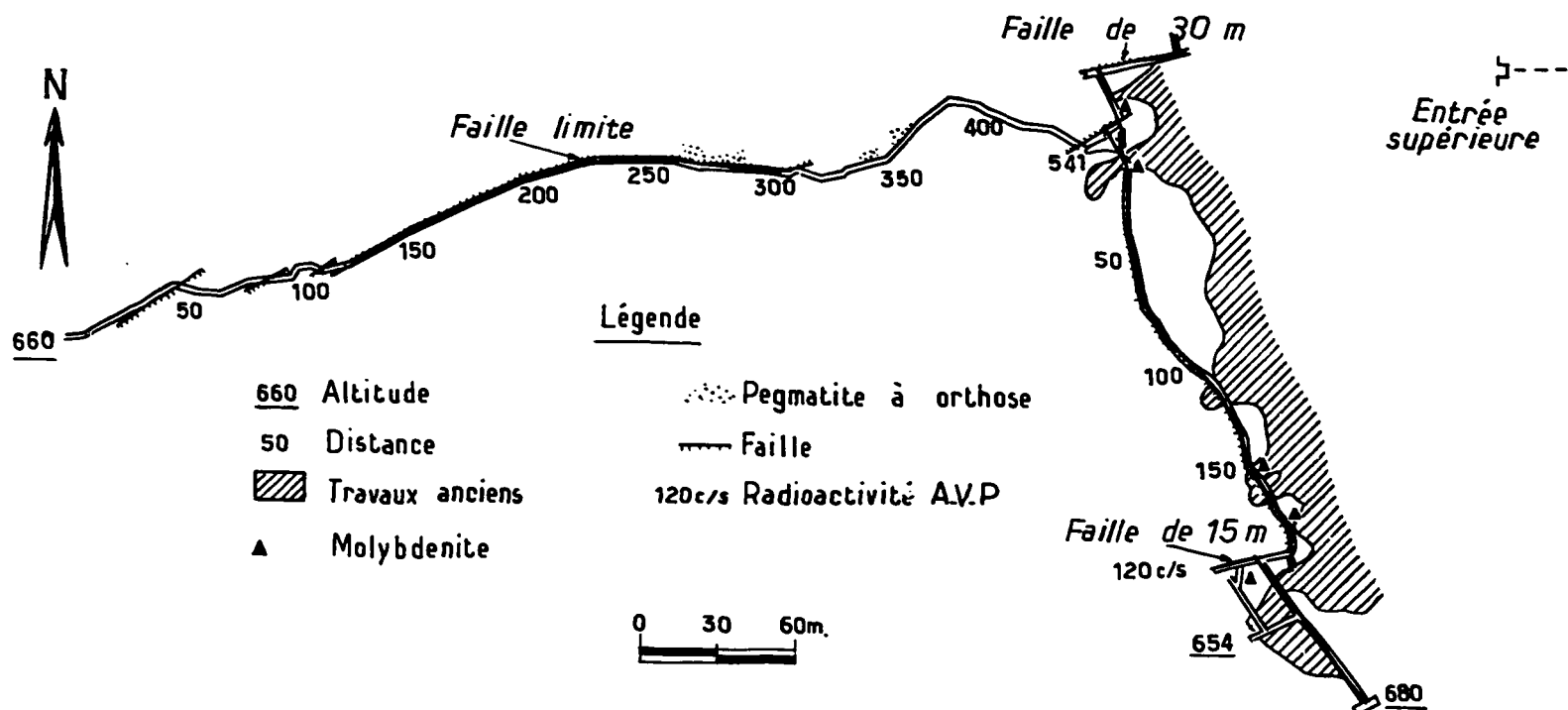


Fig.5 - Levé du travers-banc principal de Château-Lambert (encore accessible en 1955 : l'entrée est située sous le tertre portant l'église. Les travaux situés à l'Est de la zone hachurée sont encore en partie accessibles mais dangereux. Il est difficile d'en faire un levé exact du fait de l'enchevêtrement des ouvrages (descenderie, recoupe ...).

Récemment, M. Chomski a ouvert de petits travaux de recherche, surtout orientés vers la barytine.

Conclusion.

L'aire étudiée comprend un certain nombre de filons métallifères.

Pour la plupart d'entre eux, la tectonique récente a joué un grand rôle. L'un d'eux est une pegmatite à molybdénite ; elle seule recèle une minéralisation uranifère : uraninite et brannérite ; cette minéralisation est d'ailleurs une curiosité minéralogique sans intérêt industriel.

La zone étudiée diffère donc profondément de celles ayant fait L'OBJET D'ETUDES SENSIBLEMENT PARALLELES : COULOMB (1959), ROUBAULT-COPPENS, (1960 b) HUSSEIN (1959). CES AUTEURS ONT ETUDIE DES FORMATIONS BEAUCOUP PLUS ACIDES (granite granulitique), de plus certaines des régions étudiées recélaient des minéralisations uranifères exploitables.

2) Les eaux thermales.

Il n'est pas de notre intention de faire ici une description complète du mode de gisement et des propriétés physico-chimiques des eaux thermales du secteur étudié. Cependant, afin d'établir une comparaison avec d'autres sources, il a semblé utile de donner un bref aperçu des caractères les plus marquants des eaux thermales de ce secteur.

a) Région de Bains-les-Bains.

1) Sources captées pour les besoins de l'Etablissement Thermal.

Toutes les sources captées pour l'établissement thermal jaillissent dans la vallée du Bagnerot, sur sa rive droite.

Elles naissent grâce à deux fractures, l'une d'orientation N 50-55° Ouest, l'autre de direction N 30-35° Est. Ces fractures se recoupent précisément dans la zone thermique et permettent à de

nombreuses sources de venir au jour. Le rejet de ces accidents paraît assez faible, d'après les différents ouvrages exécutés sur les sources.

En 1936-1937, un premier forage a été exécuté sur l'emplacement de la source anciennement appelée "Féconde".

Ce forage, de 15 cm de diamètre, a démarré à la cote 304,85. La coupe n'a pu être établie avec exactitude, car seul un calque d'architecte (M.C. Poisson à Darney) permet de recueillir un dessin détaillé (Tableau 12). Les rares documents valables mentionnent que les terrains rencontrés au cours de la descente sont en général d'une matière très saine. "On remarque déjà une certaine épaisseur de grès délité jusqu'à 2,80 m de profondeur, ensuite une "diversité" de grès blanc et noir en petites couches, avant de trouver un grès blanc compact indiquant un terrain sans aucun bouleversement. Une épaisseur de grès rouge tendre précède un granite décomposé. Le forage a été continué jusqu'au granite dur trouvé à la cote de 14,10 m. La masse aquifère se manifeste entre les profondeurs 10,90 m et 14,10 m et la source est artésienne."

Tableau 12

Coupes géologiques des forages des Sources "Casquin et Féconde".
Bains-les-Bains (1937).

Source "Casquin"			Source "La Féconde"		
-0		Avant-puits	-0		Avant-puits
3 m	Déblais	Trépan	3,90 m	Déblais	Trépan
4,40 m	Grès jaune		5,00 m	Grès blanc compact	
5,95 m	Grès dur blanc		5,50 m	Grès blanc	
7,60 m	Grès dur blanc		6,10 m	Grès noir	
8,10 m	Grès noir	Forage rotatif	12,00 m	Grès blanc	Forage rotatif
	Grès dur		14,60 m	Grès rouge tendre non carotté	
13,50 m			15,20 m	Granite	
	Grès tendre non carotté				
16,70 m					
	Granite				
17,10					

A + 3,50 m, elle est en équilibre. Les débits sont les suivants :

Cote + 2,25 : 51 l/minute
Cote + 1,90 : 65 l/minute
Cote + 1,35 : 115 l/minute

Dans les conditions normales d'utilisation, le débit est d'environ 67 l/minute.

La température de l'eau de ce forage est de 51° C. A proximité de ce captage (5 m) un forage a été exécuté en 1937. Il a atteint le granite à la profondeur de 16,70 m. Le débit est de 13,4 l. par minute et la température de 49°.

Ces sources captées par forage sont utilisées par le nouvel établissement thermal.

Un autre forage a été exécuté à environ 90 m à l'Ouest-NO des deux précédents, à l'emplacement du Bain Romain. Exécuté en 1939, nous avons pu en retrouver la coupe et recueillir des carottes éparses dans le grenier de l'établissement thermal. La tête de ce forage, appelé Artéria (autrefois St Colombran) est située à la cote 305,32 m et atteint le granite dur à 33 m.

Les terrains rencontrés se composent essentiellement de grès délités. Des traces de silex et de quartz sont signalées entre 10 m 50 et 32 m. Le carnet de sondage note de nombreuses variétés de grès, toujours délités : grès rouge, grès blanc, grès vosgien, grès bigarré, laissant supposer

que le forage a été exécuté sur une très nette cassure géologique. En effet, on se trouve en présence d'une coupe géologique disparate. De plus, un "dévers" se serait produit en cours de travail, aux environs de 12 m de profondeur.

Tableau 13
Coupe géologique du forage Artéria. Bains-les-Bains 1939.

Profondeur	Formations	Profondeur	
2 m 30	Sol non homogène	17 m 65	Grès bigarré gris et rose non homogène
4 m 15	Sol dur		
9 m 15	Couche d'argile	17 m 75	Grès Vosgien
10 m 70	Sable et poudingue	18 m 05	Grès rouge et poudingue de Quartz
11 m 05	Poudingue de grès		
11 m 20	Poudingue de grès	18 m 55	Grès rouge et quartz de différentes couleurs
11 m 40	Poudingue de grès		
11 m 70	Poudingue et éboulement	19 m	Grès rouge plus abondant
12 m 40	"	19 m 55	Grès rouge plus abondant
12 m 55	"	19 m 60	Grès rouge plus abondant
13 m 10	"	19 m 76	Grès rouge plus abondant
15 m	Grès rouge non carottable	19 m 85	Grès blanc - Poudingue
15 m 30	Silex rouge non aggloméré	22 m	Poudingue sur 30 cm. Traces de granite en fin de carotte
15 m 45	Silex rouge très dur non aggloméré		
15 m 75	Quartz rouge très dur avec rognons	24 m 50	Grès rouge
16 m 25	Quartz rouge très dur avec rognons	28 m 50	Grès rouge pourri
16 m 35	Quartz rouge vert non aggloméré avec des silex	31 m	Composition multiple de grès, Traces de quartz blanc et rouge
16 m 75	Silex rouge et grès	32 m A	} Traces de granite décomposé
17 m 45	Couche silex rouge poudingue	32 m B	
		33 m	} Granite de plus en plus abondant et de plus en plus dur
		33 m A	
		33 m B	

Le forage est artésien jusqu'à + 1,91 m ; la température à la profondeur de 28,50m est de 55°, à la tête de captage 48° 5. Le débit est de 115 litres/minute. L'exécution de ce forage a entraîné le tarissement d'un certain nombre de petites émergences dans le périmètre du Bain Romain.

La coupe de ces forages permet de conclure (en supposant que le granite se trouvait à la même cote) qu'une faille d'environ 15 à 18m de rejet de regard N existe dans la vallée de Bains-les-Bains.

Caractères physico-chimiques.

L'étude complète des caractères physiques ou chimiques des eaux thermales de Bains-les-Bains, ne peut prendre place ici. Cependant, pour permettre des comparaisons avec d'autres eaux thermales, un tableau récapitulatif est utile.

Le tableau 14 résume tous les renseignements qui ont pu être recueillis.

Les eaux thermales de Bains montrent une minéralisation faible. Afin de permettre une éventuelle classification ou une comparaison, la formule de l'eau thermale de Bains-les-Bains est la suivante : (Schoeller, 1934).

$$\frac{\text{SO}_4}{25} > \frac{\text{CO}_3}{21,5} > \frac{\text{Cl}}{5,7} = \frac{\text{Na}}{35} > \frac{\text{Ca}}{13} > \frac{\text{K}}{0,35} \left(\frac{10}{100} \right)$$

Aux fins de comparaison, la composition chimique des eaux thermales a été représentée graphiquement en utilisant d'une part les triangles de Frey (1933) et, d'autre part, en se servant de la représentation logarithmique de Schoeller (Fig. 6 et 7).

2) Sources chaudes non utilisées.

Tableau 14

Composition chimique des eaux thermales de Bains-les-Bains

Caractéristiques Générales	Artéria (St Colomban)		Casquin		Féconde	
Température	48° 5		51°		49°	
Resistivité électrique (ohms-cm)	2240		2230		2230	
pH	7,2 - 7,3		7,2 - 7,3		7,2 - 7,3	
Titre hydrotimétrique total	12° 5		12° 5		12° 5	
Mat. organique en O ₂ mg/l	0,15					
Composition chimique	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l
1) <u>Cations</u>						
Potassium	1,4	0,035	1,8	0,046	-	-
Sodium	80,5	3,5	75,8	3,3	74	3,2
Calcium	26	1,3	22	1,1	22	1,1
Magnésium	-	-	-	-	-	-
Fer	-	-	-	-	-	-
2) <u>Anions</u>						
Chlore	21	0,58	20,8	0,58	20,7	0,58
Fluor	Traces		Traces		Traces	
Bicarbonique H CO ₃ -	65	2,15	61	2,1	65	2,15
Sulfurique SO ₄ --	122	2,5	107	2,22	106	2,22
3) <u>Substances non dissociées.</u>						
SiO ₂	84		83		83	
CO ₂ libre	2,6		2,1		2,1	
Oxygène dissous	2,1				2	

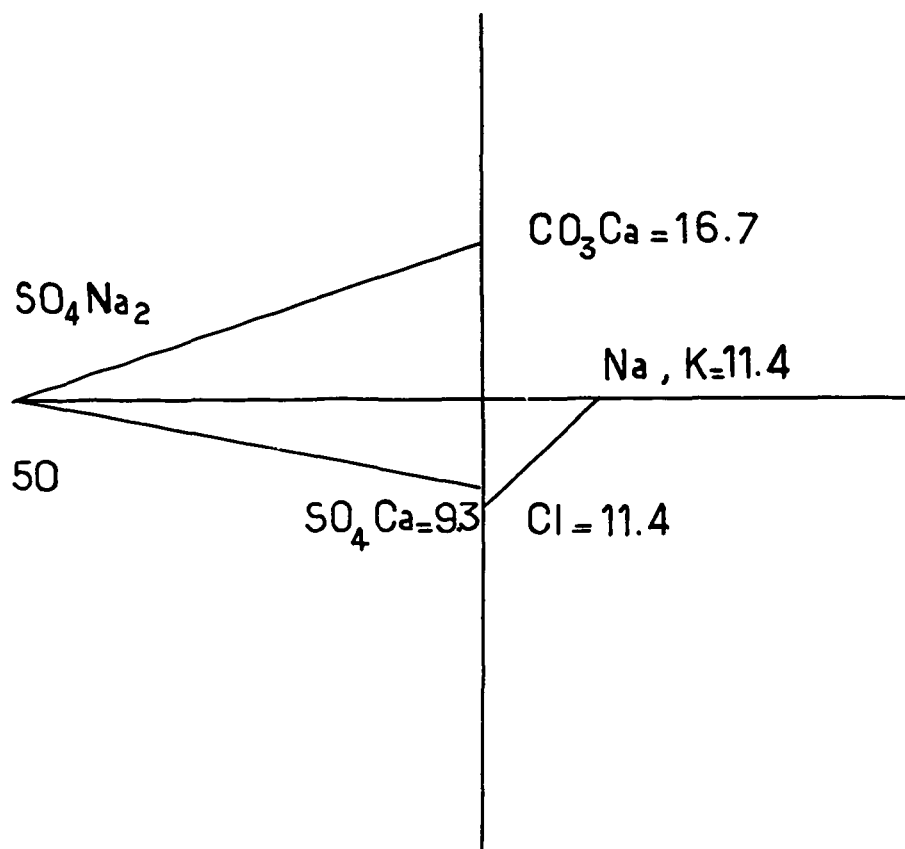


Fig.6 - Représentation graphique de la composition chimique des eaux thermales de Bains-les-Bains = Sondage Artéria.

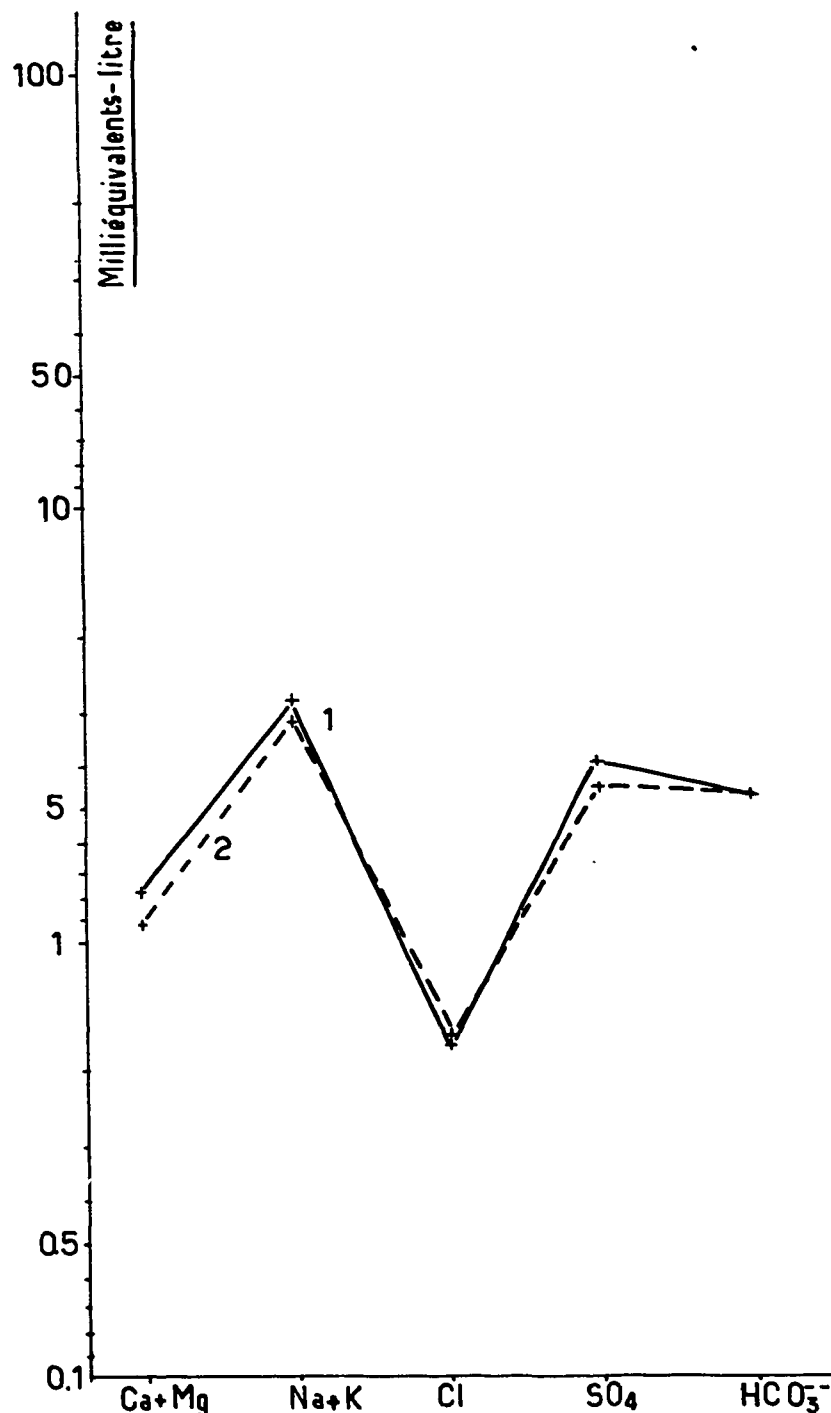


Fig. 7 - Représentation logarithmique de la composition chimique des eaux des sondages Artéria = 1 et Féconde = 2 - Bains-les-Bains (Vosges).

Une source chaude est connue dans la forêt de Gruey, à environ 150 m au Sud du chemin des Baraques reliant la route de Darney à Fontenoy.

L'eau sourd entre les diaclases du grès vosgien. La source est manifestement liée à un accident tectonique : faille de Gruey en direction N 35° E, de regard E et de rejet de l'ordre de 50 à 70 m.

La température de l'eau est d'environ 23°. Le débit est difficile à mesurer du fait du mode de captage. Le degré hydrotimétrique est voisin de 14° et la résistivité de 2 060 ohms-cm. La composition chimique de l'eau de cette source n'est pas connue, mais la valeur de la résistivité permet de la rapprocher des eaux thermales de Bains-les-Bains.

Une autre source chaude existe dans la vallée de la Semouse. Elle naît grâce à la grande faille de Trémonzey à Fougerolles-le-Château, (p. 15) dans le point bas créé par la vallée de la Semouse, au hameau de La Chaudeau. La source est située dans le lit de la rivière et accessible seulement en période de basses eaux. Nous n'avons pas pu faire de prélèvement au cours de nos travaux et ne pourrions que reproduire les chiffres connus antérieurement. La température en est de 22°.

b) Région de Plombières.

La vallée de Plombières où naissent les sources est étroite, 100 à 150 m, et de direction NE-SO. Elle est creusée dans le granite porphyroïde et le grès Vosgien affleure aux environs de 450-500 m d'altitude, alors que le fond de la vallée est située à environ 430 m.

Les sources émergent dans le granite porphyroïde, elles s'alignent suivant une direction NE-SO. Les travaux romains, existant encore à l'heure actuelle, avaient pour but de détourner et de canaliser la rivière l'Augronne et capter les eaux chaudes sans mélange. C'est de 1858 à 1866 que Jutier réaménagea les captages en creusant deux galeries permettant d'accéder aux griffons. La galerie des Savonneuses, sur la rive gauche de l'Augronne, suit à peu près la projection de la route de Metz à Besançon (RN 57) soit NE-SO. L'autre galerie, sur la rive droite actuelle de la rivière, en réalité dans ou à proximité du lit primitif, est orienté E-O.

Dans la première galerie, les griffons sont numérotés de l'aval vers l'amont de 1 à 10. Les températures de l'eau vont en croissant dans ce même sens :

Savonneuse n° 1	19° C	Savonneuse n° 6	23°8 C
" 2	16° C	" 7	37°8 C
" 3	26°6 C	" 8	44°8 C
" 4	22°8 C	" 9	41°3 C
" 5	26°2 C	" 10	48° C

Au-delà de cette galerie et dans son prolongement se placent deux autres sources : Hypocauste : 50°8 et Dames 52°.

Le second alignement comprend de l'Ouest à l'Est (d'aval en amont) : Thalweg n° 10 = 53° 6 C. Robinet Romain 68° 6 C, Stanislas 67° C. Vauquelin 69° C. Il convient d'ajouter la source du Thalweg n° 9, la plus à l'Est, dont la température atteint 73° 5 C. Cette dernière a été aménagée en 1930-1932 grâce à un sondage de 30 m. Ce sondage est resté dans le granite (1).

Les carottes, conservées dans les combles de l'établissement thermal, ont été dispersées au cours de la guerre 1939-45.

Il est nécessaire de citer encore un collecteur construit par les Romains, drainant vraisemblablement quelques griffons, dont l'eau a une température de 57° 8 C ; ainsi que deux autres sources : Capucins 50° C et Lambinet 32° C.

De cette brève description, il semble que l'on se trouve en présence de deux systèmes de fractures dont le point de jonction constitue le domaine où la température de l'eau est la plus élevée : sondage Thalweg n° 9.

Caractères physico-chimiques des eaux thermales.

Le tableau 15 rassemble toutes les données recueillies sur les sources thermales de Plombières.

Comme précédemment, ces données vont permettre d'attribuer aux eaux de Plombières une "formule". Sauf pour la "Savonneuse", elles répondent à :

$$\frac{\text{SO}_4}{18} > \frac{\text{CO}_3}{16} > \frac{\text{Cl}}{2,7} = \frac{\text{Na}}{43} > \frac{\text{Ca}}{4,5} > \frac{\text{K}}{1,8}$$

La source dite "Savonneuse" correspond à :

$$\frac{\text{SO}_4}{1,9} > \frac{\text{CO}_3}{0,7} > \frac{\text{Cl}}{0,38} = \frac{\text{Na}}{4} > \frac{\text{Ca}}{1,1} > \frac{\text{K}}{0,2}$$

On retrouve donc la même formule, mais il est probable que des eaux du grès vosgien sont venues se mélanger aux eaux thermales, ceci semble être confirmé par une résistivité plus élevée.

Les représentations graphiques (fig. 8, 9 et 10) conduisent à la même constatation.

c) Région de Luxeuil.

Si les sources citées précédemment prennent naissance dans des fonds de vallées assez profondes, il en est tout autrement pour les sources thermales de Luxeuil. Elles naissent sur le re-

(1) Un sondage exécuté en 1888 a donné la coupe suivante :

- 0 - 5,60 m Cave et maçonnerie.
- 5,6 - 7,05 m Alluvions.
- 7,05-15,84 m (Grès ?) - Granite.

Composition chimique des eaux thermales de Plombières

[illegible]

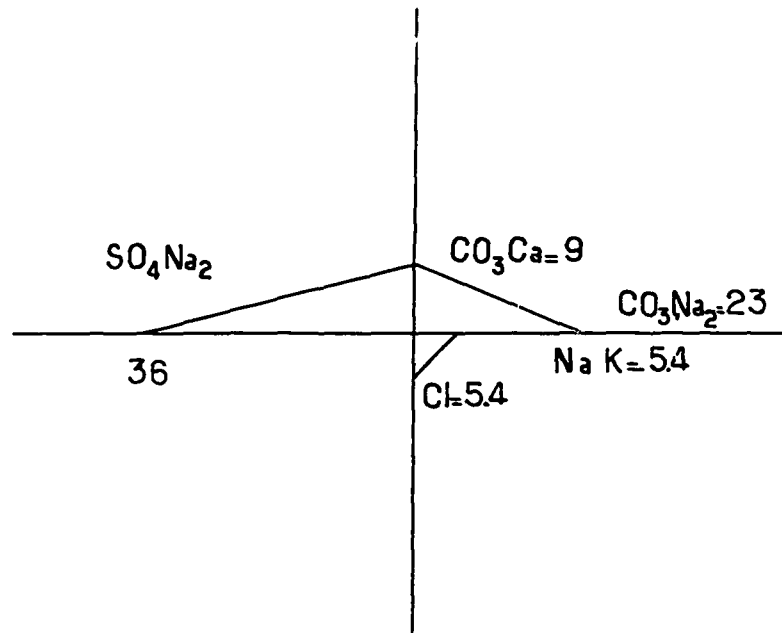


Fig. 8 - Représentation graphique de la composition chimique des eaux thermales de Plombières (Vosges) Captage Thalweg n° 9.

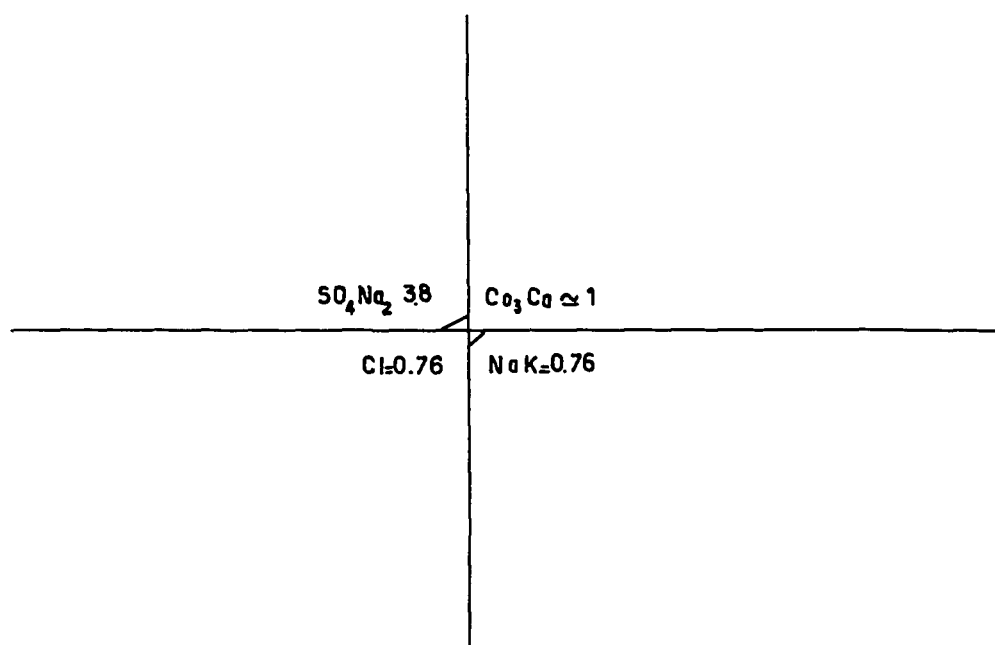


Fig. 9 - Représentation graphique de la composition chimique des eaux tempérées "(Sources Savonneuses") Plombières (Vosges).

bord du plateau triasique que forme le "Horst" que nous avons décrit antérieurement (p. 19) à la lisière Sud des Forêts du Banney et des Sept Chevaux. De nombreux auteurs se sont attachés à l'histoire de cette station. C'est E. Fournier qui en 1923 donne la première étude géologique approfondie en préliminaire aux travaux de réfection entrepris en 1937.

Esquisse géologique.

Les eaux thermales de Luxeuil semblent provenir du grès bigarré constituant la couverture du horst. La masse du grès vosgien existe et repose en transgression sur la granulite : telle apparaît la coupe géologique du sondage effectué au lieu-dit "La Fontaine Leclerc". Mais en se reportant à la coupe d'un sondage exécuté en 1830-1832 sur la place de la Mairie, on voit que le primaire a été rencontré très vite vers le S.E. (Thirria; 1833) (p. 70).

Les deux sondages sont distants d'environ 1 200 m et les sources thermales jaillissent à proximité du point milieu sur la droite joignant les deux sondages. Cette disposition nous paraît très importante et nous reviendrons sur ces faits un peu plus tard.

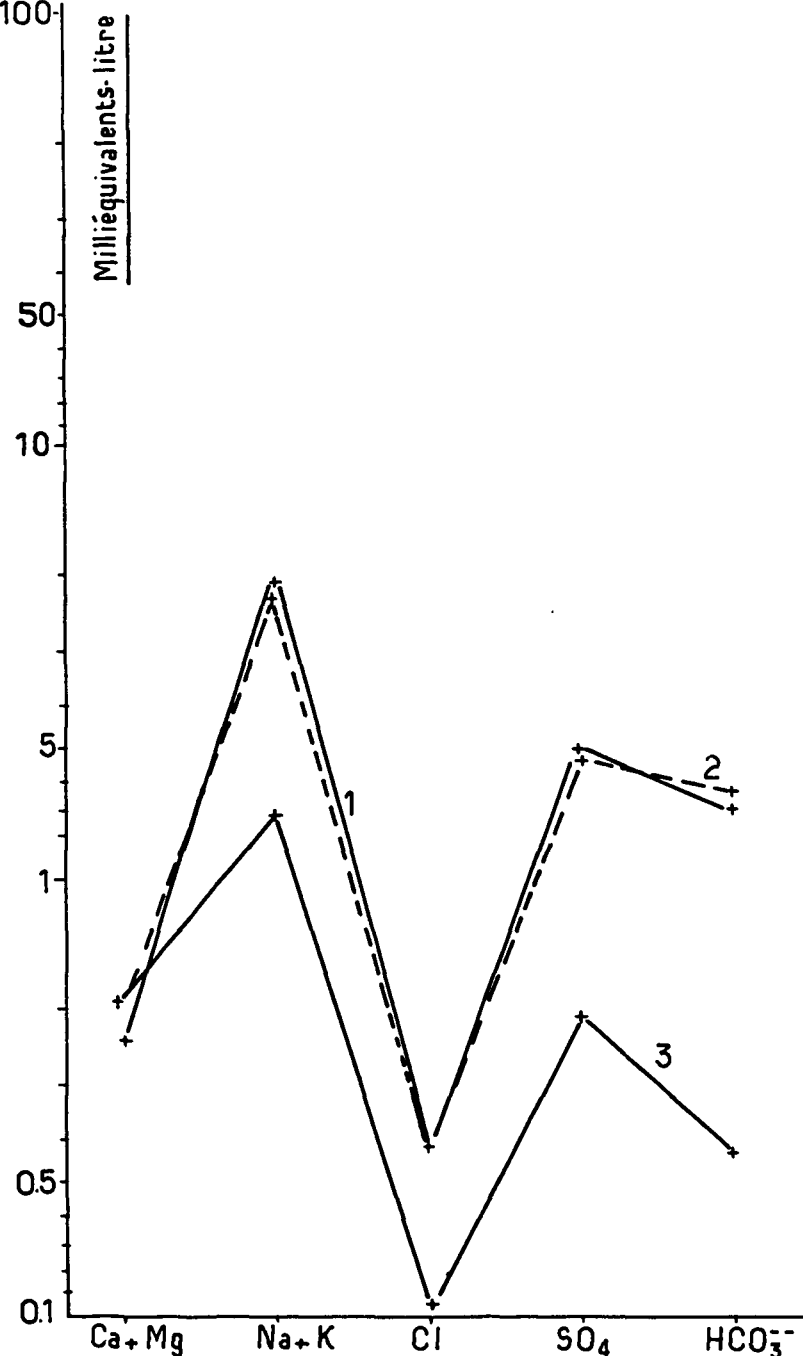


Fig. 10 - Représentation logarithmique de la composition chimique des eaux thermales de Plombières : 1 = Thalweg n° 9-2 = Robinet Romain - 3 = Savonneuse. Remarquer que la composition chimique de cette dernière correspond à une dilution.

Les eaux chaudes remontent au jour par une série de fractures éparpillées mais de direction NE-SO, c'est-à-dire parallèle à la direction générale du horst.

Le grès bigarré, dans l'aire de la zone thermique, a un pendage de l'ordre de 10 à 15° vers S.SO. Cette disposition rend quasi inévitable le mélange d'eaux de surfaces aux eaux thermales.

E. Fournier, dans son rapport de 1923, émet deux hypothèses quant au substrat : soit Dévonien supérieur avec carbonifère inférieur, soit granulite. Il adopte la deuxième comme étant de "beaucoup la plus vraisemblable", et tire alors comme conséquence que la branche descendante froide du thermo-siphon est située au Nord, à la Gabiotte, la branche ascendante thermique au Sud.

Discussion.

Il ne nous a pas été possible de nous ranger à cette opinion. En effet, trois séries d'arguments convergents ont conduit à rechercher une alimentation vers le S.SE.

1) Arguments tirés de l'étude de la carte géologique et des observations de terrain.

La carte géologique à l'Est de Luxeuil (région de Raddon) fait état de la présence de Tournaisien et de Dévonien supérieur. Sur ces formations schisteuses, le trias inférieur - grès vosgien - est transgressif. La carte donne le sentiment que les assises du primaire sont également transgressives : pendage, pointement granitique isolé.

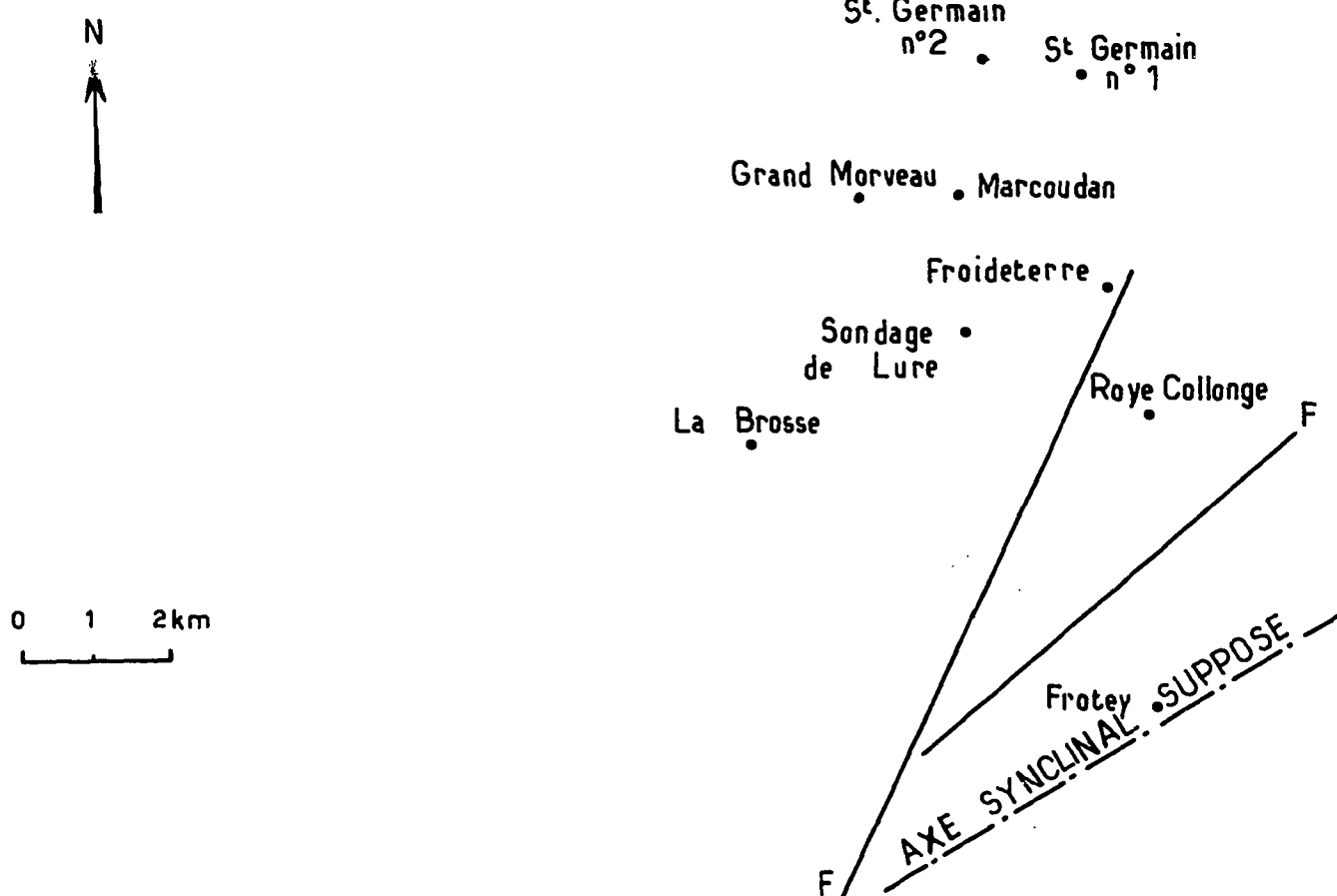
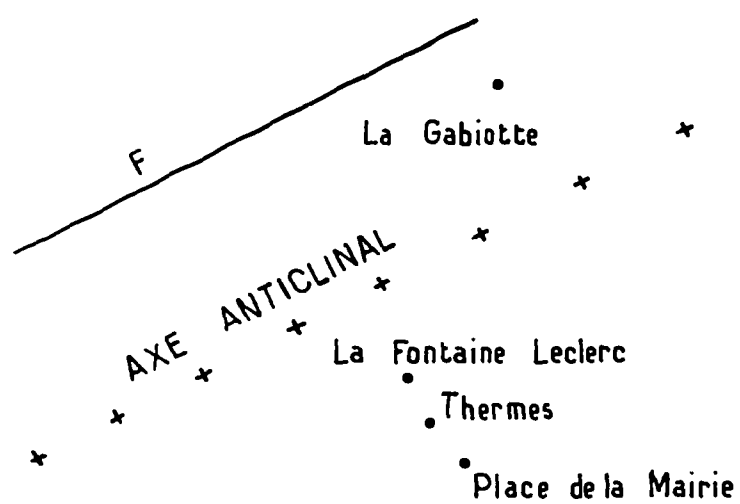


Fig. 11 - Position géographique des divers sondages de la région de Luxeuil-Lure.

Les observations de terrains viennent confirmer ces faits. Nous avons en effet reconnu les mêmes schistes que dans la région de Raddon à deux kilomètres à l'Ouest de cette localité (Bois des Grandes Coupes), à environ 6 km au NE de Luxeuil. (1)

2) Arguments tirés des coupes de divers sondages exécutés dans la région de Luxeuil et de Lure.

Un certain nombre de sondages ont été exécutés dans la région de Luxeuil et de Lure par une société civile de recherches de houille, d'autres sondages ont été exécutés pour subvenir à des besoins d'eau ou pour améliorer le débit des eaux thermales. Quelques uns de ces sondages sont alignés suivant une direction normale au horst de Luxeuil, c'est-à-dire S-SE. Ce sont de Luxeuil vers Lure, les sondages de La Fontaine Leclerc, des Thermes, de la Place de la Mairie, puis le Grand Morveau, Lure et Frotey. D'autres sondages, situés de part et d'autre de cette direction, apportent d'autres renseignements (Fig. 11).

Les coupes fournies par ces sondages permettent de conclure que les eaux thermales jaillissent au flanc d'un synclinal dont l'axe sensiblement E-NE serait parallèle à l'axe anticlinal du horst sur lequel s'appuient les formations primaires. La branche descendante du thermosiphon se situerait au plan de la faille dite "L'Ognon" proche de l'axe synclinal (2). L'alimentation pourrait également avoir lieu par la discontinuité des couches due à la position transgressive du Dévonien et du Tournaisien sur le socle. (Fig. 12).

NO

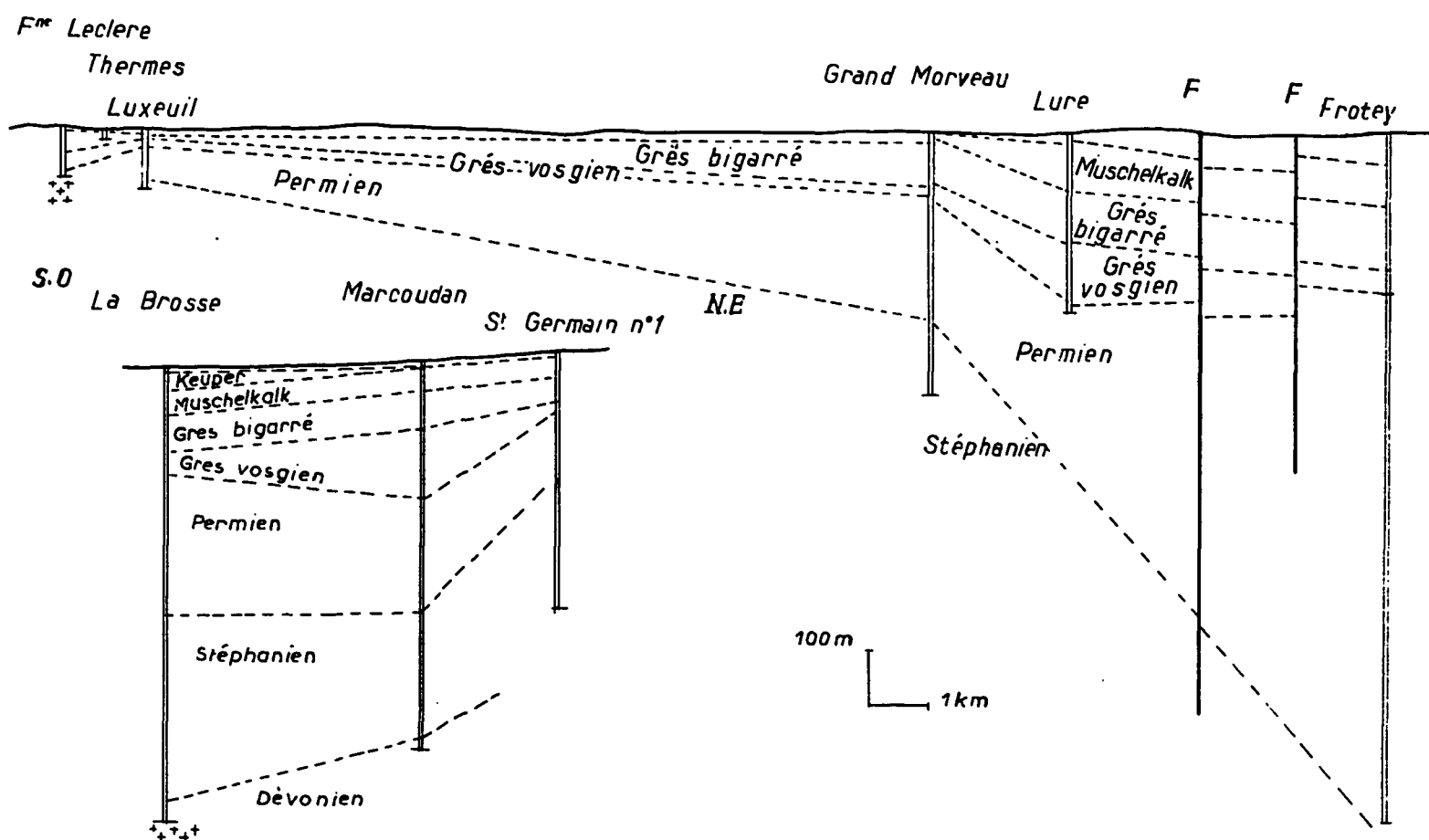


Fig. 12 - Coupes NO-SE et SO-NE de la région de Luxeuil-Lure établies d'après les données des divers sondages exécutés dans cette région.

- (1) Thirria admet que le "terrain de transition" est recouvert par les alluvions modernes à Froideconche (2,5 km au NE de Luxeuil).
- (2) La présence de cette faille semblerait expliquer le faible débit obtenu au forage de Lure (1951-1952) dans les niveaux du Trias inférieur. (Glangeaud L. Minoux G. Ricour J. - 1957).

Tableau 16
Coupes géologiques des sondages profonds de la région Luxeuil-Lure.

Lieu	La Gabiotte	La Fontaine Leclerc	Sondages pour eaux thermales	Sondage de la place de la Mairie (Luxeuil)	St Germain n° 2	Grand Morveau	St Germain n° 1	Marcoudan	La Brosse	Lure	Froide-Terre	Roye-Collonge	Frotey
Date	1905 (?)	1938	1937	1830 - 1832	1910-1911	1924-1925	1907-1908	1926	1908-1909	1951-1952	1927	1929	1906-1907
Altitude de l'orifice	300	296,15	300	295	320	310	330	305	292	307	310	310	320
Pleistocene	0 - 2	0 - 0,5	0 - 1	0 - 2	17,90	0 - 10	0-9,20	0-9,10	0-8	0 - 14	0 - 5,6	0 - 22	0 - 40
Keuper	-	-	-	-	-	-	-	-	8-39	-	-	-	-
Muschelkalk supérieur	-	-	-	-	7,90-30,55	-	9,20-42	-	39-82	14-100	-	22-98	-
Muschelkalk inférieur (marnes grises à gypse, marnes grises et rouges)	-	-	-	-	-	-	-	9,10- 47,90	82-129,5	100-195	5,6 - 47,9	-	40 - 110
Grès bigarré	2 - 28	0,5 - 37,20	1 - <u>25</u>	2 - 17	30,55 - 99	10 - 93	42 - 93	47,90-115,90	129,5-190	-	47,9 - 216,1	98-191	110-220
Grès voglien	28 - 54	37,20-66,00	-	17 - 31	99 - 160	93 - 108,25	93 - 107	115,90-242,80	190-238	195-298	216,1 - 350,9	191-351	220-260
Permien supérieur	ou permien d'après les notes du Serv. des Mines de Belfort	-	-	-	-	108,25-208,5	107 - 204	-	238-484,7	298-308,05	-	-	-
Permien moyen	-	-	-	-	160 - 292	-	-	242,80-447	484,7-484	-	350,9 - 520,35	351-811	260- <u>1195</u>
Permien inférieur	-	-	-	-	-	206,5 - 332,04	204 - 225,30	-	-	-	-	-	-
Stéphanien, gréseux non métamorphique	54-142,50 gneiss (?)	-	-	-	-	-	-	-	484-527,75	-	-	-	-
Stéphanien inférieur	-	-	-	31 - <u>101</u>	292 - 380	332,04- <u>481,75</u>	225,30- <u>442,50</u>	447 - 675	527,75-620	-	520,35- <u>820</u>	811- <u>1168,7</u>	-
Culm	-	-	-	380- <u>394,55</u>	-	-	Pendage 45°	-	620-811,3	-	-	-	-
Dévonien	-	-	-	-	-	-	-	675 - <u>692,80</u>	811,3-849	-	-	-	-
Granite ou Gneiss	142,5- <u>149</u> granulite	68- <u>70m</u>	-	-	-	-	-	-	<u>849</u>	-	-	-	-
Remarques			Sondages inclinés à 45°, distance 35m en moyenne (30 à 38)	Les eaux de la base du grès rouge se sont élevées à 6,20m au-dessus du niveau primitif (artésien)									

(*) Les sondages marqués d'une astérisque sont alignés suivant une direction perpendiculaire à la direction du Horst de Luxeuil. (fig. 11)

3) Arguments tirés de la composition chimique des eaux thermales.

La composition chimique des eaux thermales est donnée plus loin (p. 72). Cette composition chimique a permis de donner une formule, comme pour les autres eaux thermales. Cette formule est nettement différente de celles des eaux thermales de Bains-les-Bains et de Plombières et semble se rapprocher des eaux de Bourbonne. Le diagramme logarithmique (p. 74) incite d'ailleurs à pareil rapprochement et ce fait tendrait à confirmer que les eaux sont issues de marnes gypseuses et salifères, mais diluées au cours de leur trajet.

La branche descendante du thermosiphon, située dans la région de Lure, permettrait la circulation de telles eaux minéralisées au niveau du Keuper ou du Muschelkalk ; voire - et ceci est le plus vraisemblable - au niveau des argiles - limites du grès bigarré. (1)

Caractères physico-chimiques -

Les analyses les plus récentes ont été rassemblées dans le tableau ci-contre où l'on remarque de prime abord la résistivité très élevée des sources Hygie et Martin (Tableau 17).

Comme précédemment, ces données analytiques vont permettre d'établir les formules des eaux.

Les sondages Bursaux, Bénédictins et Dames, donnent sensiblement la même chose :

$$\frac{\text{Cl}}{38} > \frac{\text{SO}_4}{6,4} > \frac{\text{CO}_3}{5,3} = \frac{\text{Na}}{45,3} > \frac{\text{Ca}}{4} > \frac{\text{K}}{1,53}$$

Pour les suivantes, la formule est respectivement :

$$\text{Siliceuse} \dots\dots\dots: \frac{\text{Cl}}{26,2} > \frac{\text{CO}_3}{16} > \frac{\text{SO}_4}{5,35} = \frac{\text{Na}}{41} > \frac{\text{Ca}}{4,8} > \frac{\text{K}}{2,1}$$

$$\text{Hygie} \dots\dots\dots: \frac{\text{CO}_3}{31} > \frac{\text{Cl}}{7,8} > \frac{\text{SO}_4}{5,6} = \frac{\text{Na}}{8} > \frac{\text{K}}{3,4} > \frac{\text{Ca}}{2,5}$$

$$\text{Martin} \dots\dots\dots: \frac{\text{CO}_3}{30} > \frac{\text{Cl}}{10,5} > \frac{\text{SO}_4}{4,6} = \frac{\text{Ca}}{33,6} > \frac{\text{Na}}{9,2} > \frac{\text{K}}{3,2}$$

$$\text{Ferrugineuse Nord} \dots: \frac{\text{CO}_3}{30,5} > \frac{\text{SO}_4}{12,8} > \frac{\text{Cl}}{4,1} = \frac{\text{Na}}{4,4} > \frac{\text{K}}{4} > \frac{\text{Ca}}{3,8}$$

$$\text{Ferrugineuse Sud} \dots\dots: \frac{\text{CO}_3}{38} > \frac{\text{Cl}}{6,5} > \frac{\text{SO}_4}{4} = \frac{\text{Ca}}{29} > \frac{\text{Na}}{7} > \frac{\text{K}}{3}$$

La comparaison de ces formules permet de conclure à l'identité des sources Martin et Ferrugineuse Sud. Ces formules permettent en outre d'affirmer la commune origine des eaux des sondages Bursaux, Bénédictins et Dames.

Remarques.

Les triangles de Frey; construits avec les résultats analytiques, conduisent sensiblement aux mêmes conclusions (Fig. 13, 14, 15). Les diagrammes logarithmiques n'ont pas l'inconvénient d'utiliser des pourcentages de teneurs et permettent ainsi de faire apparaître les cas de dilutions (Fig. 16). La représentation de la composition chimique moyenne d'eaux de niveaux géologiques déterminés, introduit un élément de référence (Fig. 17).

Ces diagrammes logarithmiques montrent l'identité chimique des eaux de Bourbonne (Fig. 18 et 19) (2) et de Luxeuil (Fig. 16), (identité que les formules et les triangles ont montrée) mais avec une dilution certaine dans le cas de Luxeuil. Ils permettent en outre d'affirmer que les eaux des

(1) Cardot (1911) ne cite-t-il pas la perte en été de la rivière l'Ognon précisément à Froideterre.

(2) La formule de l'eau thermale de Bourbonne (sondage 10) est :

$$\frac{\text{Cl}}{41,2} > \frac{\text{SO}_4}{8,65} > \frac{\text{CO}_3}{0,67} = \frac{\text{Na}}{38} > \frac{\text{Ca}}{9,7} > \frac{\text{K}}{1,2}$$

Tableau 17
Composition chimique des eaux thermales de Luxeuil

Caractéristiques générales	Bursaux		Bénédictins		Dames		Siliceuses		Hygie		Martin		Ferrugineuse N.		Ferrugineuse S.	
Température	62°3		44°		44°		23°8		22°		22°		22°		22°5	
Résistivité (ohms-cm)	554		621		1071		1338		7113		9560		1816		2285	
pH	7,74		7,72		6,98		6,95		6,45		6,15		6,65		6,67	
Matière organique mg/1	0,3		0,25		0,3		0,10		0,15		0,25		0,65		0,75	
Titre hydrotimétrique total .	7°4		6°8		4°3		4°		5°1		3°7		27°		21°	
Composition chimique	mg/1	me/1	mg/1	me/1	mg/1	me/1	mg/1	me/1	mg/1	me/1	mg/1	me/1	mg/1	me/1	mg/1	me/1
1) <u>Cations</u>																
Potassium	22	0,56	19	0,49	13	0,33	14	0,33	4,2	0,11	3,2	0,08	21,5	0,55	12	0,31
Sodium	380	16,52	330	14,35	184	8,00	148	6,43	6	0,26	5,2	0,22	14	0,6	17	0,74
Calcium ...	29,3	1,46	26,8	1,34	16,4	0,82	15	0,75	16	0,8	11,4	0,57	76	3,79	61,5	3,07
Magnésium	1,8	0,15	1,8	0,15	2,4	0,2	3	0,25	4,8	0,4	4,2	0,34	17	1,4	12,7	1,04
2) <u>Anions</u>																
Chlore	490	13,82	435	12,27	232	6,54	146	4,12	9	0,25	9	0,25	20	0,56	24	0,68
Fluor	10,5	0,55	9	0,47	5,2	0,27	6	0,32	0,55	0,03	0,25	0,01	0,58	0,03	0,05	-
Bicarbonique HCO ₃	118	1,94	1,16	1,9	96	1,57	153	2,51	59	0,97	44	0,72	255	4,18	244	4
Sulfurique SO ₄	112	2,33	96	1,99	54	1,12	42	0,87	8,4	0,18	5,4	0,11	84	1,75	20	0,42
3) <u>Substances non dissociées</u>																
SiO ₂	72		65		60		55		13		11		17		15,5	
CO ₂ libre	3,3		3,3		10		20		18		24		53		73	
Oxygène dissous			2,9		2,9		3,5		3,9		4		-		-	

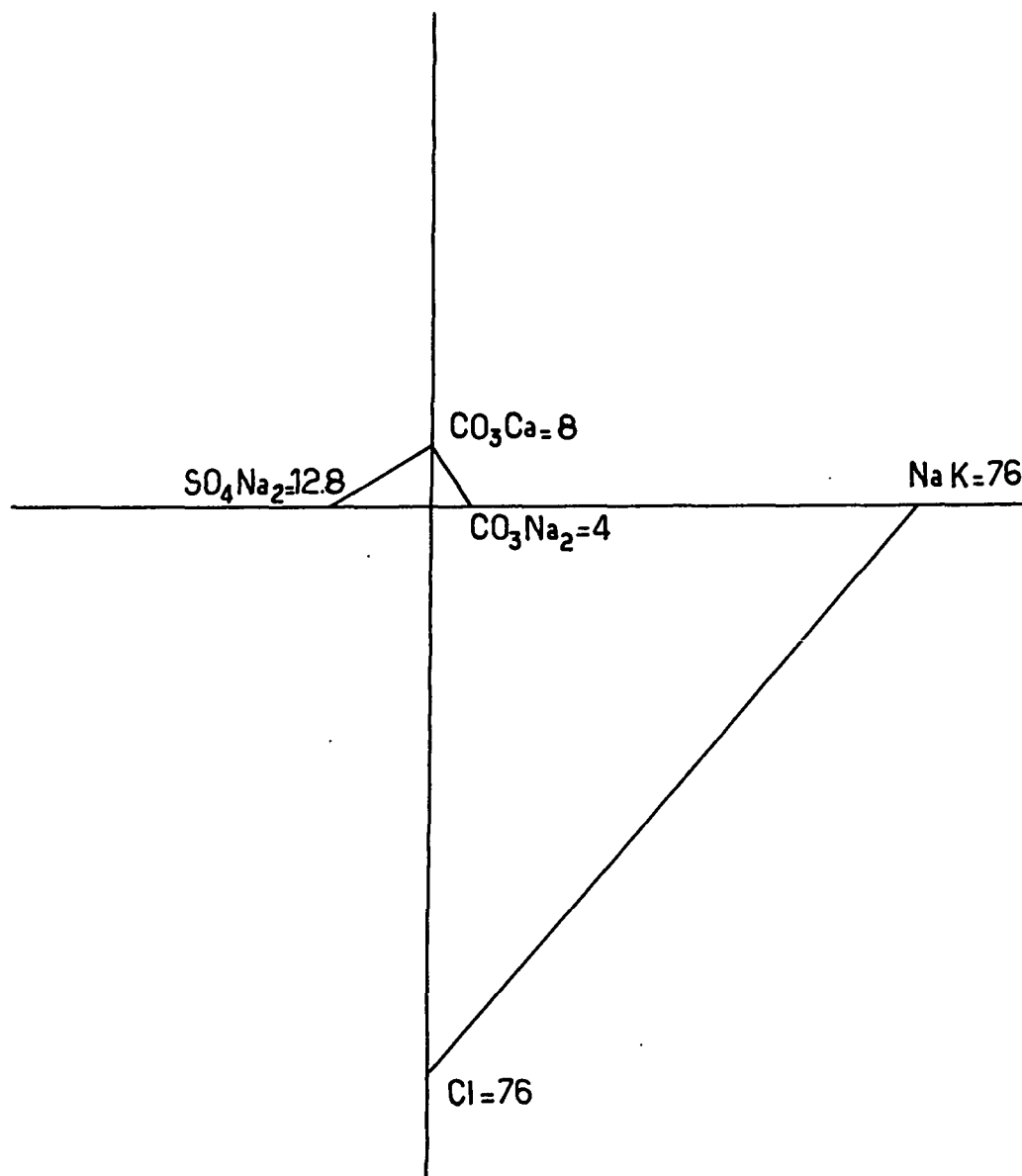


Fig. 13 - Représentation graphique de la composition chimique des eaux thermales des sondages Bursaux et Dames-Luxeuil-les-Bains (Hte Saône).

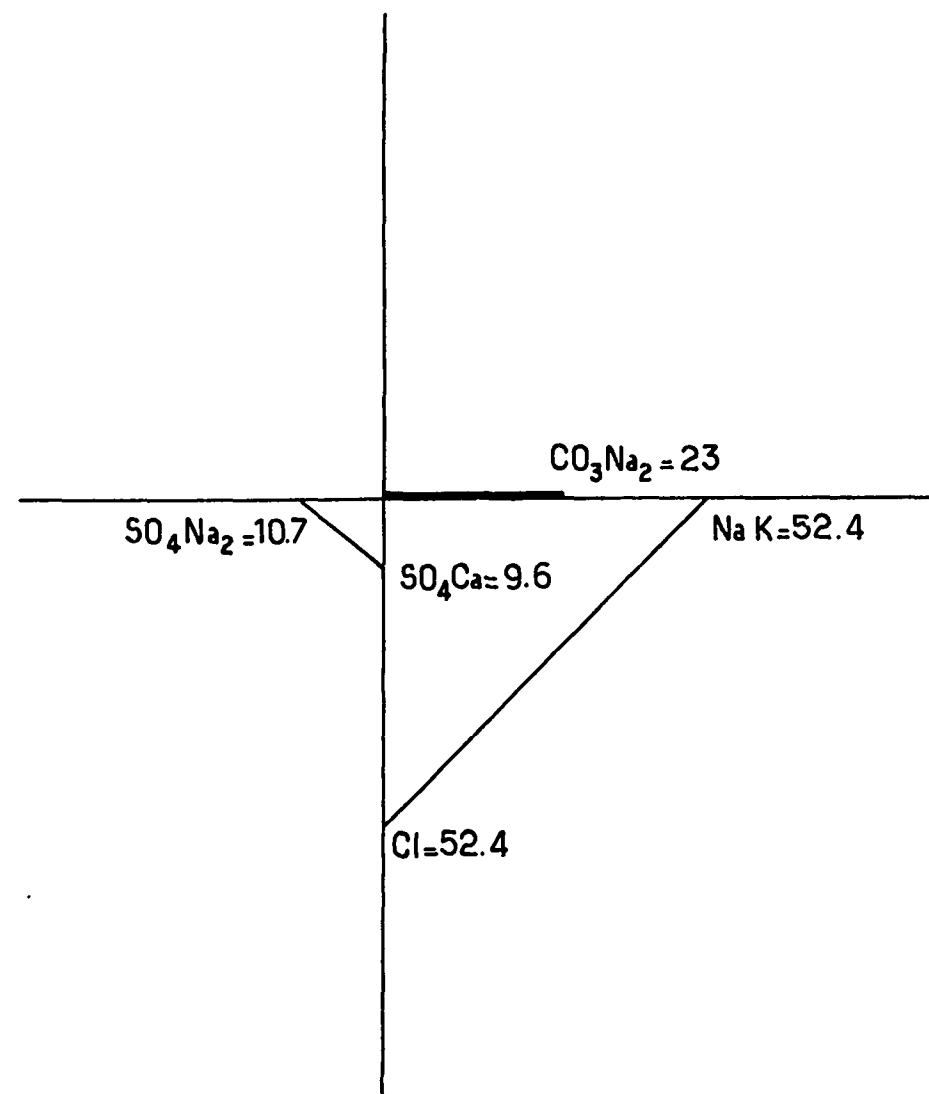


Fig. 14 - Représentation graphique de la composition chimique de l'eau du sondage dite "Source Siliceuse"-Luxeuil-les-Bains (Hte Saône).

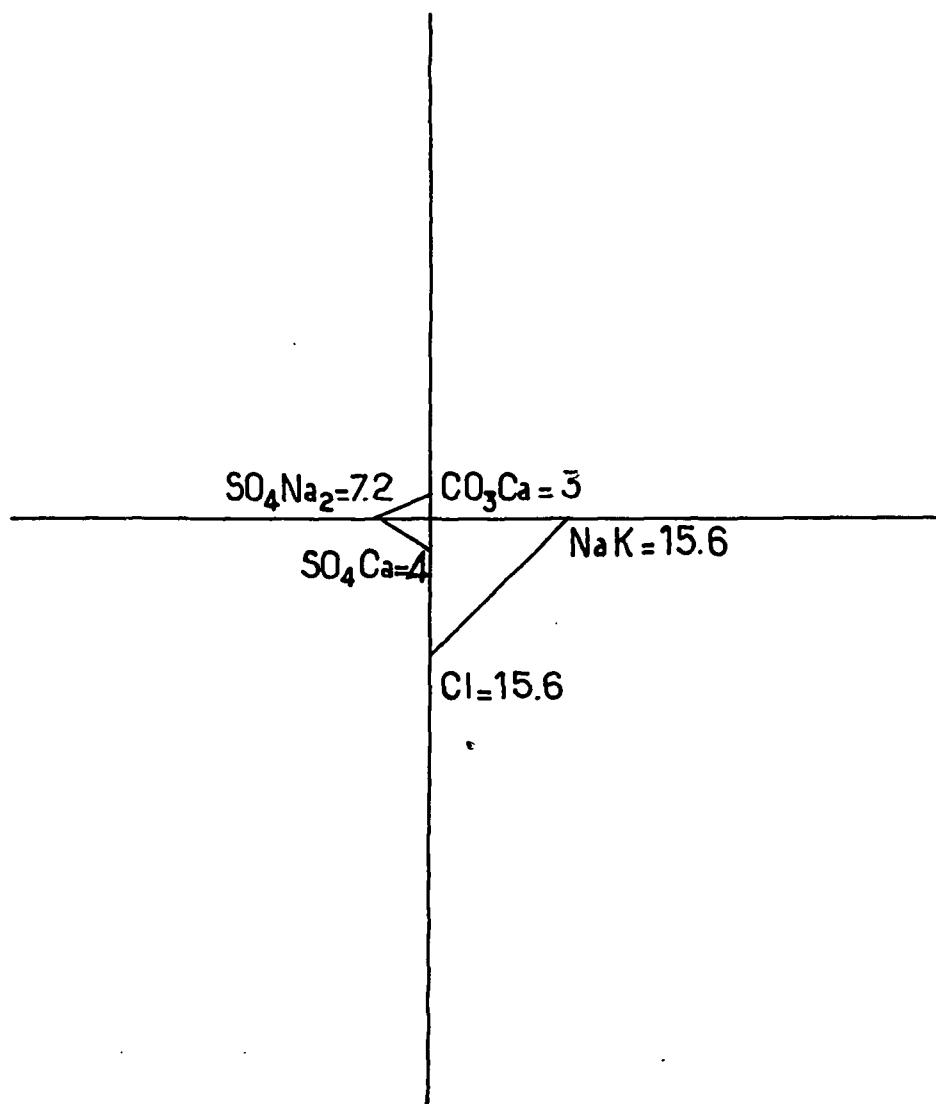


Fig. 15 - Représentation graphique de la composition chimique de l'eau du sondage Hygie - Luxeuil-les-Bains (Hte- Saône).

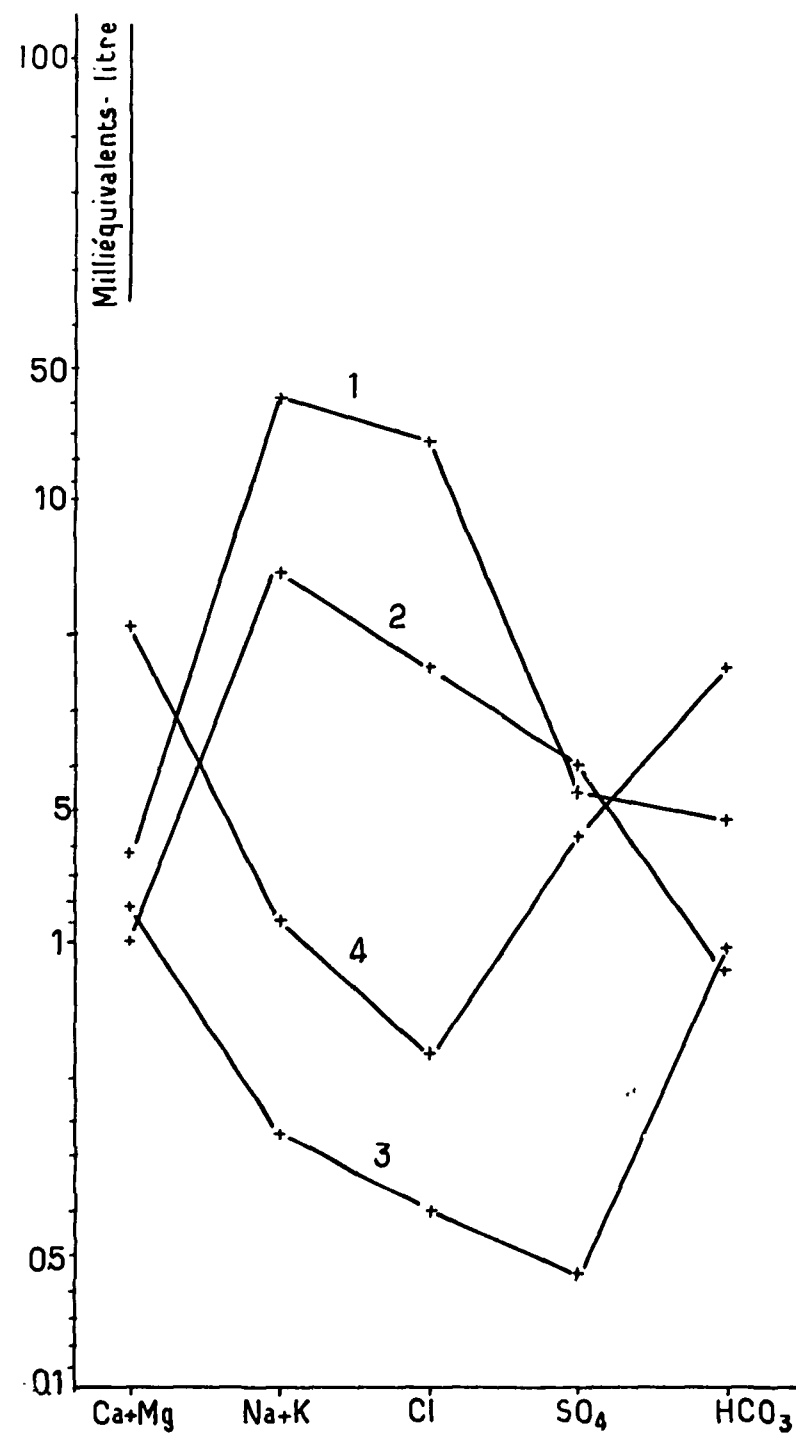


Fig. 16 - Représentation logarithmique de la composition chimique des eaux des sondages Bursaux (Bénédictins et Dames) : 1 - "Siliceuse" ; 2 - "Hygie" ; 3 - Ferrugineuse Nord ; 4 - Luxeuil-les-Bains. Comparer avec la figure 17. Les eaux de 1 et 2 sont semblables et diluées 3 et 4 sont issues des grès.

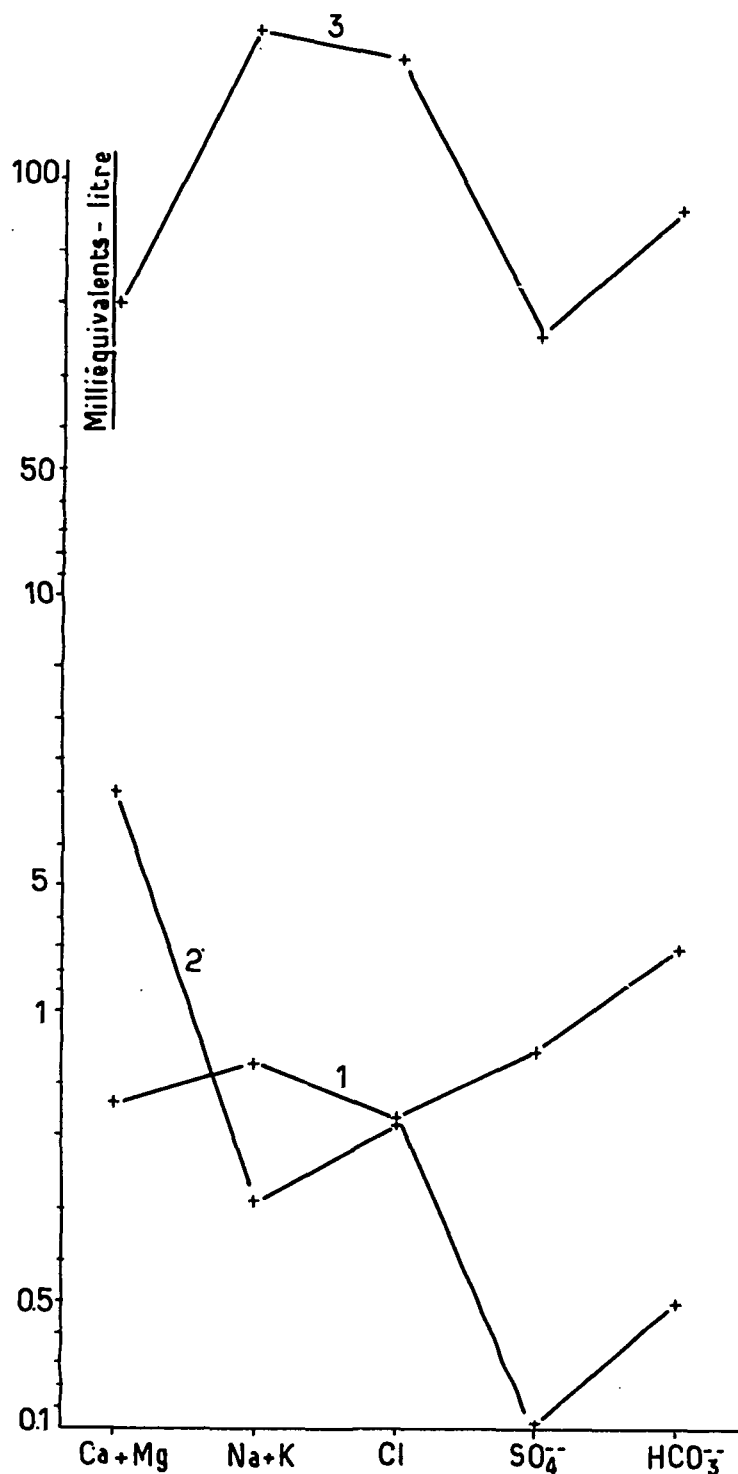


Fig. 17 - Représentation logarithmique des compositions chimiques moyennes des eaux : 1 - issues d'un granite, 2 - issues d'un grès, 3 - issues de terrains gypseux ou salifères. (Analyses tirées de Schoeller - 1955).

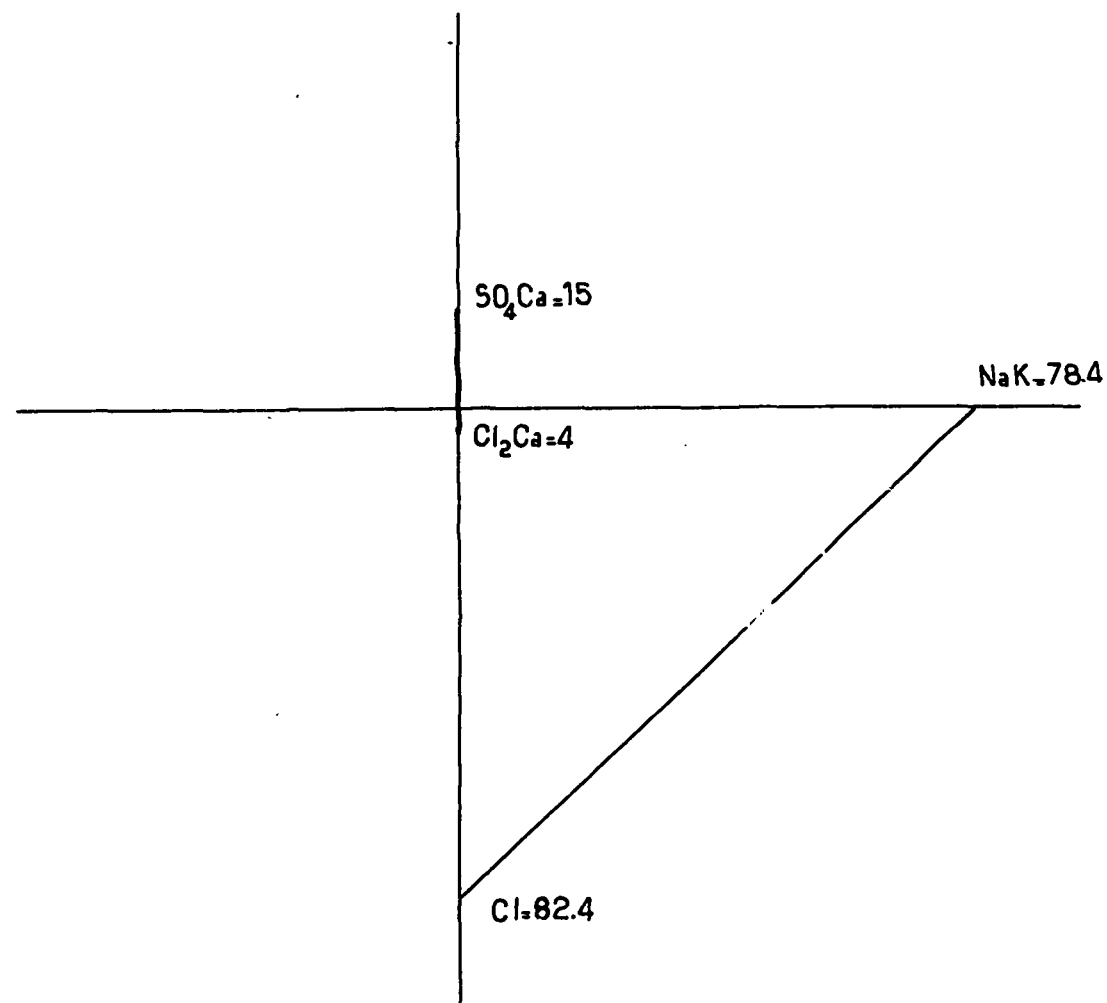


Fig. 18 - Représentation graphique de la composition chimique de l'eau thermique des sondages n° 10 et 13. Bourbonne-les-Bains (Hte-Marne).

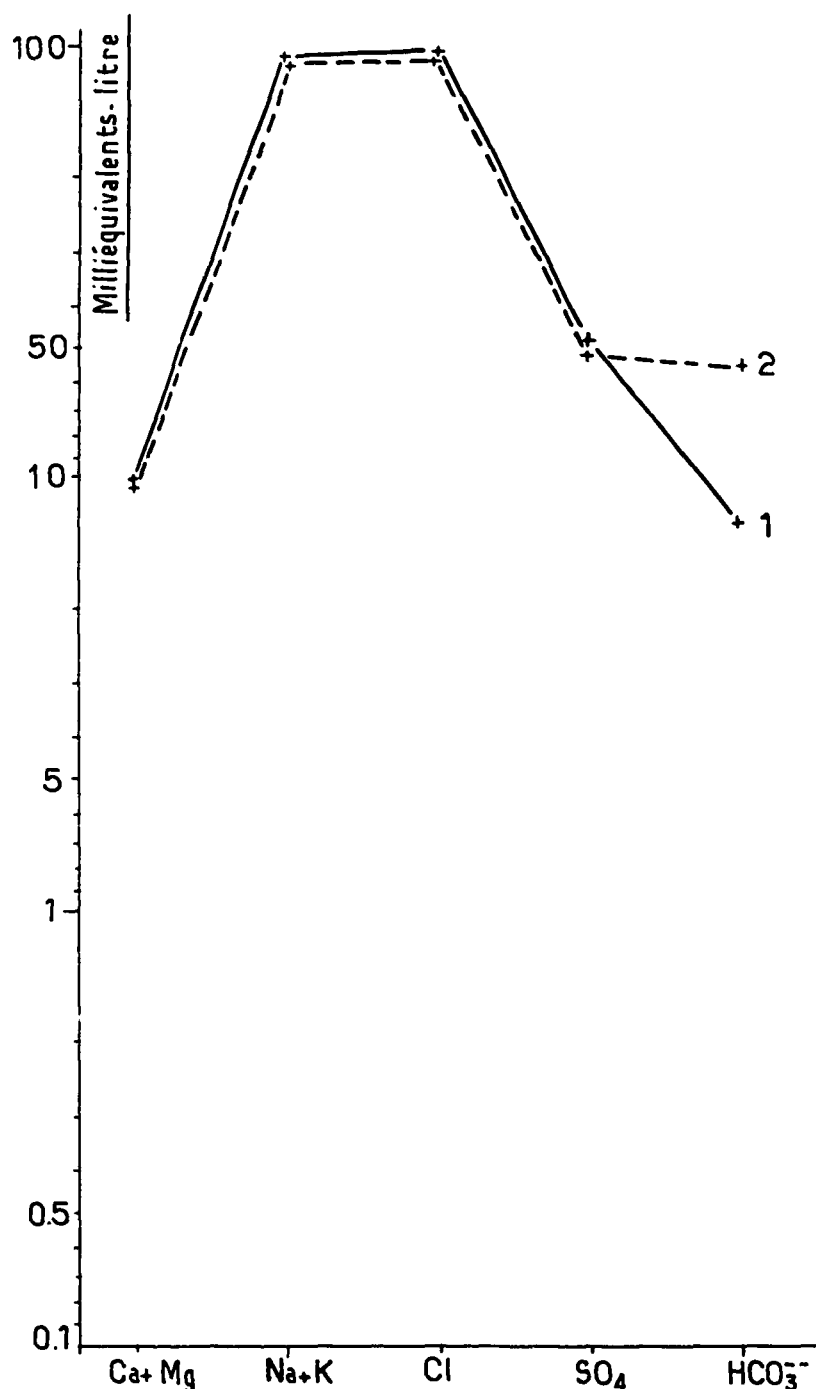


Fig. 19 - Représentation logarithmique de la composition chimique des eaux de Bourbonne : 1 = Sondage n° 10
2 - Collecteur.

sources Hygie, Ferrugineuse Nord (peut-être également Martin et Ferrugineuse Sud), proviennent des assises du grès bigarré et ont acquis leur thermalité du fait de leur circulation dans le massif évidemment réchauffé par les eaux profondes de haute température. Il a semblé utile de donner la formule, la représentation triangulaire et logarithmique de l'eau de Chateldon (fig. 20 et 21) qui transporte actuellement des quantités d'uranium de même ordre que les eaux de Bains-les-Bains (Pou-ghon A. 1955).

Conclusions

Les eaux thermales rencontrées dans le Sud des Vosges sont donc assez nombreuses. Il existe 3 aires thermales dont deux en plein granite : Bains-les-Bains et Plombières. Les eaux de ces deux localités sont en tout point semblables. Mais elles diffèrent profondément des eaux de Luxeuil auxquelles nous attribuons une origine toute différente : circulation sur le flanc d'un synclinal et non dans le massif granulitique. La composition chimique des eaux vient étayer cette hypothèse, élaborée à partir des renseignements fournis par les sondages exécutés dans toute la région.

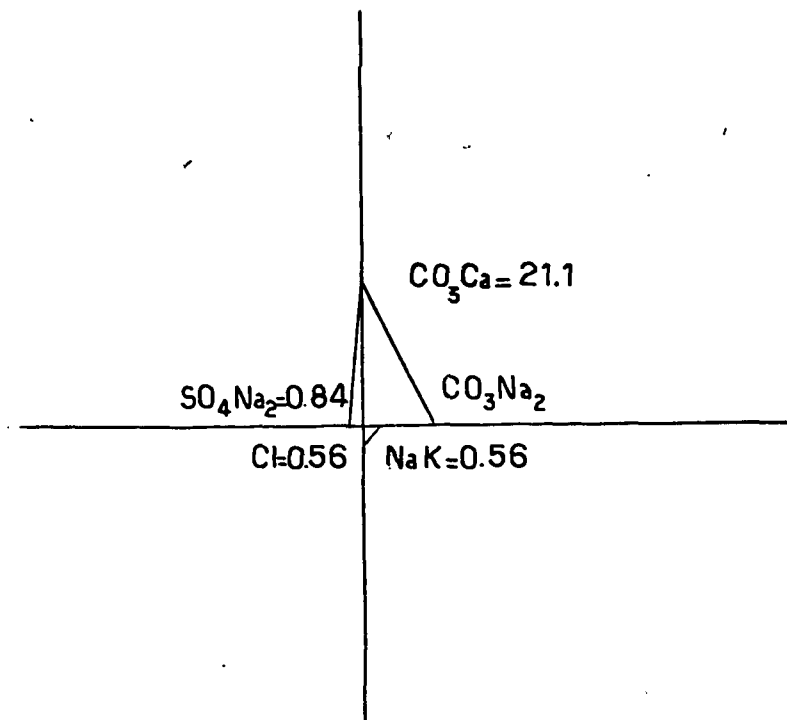


Fig. 20 - Représentation graphique de la composition chimique de l'eau de la Source de la Montagne Châteldon-Puy-de-Dôme.

V - CONNAISSANCES ANTERIEURES SUR LA RADIOACTIVITE DES ROCHES ET DES EAUX DU SECTEUR ETUDIE.

Les premiers renseignements relatifs à la radioactivité des roches dans ce secteur sont ceux recueillis par le groupe Delaby, Charonnat, Janot qui, en 1931, obtiennent les résultats suivants :

Tableau 19

Radioactivité α et teneur en équivalent Uranium des granites des Vosges d'après Delaby, Charonnat et Janot.

	Activité relative	Equivalent U en ppm à l'équilibre (1)
Granite de Plombières (Source Lambinet)	9	51
Granite du Champ du Feu	1,5	8,5
Granite du Hohneck	4,5	25
Granite du Ballon d'Alsace	17,5	100
Quartz granite du Ballon d'Alsace	12,5	70
Feldspath "	2	11
Mica "	23	130
Amphibole "	15,5	88

Il est remarquable que l'activité du granite du Ballon d'Alsace soit très élevée. Les minéraux responsables de cette activité sont surtout quartz, mica et amphibole (donc ferromagnésiens).

Les autres données sont beaucoup plus proches de nous et ont été récoltées par une équipe de la mission préliminaire que le Commissariat à l'Energie Atomique chargea, au début de 1950, d'apprécier la nécessité de mettre en place une mission plus importante (Ziegler V., Bizard C., 1950).

Cette équipe avait pour mission de reconnaître un point minéralisé en autunite, découvert par un prospecteur local : M. Romary et d'étendre ses investigations aux régions minéralisées qui avaient fait l'objet de recherches antérieures.

Les résultats obtenus peuvent se décomposer en deux groupes : l'un concernant les zones minéralisées, l'autre concernant la radioactivité en général des granites des Vosges.

(1) L'étalon référence correspondait à une activité relative de 687, pour une teneur en Radium de 1,18 mg de Ra par tonne en équilibre séculaire avec l'Uranium.

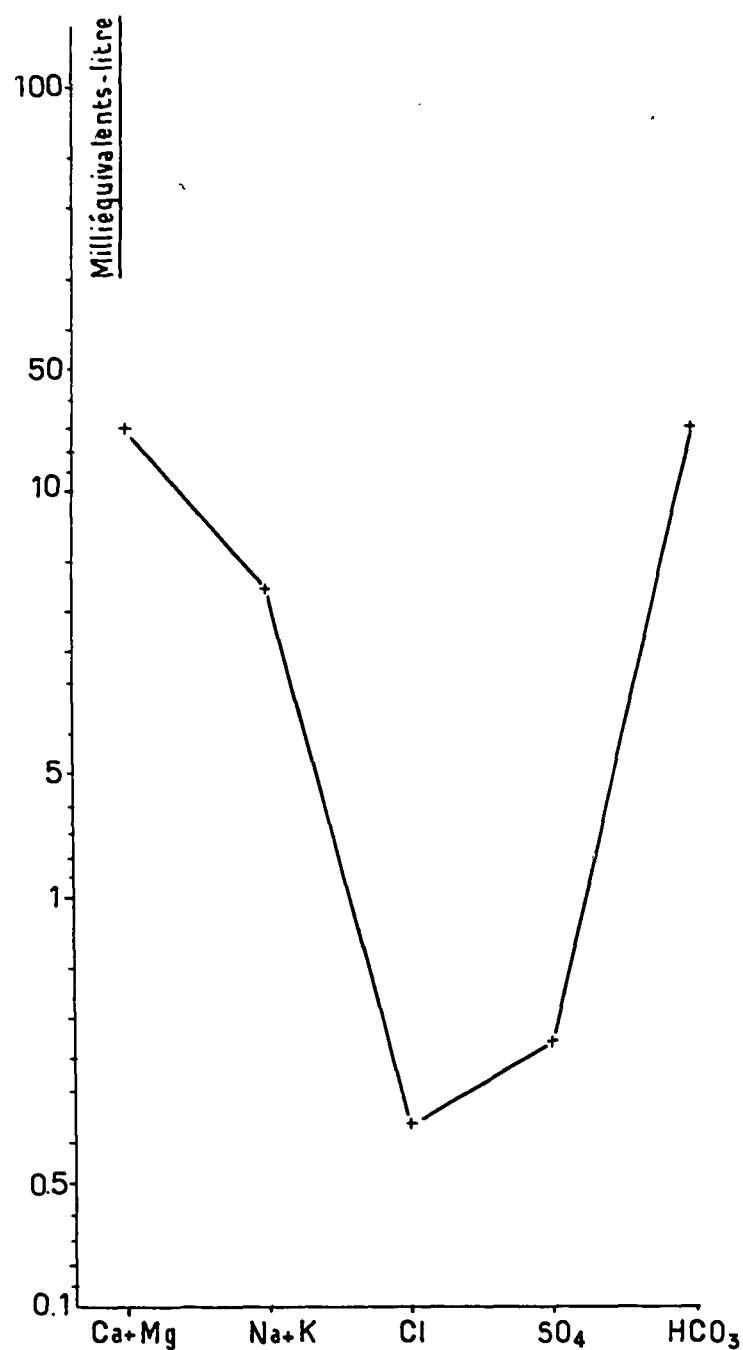


Fig. 21 - Représentation logarithmique de la composition chimique de l'eau uranifère de Chateldon (Puy-de-Dôme) Source de la Montagne.

Tableau 18

Composition chimique des eaux thermales de Bourbonne (a et b) et de Chateldon (c).

	a Sondage 10	b Collecteur	c La Montagne
Na mg/l.	2059	2047	131
K	109	116	10
Ca	469	480	211
Cl	3403	3362	10
SO ₄	987	956	21
HCO ₃	48	113	860
Mg			45
Fe			11

a) Zones minéralisées.

Dans un paragraphe précédent, les minéralisations ont été décrites sans qu'il ait été fait mention de la radioactivité. Celles qui ont été étudiées par le C.E.A. dans notre secteur sont successivement, la description allant de l'Ouest vers l'Est :

1) Conglomérat minéralisé en autunite du Val d'Ajol. La mission du C.E.A. dans les Vosges avait comme objectif de contrôler un point minéralisé.

Il s'agit d'un conglomérat permien interstratifié dans des argilites. Il affleure dans un chemin creux, en un point situé à peu près à 400 m au S.E. de la Feuillée Dorothée, à proximité du chemin vicinal ordinaire du Val d'Ajol à Plombières. La radioactivité sur ce point atteint 140c/s AVP (1) (407. 140-127. 300 Lambert, Zone Nord). Ce conglomérat est fortement rubéfié. Cette rubéfaction est variable suivant les types pétrographiques des roches permienes. Les grès sont grenat, les argilites et conglomérats arkosiques sont mauve-lilas, tandis que les conglomérats à autunite sont briques à bruns.

La radioactivité semble être fonction de cette rubéfaction. Non rubéfiée, une formation a une activité de 20c/s AVP, tandis qu'elle peut atteindre 50 c/s AVP sur les zones rubéfiées.

2) Grand filon de quartz de la Vallée des Roches.

La radioactivité sur le quartz varie de 12 à 30 c/s A V P, suivant que le quartz est frais ou suivant qu'il est broyé et fissuré.

Les filons de barytine qui lui sont accolés, montrent une activité de 16 à 20 c/s A V P, tandis que le filon de fluorine atteint 18 à 20 c/s. La roche encaissante : granulite, possède une radioactivité plus élevée : 40 à 50 c/s.

3) Filon bréchique à quartz, oxyde de manganèse et barytine. L'activité reconnue sur ce filon est variable de 17 à 24 c/mn G P S (2), soit environ 14 à 20 c/s A V P.

4) A proximité de l'ancienne route départementale du Val d'Ajol à Corravillers, sur le flanc N du bois du Haut Mont, se rencontre un filon de quartz avec fluorine. L'activité est de 15 à 20 c/s A V P.

5) Enfin, la mission C.E.A. a étudié l'activité γ d'anciens travaux de recherches de vanadinite à proximité d'Hérival. L'activité γ sur les haldes est élevée : 80 c/s A V P et les échantillons présentent, pour un poids de 150 g. environ, une activité double du mouvement propre.

Dans la région, cette mission a donc recueilli un certain nombre de résultats sur les minéralisations; en outre elle a effectué quelques mesures sur les roches encaissantes qui peuvent se résumer ainsi :

granite porphyroïde
35-45 c/s AVP

granite à grain fin
22-25 c/s AVP

Les sédiments permien quant à eux voient les activités se répartir ainsi qu'il suit :

Argilites 25 c/s - Conglomérats 22-25 c/s - Grès 22 c/s. AVP

Les micaschistes et amphibolites du socle atteignent respectivement 15-17 et 25 c/s AVP.

En se déplaçant vers l'Est, se rencontrent les anciennes recherches de Saint-Bresson. L'activité sur le filon de quartz et fluorine est 20 à 25 c/s A V P et sur le granite encaissant 25-30 c/s.

Puis, sur le territoire de la commune de Faucogney, existent les vestiges des mines de manganèse. L'équipe du C.E.A. a noté une radioactivité de 28 à 40 c/s A V P dans la galerie de l'étang Corveraine. Dans une galerie voisine, à l'ouest, l'activité est de 24 à 30 c/s A V P, tandis que la galerie Est n'atteint que 8 à 10 c/s AVP.

A Saphoz-Haut, l'activité sur le filon est de 36-37 c/s A V P. Une activité semblable est reconnue sur le filon de Saphoz-Bas, tandis que la roche encaissante n'atteint que 28 c/s A V P.

Les autres formations minéralisées sont situées plus à l'Est et forment le district de la région de Château-Lambert.

(1) 1 C/s AVP correspond à une activité γ égale à 12,5 microrentgen par 24 heures.

(2) C/m GPS = activité mesurée à l'aide d'un gammaphone portatif à sonde du C.E.A.

a) Mines du Baudy - Le filon de fluorine avec mouches de galène possède une activité sur les déblais de 22 c/s A V P, la roche encaissante, granite à grain fin, 32 c/s A V P.

b) Au Sud de cette zone minéralisée, dans les roches microlitiques, une ancienne mine de fer présente, tant sur les haldes que sur le filon, une activité de 25 c/s A V P.

c) Les formations minéralisées de Château-Lambert sont plus intéressantes. La radio-activité de la roche encaissante : diorite, atteint 20 c/s A V P, tandis que le filon montre, suivant les points, des activités de 20 à 30 c/s A V P. Cependant, la pegmatite, dans une recoupe de la branche Est, atteint 120 c/s A V P. Il s'agit de la minéralisation uranifère associée à la pegmatite à molybdénite, chalcopryrite et pyrite. Les minéraux uranifères sont : Uraninite et Brannérite. (cf. p. 37). Les haldes du versant du Thillot ont aussi une activité γ assez élevée : 40-50 c/s.

b) Radioactivité des roches.

1) La mission, au cours de son étude, a noté la radioactivité élevée du granite sur certains affleurements :

Granite des Granges (Val d'Ajol)	35 - 45 c/s AVP	
Granite travers banc d'Hérival	55	"
Granite mine de fluorine de la vallée des Roches	40 - 50	"
Granite Clairegoutte - Faymont	35 - 40	"
Granite de Plombières, Source des Capucins	35	"
" Vallée	35 - 45	"
Granite de Rovillers - St Bresson	35	"
Granite Route du Col des Croix à Château-Lambert	50 - 70	"

Les autres données ont été recueillies au cours des travaux d'établissement de la carte radio-géologique des Vosges hercyniennes. Ces travaux ont été exécutés par Rothé J. P. et ses Elèves (1952 - 1957). Cette carte apporte un grand nombre de renseignements concernant les roches du socle. Elle confirme en particulier l'activité élevée du granite à amphibole : 14 à 18 ions/cm³/sec, soit environ 20 à 30 c/s A V P (1). En ce qui concerne les Vosges méridionales, J. P. Rothé interprète ces résultats par analogie avec ceux obtenus sur les granites canadiens par Slack (1949). Le massif actif de l'Est du Ballon de Servance serait un morceau de la zone de bordure, à faciès souvent microgranitique, d'un grand massif situé au Nord-Ouest de la zone à forte activité.

D'autre part, le même auteur pense que "l'augmentation de la radioactivité des roches viséennes est particulièrement nette : les coulées deviennent plus actives que celles du même type pétrographique, mais d'âge plus ancien".

c) Radioactivité des eaux

Si l'étude de la radioactivité des roches du secteur est de date relativement récente, il n'en est pas de même pour les eaux. En effet, la découverte de la radioactivité de certaines eaux, et plus particulièrement des eaux thermales, (ce caractère a retenu l'attention des chercheurs qui paraissent avoir tenté de relier la thermalité à la radioactivité), a suivi de très près la découverte des éléments radioactifs eux-mêmes.

Dès 1904 les gaz des eaux thermales de Plombières sont étudiés par Curie P. et Laborde (1904 et 1906), puis, les études poursuivies par Brochet (1908-1910) et étendues aux eaux thermales captées ou non.

Les résultats obtenus à cette époque sont difficilement exploitables. Ils sont exprimés en mg/Ra minute pour 10 litres d'eau. Le tableau 20 résume les chiffres obtenus par Brochet et permettent une comparaison avec les résultats d'études similaires.

Dans le même temps, Dienert F. (1906) étudiant quelques eaux froides du Bassin Parisien, essaye de mettre en lumière une relation entre la radioactivité et certaines formations géologiques du périmètre d'alimentation. Il sera suivi plus tard par Kerner (F. Von, 1914).

Puis, pendant une quinzaine d'années, l'activité des chercheurs se tourne vers d'autres problèmes et à partir de 1920 apparaissent certaines hypothèses sur les relations possibles entre la radio-activité des roches et celle des eaux. Ainsi, en France, Dienert F. et Bouquet E. (1920) font

(1) Les mesures faites par Rothé J. P. et ses élèves, ont été exécutées suivant une maille kilométrique à l'aide de chambre d'ionisation, gammamètre, gammaphone. Les valeurs mesurées ont été ramenées en ions/cm³/s : Elles sont obtenues par le calcul à partir des positions des fils de l'électromètre de la chambre d'ionisation à des temps différents. (1 ion/cm³/s équivaut approximativement à 1,5 c/s AVP).

apparaître une relation entre la radioactivité des eaux souterraines et leur hydrologie, tandis qu'en Amérique Engel R. et Bohn J. L. (1930) tentent de mettre en évidence les relations entre les problèmes géologiques et la radioactivité des roches et des eaux ; alors qu'en Allemagne Genser (1932-1933) établit une classification des eaux radioactives.

Tableau 20

Radioactivité relative des eaux thermales de la région de Plombières, d'après Brochet.

<u>Robinet Romain</u> 1,01	<u>Vauquelin</u> 0,66	<u>Galerie Thalweg</u> n° 1 1,13 2 0,92 3 1,01 4 0,88 5 1,01 6 0,91 7 0,25 8 0,20	<u>Capucins</u> 1,60	<u>Dames</u> 1,47
<u>Lambinet</u> 2,18	<u>Bizot</u> A : 1,57 B : 1,42	<u>La Chaudeau</u> Rivière : 0,89 Prairie : 0,82	<u>Fontaine Chaude de Gruey</u> 0,58	

D'autres chercheurs découvrent ensuite certaines relations : Jacquet C. (1926), montre dans le Puy-de-Dôme que des sources radioactives proviennent d'un filon de quartz à chalcopite, et Baldit A. (1925) repère un alignement de sources radioactives.

L'appareillage utilisé est alors uniquement l'électroscope à feuille d'or, type Danne ou Cheneveau-Laborde 1910, (fig. 22).

Dans la région que nous étudions, le centre d'intérêt se porte sur les eaux thermales : Delaby R., Charonnat, G., Janot M., (1931), et Monal L. (1936) ; puis sur les eaux froides : Delaby et al. (1931-1932 et 1933).

Les résultats obtenus pour les différentes localités sont alors les suivantes :

Tableau 21

Radioactivité due au Radon des eaux thermales de Plombières, d'après Brochet, Laborde et Delaby et al.

Auteurs :	Brochet 1910		Laborde 1924	Delaby-Charonnat-Janot 1931	
Sources	t°	Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	t°	Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l
Thalweg n° 9			85	73° 5	59,5
Vauquelin	68° 5	42,7	78	68° 9	95,7
Robinet Romain	68° 7	65,4	81	68° 7	95,1
Collecteur Romain				57° 2-57° 8	92,0-100
Thalweg n° 10				55° 6-53° 4	67,5-81
Dames	52° 3	95,2	111	51° 9-52°	114,7-138,4
Capucins	51	103,6		50°	134,9
Lambinet 147 à 170					
Savonneuse 130 x 10 ⁻¹⁰ Ci/l					

* Ci/l = Curie par litre.

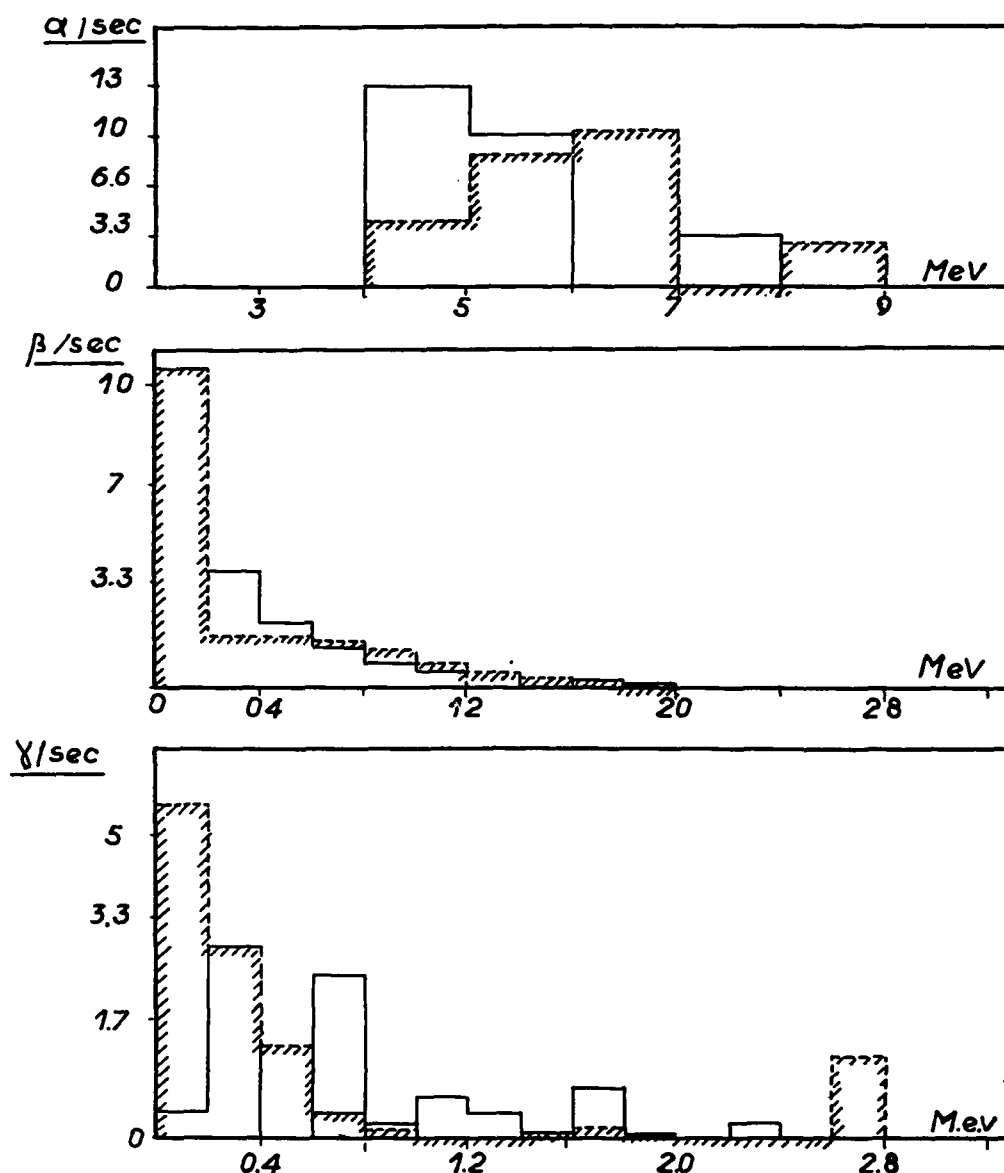


Fig. 22 - Histogrammes de la répartition des activités α , β , γ des familles de l'Uranium et du Thorium (hachures) à l'équilibre.

Tableau 22
Radioactivité due au Radon des eaux thermales de Bains-les-Bains
d'après Monal.1936.

Sources	t°	Radon 10^{-10} Ci/l	Sources	t°	Radon 10^{-10} Ci/l
St Colombar	50	55	de la Vache	34	119
Romaine	41	56	de la Promenade	34	72
Robinet de cuivre	47	75	Casquin	39	106
Robinet de fer	48	75	Féconde (1)	41	113
Grosse Source	46,5	72	Féconde (2)	38	138
Tempérée	46	70	Fontaine de Gruy	27	36

Luxeuil-les-Bains - (Monal L., 1936, à la suite des travaux de Laborde en 1910).

Source Martin 63×10^{-10} Ci/l et 64×10^{-10} Ci/l
Source des Dames $29,6$ et 24×10^{-10} Ci/l
Hygie 92 et 93×10^{-10} Ci/l

Sondage n° 3	22 × 10 ⁻¹⁰ Ci/l
Sondage Bursaux	11 × 10 ⁻¹⁰ Ci/l
Sondage Bénédictins	11,3 × 10 ⁻¹⁰ Ci/l
Source des Capucins	21 × 10 ⁻¹⁰ Ci/l
Siliceuse	95 × 10 ⁻¹⁰ Ci/l

Les renseignements récents sur les eaux thermales sont quasi inexistantes, sauf quelques mesures effectuées à l'aide de compteur de prospection AVP 300. Elles concernent l'eau des sources thermales de Plombières. (Ziegler V, Bizard C. 1950).(1)

Le groupe de chercheurs : Delaby et al. (1931-1932-1933) a étudié d'autre part certaines sources froides des sommets des Vosges.

Les résultats sont rassemblés dans les colonnes suivantes :

1) <u>Année 1931</u>	<u>Radon 10⁻¹⁰ Ci/l</u>
Champ du Feu	100,8
Hohneck	176,3
Ballon d'Alsace : Source de la Savoureuse	635,1
" " Hôtel Staufer	628,3
Source de la Vologne	150,6
Donon (Velléda)	8,3
Hôtel du Ballon de Guebwiller	20,6
Source de la Moselle	8,3

2) <u>Année 1932</u>	<u>Radon 10⁻¹⁰ Ci/l</u>
<u>Ballon d'Alsace</u>	
Source de la Savoureuse, Branche Ouest	931
" " " Est	635,825,881
Hôtel Staufer	628
Goutte de Morteville	249
Source haute, versant Ouest	441
" " " Nord (Jumenterie)	464
Source Grand Hôtel du Ballon	240
Source de la Grande Goutte	203
" " " de la Jumenterie	69
Source de Grande Goutte du Stalon	45
Source du Rahin	20
Source de l'Alfeld	7

3) <u>Année 1933</u>	<u>Radon 10⁻¹⁰ Ci/l</u>
<u>Ballon d'Alsace</u>	
Source de la Savoureuse, Branche Ouest	931,1063,1025,967 (variations dues aux chutes de pluies)
Goutte Belleau	50
Goutte Thiéry	22
Goutte des Forges	50
<u>Ballon de Servance</u>	
Source du sommet du Ballon de Servance ...	27
Source versant du Frey	192
Fontaine Marie-Anne	129
Source des Arrachis	118
Goutte de la Fonderie	381
Goutte des Saules	108

Monal L. (1936), au cours de son étude, a également publié quelques données sur des eaux froides de la région de Bains-les-Bains.

(1) L'activité mesurée par cet appareil est une activité γ .
L'activité mesurée au griffon de la source des Capucins a été de 35 c/s AVP, tandis que celle de la source des Dames n'a donné que 20 c/s AVP.

Il s'agit d'eaux froides provenant du socle ou du grès.

<u>Socle</u> :	t°	Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l
Source du Moulin	12°	140 et 123
Source du Parc	11°	138
Promenade	7°	17
<u>Grès</u> :		
Terre les Fer	12°	6
Million	-	0

Quand aux mesures récentes sur des sources du secteur, elles sont bien peu nombreuses et l'on ne peut citer que l'activité de 80 à 240 c/s AVP de la Source de la Savoureuse, au sommet du Ballon d'Alsace (Rapport C.E.A. inédit).

CONCLUSION

Le secteur étudié apparaît donc très complexe. Nous avons essayé d'en dégager les caractères géologiques et tenté d'en montrer les conséquences dans des aires plus petites.

Cette région a été affectée par les différentes phases de l'orogénèse hercynienne qui lui a donné ses grands caractères. La transgression triasique ne les a guère modifiés. Cependant, les phénomènes tectoniques tertiaires ont dû jouer un rôle certain.

Il est probable qu'à cette époque les accidents antérieurs ont rejoué et ont favorisé la mise en place des filons minéralisés, dont les eaux thermales sont encore les témoins actuels.

Enfin, les glaciations du quaternaire ont, dans la région centrale, laissé de nombreuses marques qu'il sera possible de reconnaître un peu partout au hasard des chemins.

En ce qui concerne la radioactivité, les renseignements apportés par les travaux antérieurs, nombreux mais dispersés, nous permettent de dresser le bilan suivant :

a) Roches :

L'équipe de la mission C.E.A., au cours de prospections, a pu reconnaître avec certitude deux points minéralisés : l'un en autunite, aux Granges, (-Val d'Ajol) ; l'autre en uraninite et brannerite, dans la pegmatite de Château-Lambert. Mais, dans les deux cas, les minéralisations ne sont pas économiquement valables.

De plus, la mine de vanadinite d'Hérival présente une activité notable, mais sans minéralisation caractérisée.

La radioactivité γ des roches est très élevée. L'équipe du C.E.A. a été étonnée des valeurs obtenues en cours de prospection.

J.P. Rothé et ses élèves a confirmé certaines valeurs et tenté une interprétation.

b) Eaux :

Nous savons que les eaux thermales sont assez actives, mais que les eaux froides présentent des activités non négligeables, certaines voisines de celle connue en France pour être la plus active : Chateldon (Puy-de-Dôme). Un essai de mise en relation entre la radioactivité des eaux et des roches a été tenté (Delaby et al.). Si elle n'est pas évidente, elle apparaît comme possible, étant donné le nombre restreint des résultats d'analyse.

Cependant, on ne connaît rien de la radioactivité γ des roches sédimentaires (grès triasique par exemple) ni de l'activité α des granites et de la répartition de cette activité ; de plus, on ignore la part respective à assigner aux familles de l'Uranium, du Thorium et du Potassium. Les relations de ces familles avec les éléments majeurs des roches ne sont pas connues. Enfin, les relations entre radioactivité des roches et des eaux ne sont que soupçonnées. De plus, les teneurs en Uranium et en Radium des eaux n'ont pas été étudiées.

C'est à ce complément d'information que ce travail visera.

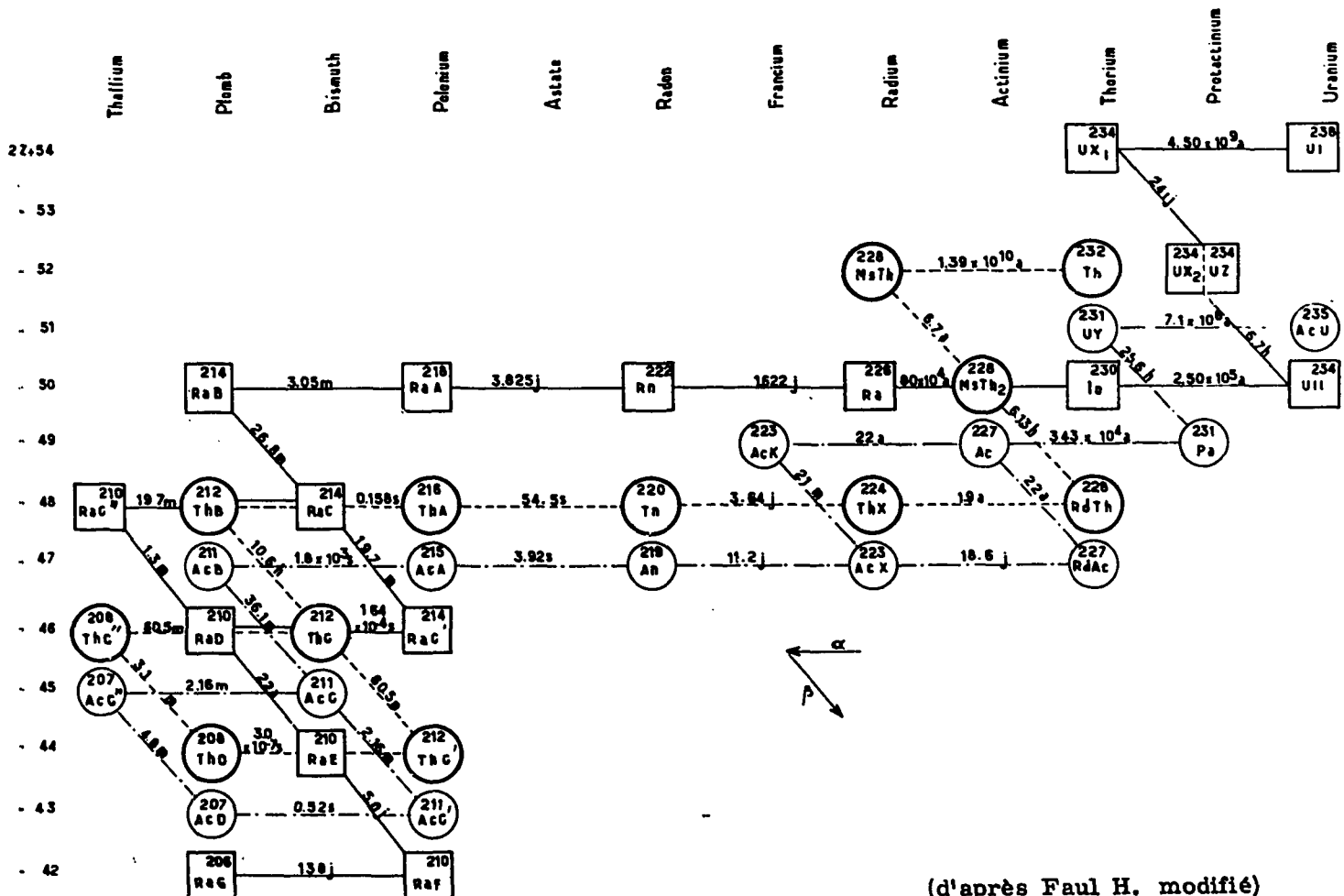
CHAPITRE II

RAPPEL DES PRINCIPALES PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DES ÉLÉMENTS DES FAMILLES URANIUM-RADIUM ET THORIUM RECHERCHES SUR LA RADIOACTIVITÉ DES ROCHES DU SECTEUR

Les éléments dont nous nous occupons plus particulièrement sont ceux des deux grandes familles naturelles U-Ra et Th.

I - FAMILLE DE L'URANIUM.

On connaît actuellement trois isotopes (fig. 23) U_I , U_{II} , et AcU (actinouranium), de masses respectives 238, 234 et 235 ; l'abondance en est de 99,28/0,0058/0,71. Ce sont trois émetteurs α .



Ces éléments constituent la tête de séries radioactives représentées dans le tableau 23 :

Tableau 23
Famille de l'Uranium d'après Hurley modifié

Radioéléments			Energie, en MeV, des rayonnements			
Nom	Isotope	Période (demi-vie)	α	Parcours		γ
				dans l'air (cm)	dans la gélatine (microns)	
U_I	$^{238}_{92}U$	$4,51 \times 10^9$ années	4,21	2,65	11,7	0,05 coïncidant avec 22 % des α
Uranium						
U_{x_I}	$^{234}_{90}Th$	24,1 jours				0,2-0,1
U_{x_2}	$^{234}_{92}Pa$	6,7 heures				2,32-15
U_{II}	$^{234}_{92}U$	$2,5 \times 10^5$ années	4,76	3,24	14,2	0,092 : 20 % des désintégrations 0,78-0,82 2 % des désintégrations 0,053 1/ 0,093 0,2/ 0,118 0,4/
Io Ionium	$^{230}_{90}Th$	8×10^4 années	4,68 (4,61)	3,15	13,7	0,068 11% des désin- tégrations 0,14 et 0,25 e/ γ = 46 avec 25% d' α
Ra Radium	$^{226}_{88}Ra$	$16,22 \times 10^2$ années	4,79 (4,61)	3,29	14,4	0,188 e/ γ = 0,5 (0,9) avec 5,7% d' α
Rn	$^{222}_{86}Rn$	3,825 jours	5,49	4,04	17,8	
RaA	$^{218}_{84}Po$	3,05 minutes	6,0	4,64	20,1	
RaB	$^{214}_{82}Pb$	26,8 minutes				0,7 (0,65)
RaC	$^{214}_{83}Bi$	19,7 minutes	5,505	4,06	17,7	1,65 3,17
RaC'	$^{214}_{84}Po$	$1,6 \times 10^{-4}$ seconde	7,68	6,97	38,4	1) 0,053 2) 0,257 0,2 3) 0,352 4) 0,242 0,55 5) 0,295 1 0,609 9 0,766 1,3 0,933 1,1 0,12 2,6 1,238 1 1,379 0,9 1,52 0,7 1,761 3,2 1,81 0,2 2,2 1 2,42 0,5 par β
RaC''	$^{210}_{81}Tl$	1,32 minute				1,8
RaD	$^{210}_{82}Pb$	22 années				0,026 (0,018)
RaE	$^{210}_{83}Bi$	5 jours				1,17
RaF	$^{210}_{84}Po$	2,3 minute	5,3	3,83	16,8	0,8 10^{-3} %
RaG	$^{206}_{82}Pb$	stable				

Remarque : Le rapport e/ γ est le nombre d'électrons de conversion émis par rapport au nombre de γ émis.

1 - Conséquences

1-1) Lorsque la famille de l'Uranium est en équilibre, il y a huit émetteurs α et 1×10^{-6} g (1 microgramme) d'Uranium en équilibre émet $12 \times 10^2 \alpha$ par seconde dans 4π .

La famille en équilibre émet un certain nombre de rayonnements β dont 4 sont importants en dosimétrie.

Quant aux γ , la famille de l'Uranium en émet un grand nombre et au total 1×10^{-6} g correspond à $24 \times 10^2 \gamma$ par seconde en 4π .

1-2) Les périodes étant très différentes, des séparations de un ou plusieurs éléments pourront se produire. Nous aborderons plus loin ce problème ; cependant, deux exemples peuvent illustrer ces faits :

a) La période du Radium est de $16,22 \times 10^2$ années. Au terme de 10 périodes, il n'existera pratiquement plus de Radium. Or, 16 000 années sont quasiment négligeables, soit à l'échelle géologique d'une ère, soit devant la période de l'Uranium : $4,51 \times 10^9$ années. Il semble certain qu'au cours des ères géologiques, des remaniements ont conduit à des expurgations de Radium (Leutwein F., 1957).

b) Dans un sens tout différent, la très courte période de certains éléments va faire qu'il n'y aura pas de séparation. Une pseudo-période pourra même être mesurée. Ainsi les descendants solides du Radon : Ra A, Ra B, Ra C ayant respectivement 3,05, 26,8 et 19,7 minutes, ont ensemble une pseudo-période d'environ 40 minutes.

Mais outre ces différences de vitesse de désintégration, d'autres facteurs vont jouer un rôle prépondérant dans le comportement de la famille de l'Uranium dans la nature. Il s'agit plus particulièrement des propriétés chimiques et des propriétés physiques des divers membres de la famille.

Seuls les éléments les plus importants doivent retenir l'attention.

2 - Uranium.

Situé dans la classification périodique de Mendeleïeff dans la colonne du tungstène, du chrome et du molybdène, l'Uranium montre, en commun avec ces métaux, sa facilité très grande de changer de valence, et l'on connaît des composés de l'Uranium depuis la valence II, jusqu'à la valence VI. A quelques exceptions près, seuls les composés U^{4+} et U^{6+} sont capables d'exister en solution aqueuse. En général, ce sont les composés en U^{6+} qui sont les plus stables. Par contre, les ions U^{4+} , s'ils ne sont pas stabilisés par formation de complexe, ont tendance à s'oxyder, formant des cations uranyle UO_2^{++} ou des ions uranates UO_4^{--} ou $U_2O_7^{--}$.

La tendance des ions U^{4+} à se transformer en ions uranyle UO_2^{++} peut être exprimée quantitativement par le potentiel d'oxydation. En effet, la réaction $U^{4+} + 2H_2O \longrightarrow UO_2^{++} + 4H^+ + 2e^-$ développe un potentiel de + 0,41 volt. Ceci indique que dans une solution normale en ion hydrogène, l'ion U^{4+} a une tendance plus forte à être oxydé que le Fe (mais, par exemple, moins forte que le Sn^{2+}) : respectivement $Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+} + e^- + 0,782$ volt (1) $Sn^{2+} \longrightarrow Sn^{4+} + 2e^- + 0,133$ volt.

Si la concentration en hydrogène est basse (pH élevé), la tendance à l'oxydation de U^{4+} décroît.

Dimensions des ions U^{4+} , U^{6+} et UO_2^{++} .

Ahrens (1951) assigne à la suite de Zachariassen (1931) à U^{4+} et U^{6+} (à la coordinance 6) respectivement un rayon ionique de 0,97 et de 0,80 Å. Un certain nombre d'éléments autres que ceux du groupe des lanthanides et des uranides ont un rayon ionique voisin ; il existe donc possibilité de remplacement isomorphique entre l'Uranium et ces éléments dans la mesure où les valences sont respectées. Il s'agit de :

(1) Cette propriété est importante en métallogénie : l'uranium transporté en solution à la Valence 6 (UO_2^{++}) serait réduit par le fer ferrique Fe^{+++}



Ceci est conforme aux résultats de Clarke (R.S.) et Altschuler (Z.S.), 1958, réduction de U^{6+} par Fe^{3+} dans l'étude de l'état d'oxydation de l'Uranium des apatites, et aux observations de Geffroy (J.) et Sarcia (J.A.) 1960, auréole de réduction du fer, apparition concomitante de pyrite, autour des nodules de pechblende.

$U^{4+} = 0,97 \text{ \AA}$	$U^{6+} = 0,80 \text{ \AA}$
$Ca^{2+} = 0,99$	$Fe^{2+} = 0,74$
$Cd^{2+} = 0,97$	$Mn^{2+} = 0,76$
$Cu^{+} = 0,96$	$V^{3+} = 0,74$
$Na^{+} = 0,97$	$Ti^{3+} = 0,76$

Par exemple, l'uranium tétravalent peut donc remplacer le calcium et le sodium dans les plagioclases.

L'ion uranyle UO_2^{2+} possède une très grande stabilité si bien qu'il existe parfaitement en solution. La taille de cet ion est grande : $1,4 \text{ \AA}$ sur $3,4 \text{ \AA}$.

L'ion uranyle UO_2^{2+} , surtout en milieu acide, montre une fluorescence lorsqu'il est excité en lumière ultra-violette (de 2535 à $3650 \text{ \AA}$).

Il donne une fluorescence vert jaune à vert, commune à tous les sels d'uranyle. Cependant des substances comme le fluorure de sodium NaF , ou le fluorure de potassium KF , où l'oxygène est apparemment absent, montre cette fluorescence. Dans ce dernier cas, le milieu est tel que l'existence du radical uranyle est possible. Cette propriété est utilisée pour la détection des minéraux uranifères, mais aussi pour déterminer les teneurs peu élevées en Uranium des roches (p.122).

Pour compléter cette revue succincte des propriétés de l'ion uranyle, il faut citer le nitrate $(NO_3)_2 UO_2 \cdot 6 H_2O$. Le nitrate est très soluble dans l'éther éthylique, mais aussi dans certains solvants organiques : acétate d'éthyle, ou dans des esters tel le tributylphosphate. Cette propriété est utilisée dans l'extraction quantitative du nitrate d'uranyle en vue du dosage.

Le sulfate $(SO_4) UO_2 \cdot 3 H_2O$ peut être utilisé aussi en vue du dosage. Une séparation quantitative de sulfate d'uranyle par des amines a été étudiée par C. Boirie (1958 a, 1958 b, 1960). Il semble qu'il y ait là une voie intéressante à reconnaître. La séparation des sulfates permettrait d'éviter une étape intermédiaire nécessaire dans l'extraction du nitrate d'uranyle. Il semble qu'il puisse y avoir ici une possibilité nouvelle de la séparation des traces d'uranium après attaque des roches.

Mentionnons encore le phosphate acide $PO_4 H UO_2 \cdot 4 H_2O$. Insoluble, il est utilisé dans le dosage de PO_4^{3-} . Mais on peut utiliser cette propriété pour fixer les traces d'Uranium des eaux sur des colonnes de phosphate (p.211).

Enfin, il existe un complexe carbonaté alcalin $UO_2 (CO_3)_3 K_4$ ou Na_4 ou ammoniacal $(NH_4)_4$. Ce complexe, très soluble, peut servir dans la séparation quantitative de traces. Ce complexe joue certainement, à notre avis, un rôle important dans le transport de l'Uranium au cours de processus d'altération.

Sur le plan biologique, il est admis maintenant que la teneur en Uranium des eaux de boissons ne doit pas dépasser $2 \times 10^{-6} \mu Ci/cm^3$, soit 6 mg/litre .

3 - Radium.

Il n'est pas dans nos intentions de faire ici un inventaire complet des propriétés physiques et chimiques du Radium. Les traités de chimie ont abordé ces difficiles problèmes.

Cependant, il nous est apparu nécessaire d'insister sur certaines propriétés importantes dans le domaine géochimique ou dans le domaine du dosage.

On sait que le Radium, du fait de sa période courte par rapport à celle de l'Uranium, est présent dans les minerais d'Uranium en faible quantité : à l'équilibre radioactif, le rapport $Ra/U = 3,4 \times 10^{-7}$. La quantité de Radium dans le globe terrestre serait, si la distribution en était uniforme, d'environ 34×10^6 tonnes.

L'étude de la répartition a été entreprise très tôt, Strutt, en 1906, dose le Radium dans diverses roches et dans des météorites.

Les investigations dans les eaux datent de 1908 (J. Joly). Le Radium est situé, dans la classification périodique, dans la colonne des alcalino-terreux, après le Baryum. Les propriétés du Radium seront assez voisines de ce corps.

Les rayons ioniques sont voisins : Radium, $1,52 \text{ \AA}$ (Zachariassen donne $1,37 \text{ \AA}$) et pour le Baryum, $1,31 \text{ \AA}$ ($1,35 \text{ \AA}$ d'après Pauling) et ce rayon ionique le rapproche du plomb = $1,32 \text{ \AA}$.

Il ne sera donc pas étonnant de rencontrer des minéraux de plomb contenant du Radium en

remplacement isomorphique du plomb. La pyromorphite radifère, la cérusite radifère de Issy-l'Evêque sont fort connues (Danne, 1914).

Le chlorure de Radium est très soluble dans l'eau. A 20° la solubilité est de 245 g par litre. Par contre, le sulfate de Radium est le moins soluble de tous les sulfates. La solubilité est de 21×10^{-4} g par litre. Cependant, le carbonate de Radium, bien que très peu soluble, semble avoir une solubilité un peu plus grande que le carbonate de baryum.

La concentration admise dans l'eau est de $4 \times 10^{-2} \mu \text{Ci/cm}^3$, soit 4×10^{-8} mg/litre, ou 4×10^{-11} Ci/litre.

4 - Radon.

Le radon naît du Radium par désintégration α . Le radon occupe alors la colonne des gaz rares dans la classification périodique.

Ce gaz est très dispersé à la surface du globe terrestre. La teneur moyenne dans l'atmosphère est de 10^{-13} Curie-litre à la surface du sol. Cette teneur diminue avec l'altitude et la latitude. Elle a fait l'objet, depuis longtemps déjà, d'investigations (Schmid E., 1932). Plus récemment Kovach (1944-1945-1946) a étudié le comportement du Radon dans les régions pétrolières des Etats-Unis. Enfin, plus près de nous, citons les travaux de Norinder, Metnieks et Skina (1953) en Suède, et de Servant J. (1960) en France.

Au-dessus des océans, la teneur en radon est d'environ 10^{-15} Curie-litre.

Le radon est soluble dans l'eau. Cette solubilité est plus élevée encore dans les alcools, les solvants organiques, les huiles. Le coefficient de partage $A = \frac{\text{Concentration du radon dans l'eau}}{\text{Concentration du Rn dans l'air}}$ (1 atmosphère)

varie avec la température.

Cette variation suit la relation empirique de Meyer

$$A = 0,105 \times 0,405 e^{-0,0502 t}.$$

Les valeurs de A à diverses températures pour l'eau sont les suivantes :

t°		t°	
0	0,51	40	0,16
5	0,42	60	0,13
10	0,35	80	0,112
20	0,255	100	0,107

La valeur de A diminue avec la présence de sels en solution. Ainsi A = 0,165 pour l'eau de mer à 18°.

Le radon est très fortement adsorbé par le charbon activé, (le charbon de coco à la température de l'azote liquide le retient quantitativement, le gel de silice, le caoutchouc, la paraffine, etc ...

Il semble encore utile de mentionner les effets physiologiques du radon. Bien qu'inerte chimiquement, ce gaz est radioactif. Si son activité propre le rend toxique, cette toxicité est augmentée du fait que les descendants à courte période naissent également émettant des α et des γ très énergiques. La dose de tolérance admise actuellement pour l'air est de 5×10^{-11} Curie/litre (pour 8 heures de travail et 40 heures par semaine). Dans l'eau, la dose de tolérance serait de 40×10^{-10} Curie/litre (Combrisson, 1955).

II - FAMILLE DU THORIUM.

Le chef de file de cette famille est l'isotope $^{232}_{90}\text{Th}$. La famille complète est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 24
Famille du Thorium (d'après Hurley modifié)

Emetteur			Rayonnements émis - Energie en MeV-				
Nom	Isotope	Période (demi-vie)	α	Parcours		β	γ
				dans l'air (cm)	dans la gélatine (microns)		
Thorium	²³² ₉₀ Th	1,39 × 10 ¹⁰ années	3,92 (4,1)	2,6	14		0,055 (24 % des α)
Ms Th 1 Mésothorium	²²⁸ ₈₀ Ra	6,7 années				0,053	0,03
Ms Th ₂	²²⁸ ₈₉ Ac	6,13 heures				1,55	0,058 0,129 0,184 0,338 0,462 0,914 0,964
Rd Th	²²⁸ ₉₀ Th	1,9 année	5,42	4	22		0,084 (28 % des α e/ γ = 12)
Th X	²²⁴ ₈₈ Ra	3,64 jours	5,68 (5,45)	4,32	23		0,241 (4,6 % des α e/ γ = 0,1)
Th Thoron	²²⁰ ₈₆ Rn	54,5 secondes	6,28	5	29		
Th A	²¹⁶ ₈₄ Po	0,16 seconde	6,774	5,64	32		
Th B	²¹² ₈₂ Pb	10,6 heures				0,33	0,115 0,176 0,238 (40 % des désintégrations) 0,249 0,299 (4 % des désintégrations) par α : 0,40 (4 %) 0,144 0,164 0,288
Th C	²¹² ₈₃ Bi	60,5 minutes				2,25 (66%)	0,328 0,432 0,452 0,472 par β : 2,2 1,81 7 % 1,61 7 % 1,34 5 % 1,03 6 % 0,83 19 % 0,72 19 %
Th C'	²¹² ₈₄ Po	0,3 × 10 ⁻⁶ seconde	8,78 (66%)	8,57	42		
Th C''	²⁰⁸ ₈₁ Tl					1,72 (34%)	2,62 100% e/ γ =0,002 0,859 15% e/ γ =0,02 0,582 80% e/ γ =0,02 0,510 25% e/ γ =0,08 0,277 10% e/ γ =0,3

Dans la famille du Thorium, 1 g à l'équilibre correspond à $2,46 \times 10^4$ α /s dans 4π . Ce même gramme à l'équilibre correspond à l'émission de $9,1 \times 10^4$ γ /s dans 4π .

III - FAMILLE DU POTASSIUM.

Ce corps naturel contient un isotope radioactif $^{40}_{19}\text{K}$ dans la proportion de 0,012 %. Le potassium $^{40}_{19}\text{K}$ se désintègre par deux voies : 12 % environ donnent l'argon 40 par capture K et émission γ et 88 % donnent le calcium 40 par émission β .

Les rayons γ émis ont deux énergies : 1,46 et 1,55 MeV, souvent confondues en un seul maximum à 1,5 MeV. Quant au nombre de γ émis par gramme de potassium naturel, les chiffres avancés par divers auteurs divergent fort. Cependant, il semble que l'on puisse tenir pour plus vraisemblable le chiffre de $3,5 \pm 0,4$ γ /s, par gramme dans 4π et, dans le même temps, il y aurait $28,3 \pm 1$ β de 1,33 (1,36) MeV émis en 4π .

Il est intéressant de connaître l'équivalent à l'équilibre de chacun de ces trois familles émettrices γ .

L'équivalence du potassium est très controversée. Hess et Roll (1948) assignent une équivalence de $0,89 \times 10^{-10}$ g de radium pour 1 gramme de potassium naturel. D'après Houtermans, Haxel et Heintze (1950), cette équivalence serait de $0,83 \times 10^{-10}$ g de Radium, soit environ $2,4 \times 10^{-6}$ g d'Uranium à l'équilibre.

Certains ouvrages mentionnent des chiffres allant de 0,16 à $1,35 \times 10^{-10}$ g. Radium. Il s'agit en fait de conditions expérimentales différentes.

Dans les conditions naturelles, on peut estimer que ce coefficient est voisin de 0,5 à 0,6, soit environ $1,5 \times 10^{-6}$ g d'Uranium à l'équilibre.

Sur le plan pratique, 1 γ /s/ 4π correspond à $4,2 \times 10^{-6}$ g d'Uranium à l'équilibre, à 11×10^{-6} g de Thorium et à 4,35 grammes de K_2O .

Plus simplement, les rapports $\text{K/Th/U} = 1/2000/4000$ peuvent être utilisés. (Ponsford D.R.A. 1955).

Conséquences géochimiques des propriétés chimiques et physiques des éléments de la famille U - Ra et de la famille du Thorium.

Les propriétés chimiques fondamentalement différentes dans la famille de l'Uranium et du Radium, conduisent à une séparation en groupes. En effet, outre la grande facilité du changement de valence de l'Uranium, les sels d'uranyle étant (valence 6) très mobiles par rapport à ceux de valence 4, on rencontre dans cette famille des isotopes aux propriétés chimiques très diverses : depuis la colonne des alcalino-terreux, jusqu'à celle des gaz rares.

Les groupes que l'on peut reconnaître dans les familles de l'Uranium sont au nombre de 5.

1) Groupe de l'Uranium.

Les éléments formant ce groupe sont ceux de la tête de la famille.

Leur demi-vie est de très longue durée, mis à part l'isotope $^{234}_{91}\text{Pa}$ de courte durée, qui de ce fait accompagne toujours les autres éléments du groupe.

On peut y ajouter le chef de file de la famille de l'Actinium (Actinouranium), accompagnant toujours l'U à l'équilibre dans une proportion constante (0,04 %).

2) Groupe de l'Ionium.

Isotope du Thorium 230, cet élément, dont la période est plus faible que celle de l'Uranium 238, se sépare aisément. Il peut reconstituer une partie de la famille Uranium-Radium et, de ce fait, servir dans la mesure des âges géologiques : méthode de l'ionium (Petterson, 1949 - Piggot et Urry, 1941-1942).

3) Groupe du Radium.

Le radium, du fait de sa période peu importante, forme un groupe séparé. Il est probable

que des minerais uranifères aient été, au cours des âges, "purgés" de leur Radium et que dans le temps l'équilibre se soit rétabli. Il ne nous appartient pas de discuter ici de ce problème, puisqu'il fait partie d'un vaste ensemble relatif aux mesures d'âge par les méthodes isotopiques.

4) Groupe du Radon.

Le Radium donne naissance à un gaz et ce gaz sera la tête d'un groupe où se rencontrent 5 éléments ayant des périodes très courtes : dépôt actif à évolution rapide. (p.227).

5) Groupe du plomb.

Le groupe du radon est suivi par une série de 3 éléments radioactifs. Ce sont les éléments du dépôt actif du radon à évolution lente, aboutissant au plomb 206 stable.

Il ne semble pas vain de rappeler que 10^{-6} Curie de Radon correspondent à $0,91 \times 10^{-6}$ grammes de plomb 206, teneur non négligeable dont il est nécessaire de tenir compte dans des rapports tels que Pb206/U238 et Pb207/Pb206 ; très souvent utilisés en géochronologie.

Enfin, il faut noter dans ce groupe, le Pb 210 (Ra D) (émetteur α , β et γ) dont la concentration dans les eaux de consommation ne doit pas dépasser 5×10^{-10} Curie/litre et utilisé par Begemann F. (1953) en géochronologie.

Quant à la famille du Thorium, on peut considérer qu'à tout moment les éléments se trouvent en équilibre.

Ces considérations ont orienté les méthodes qui sont employées dans ce travail, en vue de l'évaluation des teneurs des différents éléments présents mais souvent, bien que nous en connaissions la faiblesse, il sera nécessaire de considérer la famille en équilibre.

IV - VALIDITE DES MESURES DES RAYONNEMENTS RADIOACTIFS.

L'exécution des mesures des rayonnements radioactifs nécessite un minimum de précautions. En effet, il faut :

1) se placer dans les mêmes conditions de géométrie (position semblable de la source par rapport au détecteur) et de sensibilité.

2) connaître autant que possible le coefficient d'absorption de l'échantillon à sa propre radiation (ceci surtout pour les mesures α et β).

3) connaître l'activité approchée de l'échantillon, afin de déterminer le temps nécessaire pour une mesure en se fixant une précision donnée, (ou réciproquement d'après les résultats, attribuer aux valeurs obtenues, un pourcentage d'erreur).

Il importe cependant de se souvenir que la radioactivité se mesure par courant d'ionisation ou par numération individuelle de particules. Dans ce dernier cas, les deux premiers points ci-dessus sont étudiés dans chaque cas de mesure. Le troisième peut faire l'objet de la remarque suivante :

Le résultat de la mesure est un nombre obtenu dans un temps donné, donc c'est une fréquence moyenne. Quand il s'agit d'une émission de particules régulièrement espacées dans le temps, le nombre de coups peut être apprécié à une unité près et le temps à 0,1 seconde près, l'erreur relative totale est donc :

$$\frac{1}{N} + \frac{1}{10} \quad (1)$$

soit, si N_u est le nombre moyen de coups par unité de temps :

$$\left(\frac{1}{10} + \frac{1}{N_u} \frac{1}{t} \right) \quad (2)$$

Mais la désintégration est un phénomène aléatoire et la distribution des impulsions peut être assimilée à une distribution de Poisson.

La déviation quadratique moyenne est :

$$\overline{\Delta n_u^2} = n_u t \quad (3)$$

et l'erreur quadratique moyenne est :

$$\Delta n_u = \sqrt{n_u} t \quad (4)$$

c'est-à-dire la racine carrée du nombre d'impulsions observées.

Si l'on admet que les écarts obéissent à la loi de Gauss,

$$\text{l'écart probable} = 0,67 \sqrt{\Delta n_u} = 0,67 \sqrt{n_u} t \quad (5)$$

Si le nombre compté est nt , l'erreur relative moyenne de la mesure, du fait du hasard de l'arrivée des impulsions, est

$$\frac{1}{\sqrt{nt}} \quad (6)$$

Il faut donc enregistrer 1000 coups pour obtenir une erreur de 1 %. Mais il en va tout autrement lorsque l'on exécute une mesure ; en effet, le détecteur enregistre non seulement les particules émises par les éléments radioactifs de l'échantillon, mais également les rayons cosmiques, les particules émises par les matériaux de construction et celles émises par les éléments ayant contaminé les appareils de mesure (mouvement propre). En général, une mesure de radioactivité est donc différentielle.

On mesure un nombre total de coups N en un temps t . Pendant ce même temps le mouvement propre est Nm . L'activité de l'échantillon Ne est donc :

$$Ne = N - Nm \quad (7)$$

La mesure est faite en deux temps, entraînant une erreur totale moyenne de :

$$\sqrt{N + Nm} \quad (8)$$

par suite l'erreur relative sur Ne est

$$\frac{\sqrt{N + Nm}}{N - Nm} \quad (9)$$

Si N est très grand par rapport à Nm , on retrouve

$$\frac{1}{\sqrt{N}} \quad (10)$$

mais cette erreur augmente très vite lorsque Ne est du même ordre ou plus petit que Nm . On peut, théoriquement, obtenir une précision donnée sur Ne en augmentant la durée de la mesure. En effet, fixons-nous une erreur relative E

$$E = \frac{\sqrt{N + Nm}}{N - Nm} \quad (11)$$

en tenant compte du temps on a :

$$E = \frac{\sqrt{N_u + Nm}}{N_u + nm} \frac{1}{\sqrt{t}} \quad (12)$$

de cette équation t devient :

$$t = \frac{N_u + Nm_u}{E^2 (N_u - nm)^2} \quad (13)$$

Pour fixer les idées, imaginons une mesure exécutée sur les rayonnements β , le mouvement propre étant de 30 c/m et l'échantillon donnant un nombre de coups égal à p fois le mouvement propre.

$$t = \frac{1}{E^2} \frac{p+2}{30 p^2} \quad (14)$$

On peut donc tirer aisément les valeurs du temps de mesure (temps minute) pour une erreur relative donnée.

Tableau 25

Temps de comptage nécessaire pour atteindre une erreur donnée lorsque le rapport activité sur mouvement propre est connu.

$\begin{array}{c} p \\ \text{Erreur} \end{array}$	0,1	1	10	100
10 %	700	100	0,4	0,03
5 %	2 800	400	1,6	0,12
2 %	17 500	2 500	10	0,67
1 %	70 000	10 000	40	3

Pour éviter de faire chaque fois le calcul pour une erreur relative fixée, il est préférable d'utiliser les abaques qui donnent directement l'erreur relative sur le mouvement propre en fonction du nombre total enregistré (fig. 24) et connaissant ce mouvement propre, faire le rapport $\frac{N_m}{N_e}$ et le porter dans d'autres abaques qui donnent la valeur de l'erreur relative (fig. 25).

N. coups enregistrés

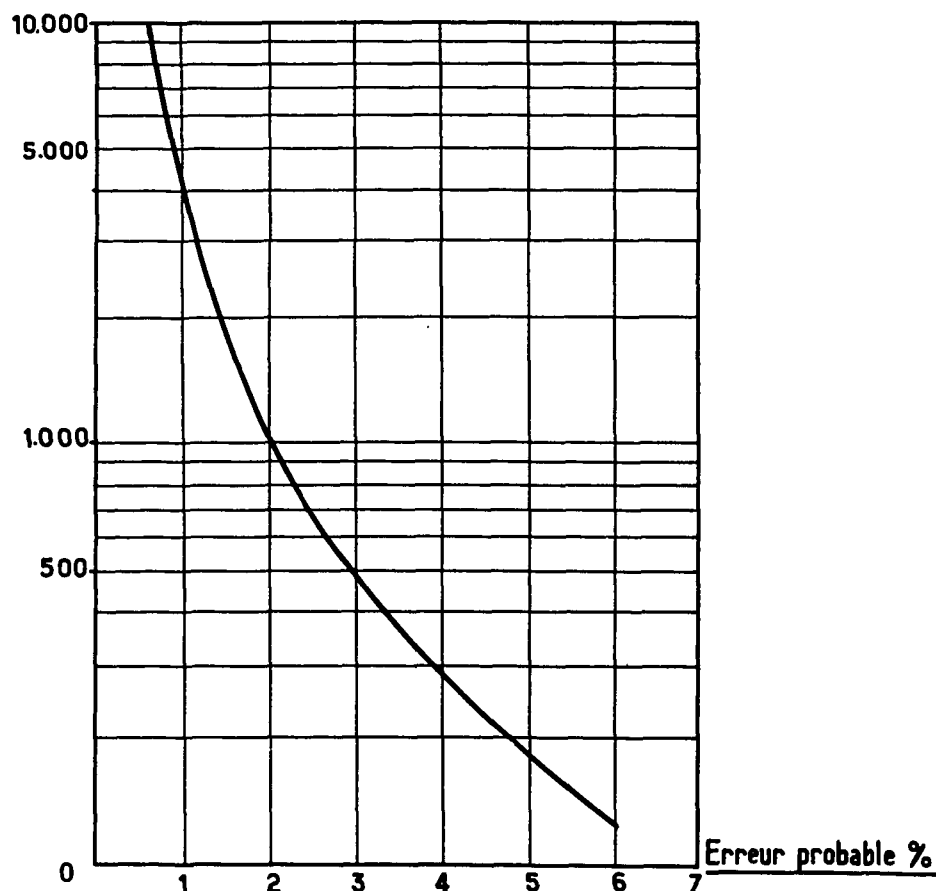


Fig. 24 - Erreur probable pourcent en fonction du nombre de coups comptés. La courbe est établie en utilisant la dispersion de la loi de Poisson : e. p. = $0,67 \sqrt{N}$

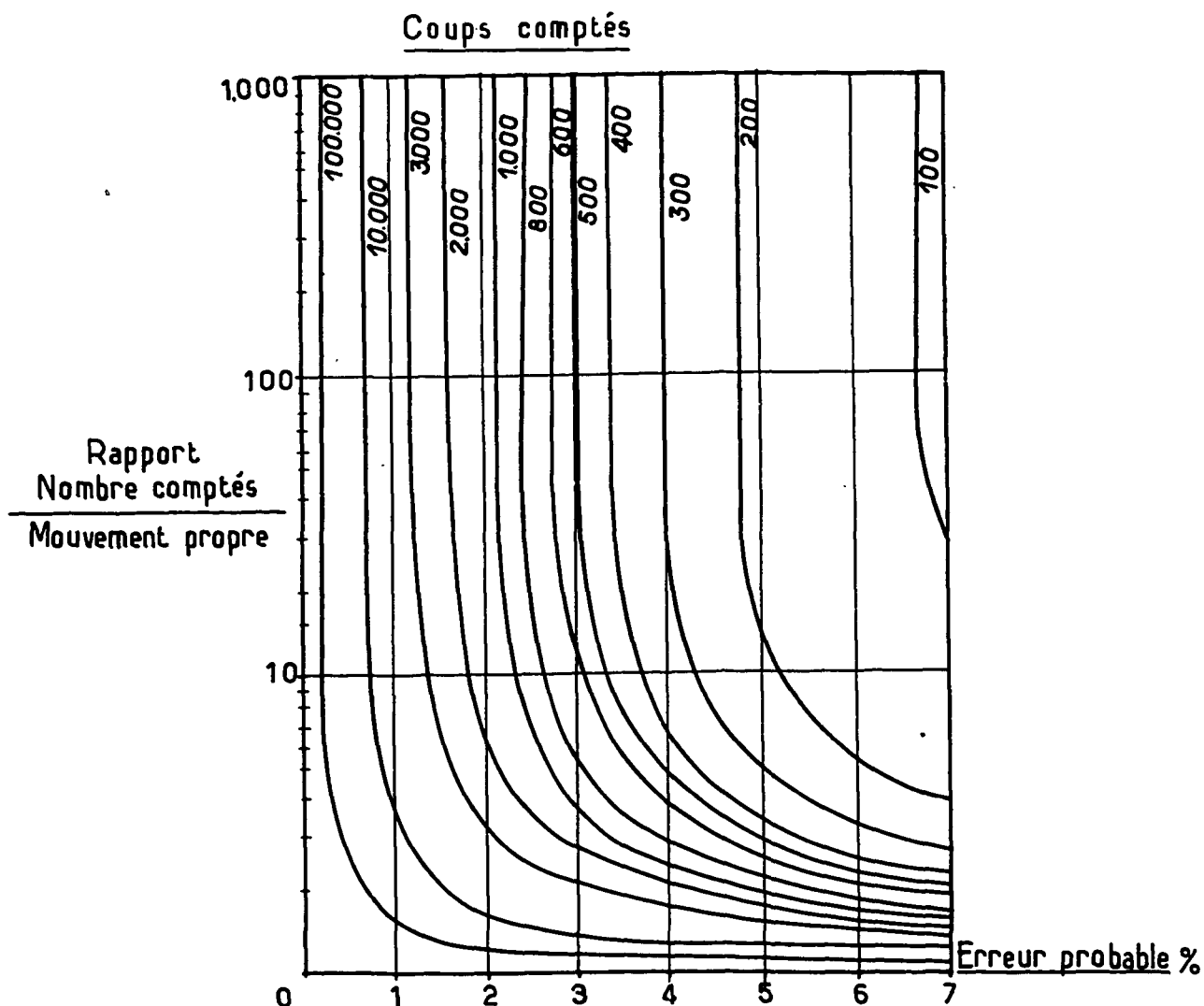


Fig. 25 - Erreur probable pourcent lorsque le rapport : coups comptés sur mouvement propre, est connu.

La considération de l'équation (14) permet de reconnaître que le temps n'intervient pas explicitement dans l'expression de l'erreur relative. Il est donc logique de faire toutes les mesures pour un même nombre de coups (dite mesure à coups constants) et de mesurer le temps passé pour compter ce nombre. Cependant, pour augmenter le nombre d'échantillons étudiés, on fixe le temps (certains échantillons très peu actifs demanderaient un temps de mesure excessivement long) et l'on utilise les abaques qui permettent de déterminer la valeur de l'erreur relative en connaissant le nombre N_e et le rapport $\frac{N_m}{N_e}$.

Un facteur doit encore être considéré, c'est le temps mort ou durée de l'efficacité de l'appareil de détection. Ce temps mort existe seulement pour les compteurs Geiger-Müller, quant aux compteurs à scintillation, ils ne présentent pas ce phénomène.

V - LA RADIOACTIVITE SUR LE TERRAIN.

1) But poursuivi.

Le but de cette mesure est d'apporter un renseignement quantitatif sur la radioactivité γ globale de la roche. On mesure, en effet, les γ des familles de l'Uranium et du Thorium, mais aussi du Potassium. De plus, l'appareil enregistre le rayonnement cosmique du lieu de mesure. Ces études complétées par les analyses chimiques, permettent d'assigner à certaines formations une valeur qui, dans quelques cas, est utile en cartographie.

2) Exécution des mesures.

Les mesures d'activité gamma ont été exécutées à l'aide d'un appareil de prospection : S R A T - G M T 14. Cet appareil, équipé de 3 tubes Geiger-Müller, possède une électronique alimentée par piles de 1,5 volts et le nombre de photons γ reçus par les tubes est transformé, par un système intégrateur, en un nombre de chocs par seconde. L'appareil de mesure est directement étalonné en c/s AVP. La constante de temps d'intégration est de 5 secondes.

Le choc-seconde AVP est l'unité de référence en France : 100 c/s AVP correspondant à l'activité γ de 30 mg de Radium placés à 50 cm du centre du groupe des 9 compteurs de l'appareil de prospection AVP 400. Un choc-seconde AVP correspond à 13 microroentgen/24 heures, soit environ 0,5 μ R/heure. Les travaux de J. P. Rothe (1950) ont été chiffrés en ion/cm³/s, ce dernier correspond à 0,8 μ R/heure ; donc 1 ion/cm³/s correspond sensiblement à 1,48 - 1,5 c/s AVP. Les mesures ont été exécutées suivant une grille kilométrique (1). Nous nous sommes servi du quadrillage Lambert. Les points de mesure choisis se trouvent au voisinage du noeud de ce réseau. Ils sont toujours choisis de telle sorte que l'affleurement soit représentatif, en évitant les angles de carrière, les anfractuosités pouvant créer une variation de l'angle sous lequel les compteurs voient l'affleurement. Cet angle est toujours voisin de 2π .

Afin de minimiser la variation de la distribution due au hasard de tous les rayonnements reçus par les tubes G M (photon γ des émetteurs des familles U et Th, du K₄₀, des rayons cosmiques ...), nous avons relevé pendant une minute et demi dix-huit indications de l'appareil de mesure, de 5 secondes en 5 secondes. Le chiffre retenu est la moyenne de ces dix huit mesures.

3) Résultats.

Les résultats obtenus sont variables d'une formation géologique à une autre, surtout dans les roches sédimentaires. Dans bien des cas, il a été possible d'observer une radioactivité spécifique d'un étage déterminé. Cette activité γ peut être précieuse dans les cas de doute, au cours d'un levé cartographique.

A - L'ACTIVITE γ DES FORMATIONS PERMOTRIASIQUES.

Ces formations sont surtout développées dans la partie Ouest du secteur, aussi elles seront étudiées les premières, bien que des formations sédimentaires antépermienues aient été rencontrées.

a) Les argilites permienues. ("argilolithes" des anciens auteurs).

Les argilites ont surtout été rencontrées dans la région du Val d'Ajol. Les points visités montrent une activité variable.

410 - 128	(410 140 - 127 980 Lambert)	19 c/s AVP
Le Pulnoux	(408 000 - 128 420 Lambert)	22 - -
Route du Géhard	(411 500 - 130 280 Lambert)	29 - -
415 - 129	(415 120 - 129 000 Lambert)	33 - -

Les conglomérats souvent interstratifiés dans les grès ont une activité variable, suivant qu'ils sont ou non rubéfiés (p. 79).

b) Les grès permienues.

Quant à eux, montrent une activité nettement marquée. L'activité des points visités oscille entre 30 et 39 c/s AVP.

412 - 129	(412 000 - 129 000 Lambert)	39 c/s AVP
412 - 130	(411 940 - 129 960 -)	32 - -
411 - 129	(411 000 - 128 960 -)	30 - -
411 - 128	(411 280 - 128 080 -)	37 - -
415 - 128	(414 850 - 128 100 -)	32 - -
414 - 130	(413 960 - 129 960 -)	34 - -

Ces résultats sont donc sensiblement divergents de ceux recueillis par la mission préliminaire du C.E.A. dans les Vosges (p. 79).

(1) Cette exécution des mesures a été conseillée par M. Roubault et R. Coppens ; afin d'introduire un moyen de comparaison avec des mesures exécutées en Vendée sur une maille multiple du kilomètre (500 m).

c) Les formations triasiques proprement dites :

c-1 - Le grand conglomérat.

Ce conglomérat constitue la partie terminale du grès Vosgien. Seul, ce conglomérat représente le grès Vosgien dans les Vosges méridionales. Il a été rencontré en plusieurs points et les activités relevées sont les suivantes :

412 - 127 (412 260 - 127 100 Lambert)	18,5	c/s	AVP
415 - 126 (415 040 - 126 040 -)	20,5	-	-
414 - 126 (414 140 - 126 240 -)	20	-	-
908 - 338 (908 040 - 337 920 -)	20	-	-
898 - 341 (898 010 - 341 000 -)	21	-	-
406 - 127 (406 240 - 127 020 -)	19	-	-

c-2 - Les couches intermédiaires.

Faisant suite au grès Vosgien, le grès bigarré débute par les couches intermédiaires, qui se développent sur une hauteur assez importante.

Les activités relevées sur cette formation sont :

898 - 342 (898 000 - 341 900 Lambert)	21	c/s	AVP
II Z. Centrale			
900 - 343 (900 000 - 343 000 -)	21	-	-
901 - 341 (900 960 - 340 980 -)	17	-	-
902 - 323 (902 090 - 323 010 -)	24	-	-
903 - 335 (903 200 - 334 600 -)	23	-	-
907 - 342 (906 990 - 341 960 -)	20	-	-
908 - 325 (908 000 - 324 990 -)	19,5	-	-
407 - 124 (406 840 - 123 640 -)	28	-	-(effet de paroi)
409 - 130 (409 000 - 130 000 -)	18,5	-	-

c-3 - Le grès à Voltzia

Les activités γ du grès à Voltzia dans les deux formations blanche et amarante sont successivement :

1) Grès à Voltzia blanc -

896 - 339 (896 000 - 339 000 Lambert II)	19,5	c/s	AVP
Z. Centrale			
897 - 340 (897 040 - 340 000 -)	24,5	-	-
898 - 340 (898 000 - 339 990 -)	24	-	-
898 - 339 (898 010 - 339 020 -)	23	-	-
899 - 339 (899 010 - 339 000 -)	21	-	-
897 - 335 (897 000 - 335 060 Lambert II)	20	-	-
Z. Centrale			
900 - 337 (900 000 - 337 000 -)	22	-	-
901 - 338 (901 010 - 338 000 -)	20,5	-	-

2) Grès à Voltzia amarante (violet - lie de vin)

890 - 337 (890 000 - 337 160 Lambert II)	19,5	c/s	AVP
Z. Centrale			
903 - 333 (903 040 - 333 010 -)	23	-	-
904 - 325 (904 000 - 325 060 -)	25,5	-	-
904 - 328 (904 040 - 328 000 -)	26,5	-	-
907 - 334 (907 140 - 333 940 -)	32	-	-(carrière)

c-4 - Le grès de Ruaux

Quant au grès de Ruaux, les activités enregistrées sont les suivantes :

892 - 342 (891 980 - 342 010 Lambert II)	24 c/s AVP		
Z. Centrale			
890 - 340 (890 010 - 340 000 -)	28 - -		
891 - 339 (890 960 - 338 980 -)	21 - -		
899 - 334 (899 010 - 334 020 Lambert II)	22 - -		
Z. Centrale			
905 - 328 (905 140 - 328 040 -)	28 - -		
905 - 324 (904 930 - 324 060 -)	22 - -		
900 - 322 (899 700 - 322 330 -)	30 - -		
Moulin de Ruaux (903 700 - 339 680 -)	25 - -		

c-5 - Autres formations du Trias

Les autres points visités dans les formations triasiques correspondent au niveau de l'argile-limite constituant base du Muschelkalk, développées surtout au Sud de Bains-les-Bains, (p.25).

Les activités ici encore sont du même ordre que sur les formations précédentes :

891 - 336 (891 010 - 336 020 Lambert)	20 c/s AVP		
892 - 336 (892 020 - 336 020 Lambert)	20 - -		
892 - 337 (892 000 - 337 010 Lambert)	21 - -		
893 - 337 (892 820 - 337 000 Lambert)	19 - -		

Les renseignements concernant le calcaire coquillier et les marnes irisées sont peu nombreux. Quelques points seulement coïncident avec l'extension de ce niveau. Les activités ici sont beaucoup plus faibles :

Carrière de calcaire coquillier de Fontaine :

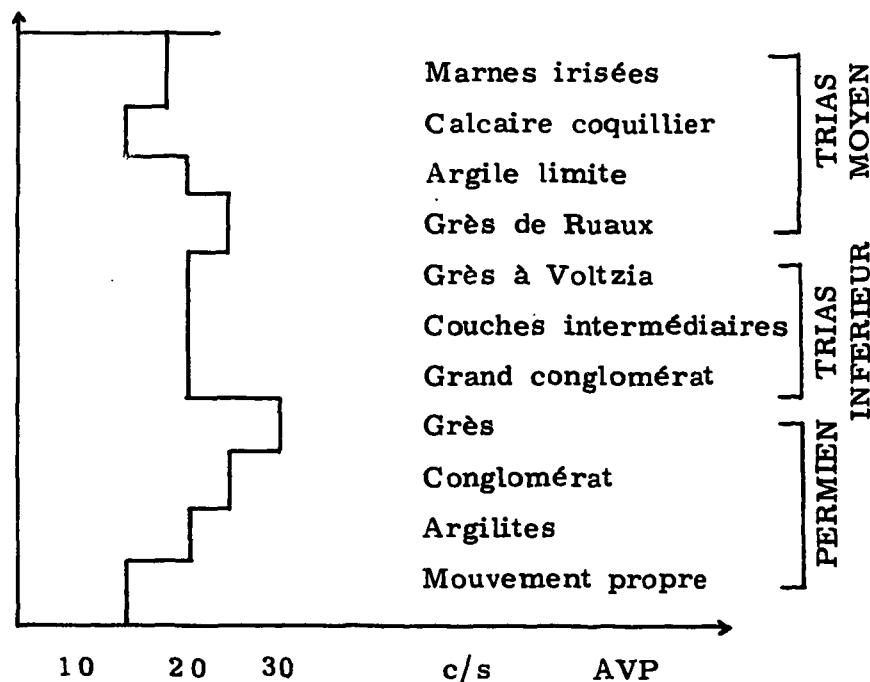
898 670 - 326 140 Lambert II Z.Centrale	15 c/s AVP		
---	------------	--	--

Marnes : 897 326 (896 580 - 326 010) 19 - -

d) En conclusion, les formations clastiques (argilites) du Permien ont une activité moyenne voisine de 20 c/s AVP nettement plus faible que celles des grès : moyenne voisine de 30 c/s. Il faut rechercher l'origine de cette différence dans la présence de feldspath dans les grès (arkoses). En effet, on ne peut pas attribuer cette activité qu'aux seuls éléments de la famille de l'Uranium et du Thorium.

Les formations du trias inférieur ont une activité moyenne sensiblement de même valeur, tant pour le conglomérat que pour les formations gréseuses sus-jacentes. Cette activité de l'ordre de 20 c/s est plus faible que pour les grès permien. Il est donc aisé, sur le terrain ou dans des sondages, de tracer la limite grès permien - conglomérat à l'aide d'un compteur.

Quant aux rares formations du trias moyen que nous avons eu l'occasion de rencontrer, grès coquillier, (Grès de Ruaux coquillier), il possède une activité un peu plus élevée que les autres formations et les marnes inférieures ont une activité du même ordre que les grès du trias inférieur. Il est donc possible de tracer un diagramme représentatif des activités γ des formations permo-triasiques :



B - L'ACTIVITE γ DES ROCHES METAMORPHIQUES.

Les roches métamorphiques rencontrées dans le secteur peuvent être séparées en deux groupes, d'une part les schistes primaires facilement datés et, d'autre part, les gneiss, micaschistes et amphibolites, rencontrés surtout dans la région de Bains-les-Bains et du Val d'Ajol.

a) Schistes primaires :

Maires d'Avaux	(406 560 - 116 360 Lambert)	37 c/s AVP
Passage à Niveau de Fontaine	(899 410 - 324 000 -)	35 - -
Schistes de Malcuit	(906 120 - 329 360 -)	38 - -
Schiste 408-116	(408 110 - 115 940 -)	35 - -
(le conglomérat en ce point a une activité de 33 c/s AVP)		

b) Gneiss :

Moulin Saire	(906 280 - 330 460 Lambert)	31 c/s AVP
Palécote	(908 420 - 331 000 Lambert)	38 - -
Le Champ	(907 460 - 332 000 Lambert)	31 - -
De la Croix	(407 000 - 126 600 -)	23 - -
La Cote d'Agna	(406 520 - 124 800 -)	24 - -
908 - 331	(908 010 - 331 020 -)	22 - -
417 - 126	(417 220 - 126 120 -)	41 - -
Greiss granulitique vallée du Coney	(892 620 - 343 600 -)	45 - -
Amphibolite	(410 040 - 127 560 -)	27-30 - -
La Houssière	" "	35-38 - -
Flanc rubéfié	" "	35-38 - -

c) En conclusion.

Les schistes primaires apparaissent comme ayant une radioactivité assez élevée, voisine d'ailleurs des gneiss de la région Sud du Val d'Ajol, tandis que les grès de la région Nord ont une activité moindre. Les gneiss dont la granitisation est poussée, ont une activité remarquable et semblable à celle du granite ou de la granulite.

Enfin l'amphibolite de la Houssière montre une activité γ plus grande sur le flanc rubéfié.

C - L'ACTIVITE γ DES ROCHES GRANITOÏDES.

Sous le terme de roches granitoïdes sont groupées les diverses variétés de granites et de microgranites. Toutefois, les formations de microgranites de l'auréole exomorphe sont dissociées et classées avec les formations volcaniques du complexe Tournaisien (p.40).

a) "La granulite"

La radioactivité γ des affleurements assez souvent rencontrés se situe de 44 à 48 c/s AVP. Les points les plus caractéristiques sont, par exemple :

414 - 124	(414 040 - 123 860 Lambert)	44,5 c/s AVP
415 - 125	(414 960 - 124 960 -)	47 - -
416 - 127	(415 960 - 126 920 -)	44 - -
Blanc - Murger	(904 040 - 340 750 -)	45 - -
Gabiotte	(903 180 - 325 100 -)	43,5 - -
411 - 125	(410 960 - 125 030 -)	47 - -

b) Le granite gris porphyroïde

Le granite gris porphyroïde a une activité voisine de la granulite, bien que légèrement plus élevée. Cette activité γ varie de 50 à 55 c/s :

416 - 123	(415 960 - 123 360 Lambert)	54 c/s AVP
417 - 123	(417 060 - 123 220 -)	50 - -

414 - 121	(414 060 - 121 040 Lambert)	49 c/s AVP
Route stratégique	(417 460 - 125 240 -)	50 - -
413 - 121	(413 160 - 120 850 -)	48 - -
415 - 122	(415 080 - 121 960 -)	50 - -
419 - 123	(419 100 - 122 780 -)	55 - -

c) Le granite à amphibole

C'est le granite à amphibole qui a donné les valeurs les plus remarquables. Ces valeurs, erratiques, mais toujours élevées, oscillent de 50 à 75 c/s AVP. Ainsi les affleurements les plus caractéristiques donnent les valeurs suivantes :

426 - 117	(426 360 - 116 880 Lambert)	52,5 c/s AVP
428 - 114	(428 260 - 113 900 -)	53 - -
426 - 118	(425 850 - 118 010 -)	60 - -
430 - 116	(430 060 - 116 040 -)	62 - -
426 - 113	(426 010 - 113 120 -)	56 - -
423 - 115	(423 060 - 115 060 -)	62 - -
425 - 114	(424 950 - 114 100 -)	57 - -
Affleurement Rte Château Lambert	(426 220 - 118 040 -)	72 - -
427 - 117	(426 920 - 116 800 -)	56 - -

d) La diorite

Quelques affleurements caractéristiques de diorite ont montré une activité γ beaucoup plus faible que le granite à amphibole :

427 - 118	(426 900 - 118 000 Lambert)	28 c/s AVP
Maison forestière de la Pransière	(428 920 - 117 180 -)	35 - -

e) La pegmatite associée à la diorite

Nous ne reviendrons pas sur la radioactivité γ de cette pegmatite. Les haldes ont retenu l'attention de l'équipe de prospection du C.E.A. (p. 80). Nous rappelons seulement que cette activité est de l'ordre de 50 c/s AVP. L'activité la plus élevée est au fond de 120 c/s. Elle correspond à la branche Sud d'une fourche de la galerie de Château-Lambert (cf. Fig. 5).

f) Les filons de microgranite

Les filons de microgranite rencontrés ont toujours montré une activité γ élevée par rapport à la formation encaissante. Ceux du granite gris porphyroïde ont les activités suivantes :

Commune de la Rosière	(417 470 - 124 050 Lambert)	70 c/s AVP
416 - 122	(416 040 - 122 060 -)	63 - -

Ceux du granite à amphibole ont une activité γ très voisine :

Goutte du Creux	(429 560 - 115 580 Lambert)	65 c/s AVP
Km 7	(428 580 - 115 900 Lambert)	70 - -
Microgranite de Bains-les-Bains	(893 940 - 340 220 -)	65 - -

g) En conclusion, la radioactivité des roches granitoïdes est assez élevée. L'appareil utilisé avait un mouvement propre de 15 à 18 c/s AVP. Les valeurs obtenues sont parfaitement tranchées et correspondent à des types de roches bien définis.

Cependant, il importe de bien remarquer l'activité très élevée du granite à amphibole. Une activité de cet ordre n'a jamais été rencontrée sur des granites ordinaires ou des granulites.

D - L'ACTIVITE γ DES FORMATIONS EXTRUSIVES.

Ces formations peuvent former des massifs importants dans le secteur étudié (fig. 1). L'un est basique, et situé au Nord d'une bande plus acide. Ces formations sont rapportées au Tournaisien. Mention spéciale sera faite des formations extrusives permienes.

a) Les formations basiques

La radioactivité γ de ces formations (basalte, tufs basiques, andésite) est généralement très faible. Les valeurs relevées se situent entre 20 et 25 c/s AVP. Ainsi les points suivants donnent respectivement :

416 - 117 (416 220 - 117 230 Lambert)	22 c/s AVP
416 - 199 (416 260 - 119 060 - -)	23 - -
415 - 118 (414 870 - 117 980 - -)	20 - -
413 - 117 (413 020 - 117 120 - -)	20 - -
420 - 116 (420 000 - 116 000 - -)	21 - -
421 - 116 (420 670 - 116 080 - -)	25 - -

b) Les formations acides

La radioactivité moyenne de ces formations se détache nettement de celle des formations basiques. Sa valeur élevée est remarquable : environ le double de celle des formations basiques :

415 - 117 (415 020 - 117 130 Lambert)	40 c/s AVP
418 - 116 (418 060 - 116 200 - -)	45 - -
416 - 115 (416 000 - 115 130 - -)	42 - -
414 - 117 (414 060 - 117 000 - -)	43 - -
420 - 115 (420 080 - 114 920 - -)	46 - -
421 - 114 (421 080 - 114 040 - -)	40 - -

c) Les formations acides permienes

Les mesures obtenues sur ces formations sont assez peu nombreuses, cependant elles permettent de constater que la radioactivité γ de ces formations est du même ordre que celle des formations acides du Tournaisien.

Rhyolite-Cascade (409 100 - 128 740 Lambert) 45 c/s AVP
de Faymont

d) Conclusion.

Il apparaît donc ici une nette coupure entre les activités γ des formations basiques et des formations acides extrusives d'âge Tournaisien. Cette différence très marquée sera donc susceptible d'être utilisée dans un levé de carte géologique précis : un compteur de prospection permettra de tracer avec précision la ligne de contact, lorsque cette dernière sera difficilement visible (faible recouvrement végétal par exemple).

4) Comparaison de ces résultats avec des résultats obtenus au cours de travaux similaires.

Il est utile de comparer les résultats obtenus au cours de nos travaux, aux résultats recueillis au cours de travaux similaires.

4-1) Formations sédimentaires

Les mesures de radioactivité γ exécutées systématiquement sur des formations ne présentant pas de concentration uranifère paraissent assez peu nombreuses. A notre connaissance, une étude a été exécutée sur le sidérolithique du Poitou (Steinberg M., 1960). Les conditions de l'étude ne permettent guère de rapprochement (unité de mesure, expression des résultats trop différents).

Cependant, une remarque intéressante a été faite par Rivière A. (1955). Les radioactivités fortes correspondent aux sables fins contenant beaucoup de minéraux lourds. Or, jamais il n'a été enregistrée d'activité très élevée sur les formations gréseuses du Trias inférieur ; l'activité γ y est monotone (p. 97). Est-ce du fait de l'absence de parties fines sans minéraux lourds ? Dans ce cas, on obtient confirmation du dépôt des grès du Trias à proximité d'un massif exondé. Ceci appuie les remarques qui ont conduit à admettre la présence de terres émergées au début du Secondaire sur l'emplacement des Vosges méridionales (p.24).

Les résultats obtenus par Kircheimer F. (1957), dans le pays de Bade-Würtemberg sur le grès bigarré, montrent une convergence certaine.

L'activité élevée des formations permienes est due à la présence de potassium, ou peut-être au fait que souvent des éléments rhyolithiques sont mêlés aux formations sédimentaires.

4-2) Les roches éruptives

a) Les roches granitoïdes

Les comparaisons seront ici plus fructueuses, car ce sont les roches granitoïdes qui ont fait l'objet de mesures nombreuses et comparables, tant en vue de prospection qu'au point de vue recherche pure.

La radioactivité γ des granites du Massif Armoricain, granite de la Côte, de Rostrenen, Granulite de Pontivy, région de Nantes, sont les suivantes :

- Massif de Carnac (Coppens R., 1957)

	Granite de l'Intérieur				Roche de Bordure granite				Micaschistes	
c/s AVP	30	36	30	26	26	30	36	30	36	30

- Région de Pontivy (Kaplan G., 1958)

	Granite de Rostrenen (à biotite)	Granulite de Pontivy (à muscovite)	Quartzites-Micaschistes Leptynites
c/s AVP	32	29	23 27

- Région de Nantes (Hussein H.M., 1959)

	Granite à biotite	Granite gneissique
c/s AVP	38	60-70

Les résultats obtenus en d'autres lieux sont les suivants :

- Vendée Région de La Chapelle Largeau (Sanselme H. et Gerstner, 1958).

	Granulite	Granite à grain fin
c/s AVP	20	35-40

Même région (Roubault M. et Coppens R., 1960)

Granulite : 25 c/s AVP

- Limousin (Sarcia J. et J.A., 1958)

	Granulite	Granite à grain fin
c/s AVP	25	50

- Vosges (Stussi J.M., 1960) Massif de Senones.

	Granite de Senonces	Microgranite	Granite à biotite	Ryolithes
c/s AVP	54	48	47	40

Les résultats obtenue en Bade-Würtemberg (Forêt-Noire) Kircheimer, 1957) varient de 30 à 50 impulsions/seconde (compteur à scintillation CAE) sur les diverses sortes de granites, alors que les gneiss ont une activité de 15 à 30 impulsions/seconde (1).

La radioactivité γ des roches granitoïdes du secteur étudié est donc remarquablement élevée. Mais quelles en sont les causes ?

(1) Ignorant la valeur d'une impulsion/seconde de ce type de compteur il n'a pas été possible de donner l'équivalence en c/s AVP.

L'activité γ d'une roche est la somme des activités γ des divers membres des familles Uranium et Thorium, ainsi que du Potassium. Il a fallu rechercher approximativement la participation de chacune des trois familles dans cette activité globale. Pour cela un granite dont la teneur en Uranium, en Thorium et en Potassium a été mesurée, puis comparé avec d'autres granites dont les teneurs en éléments radioactifs étaient connues. Utilisant les rapports d'équivalence d'activité (p. 91) de l'Uranium, du Thorium et du Potassium, il a été possible de trouver une équation approchée, simple, donnant le nombre de coups par seconde AVP en fonction des teneurs en U, Th et K.

$$c/s \text{ AVP} = U + 0,5 \text{ Th} + 2 \text{ K}_2 \text{ O}$$

$$\text{où } U = \text{teneur en } 10^{-6} \text{ g/g}$$

$$\text{Th} = \text{teneur en } 10^{-6} \text{ g/g}$$

$$\text{K}_2 \text{ O} = \text{en pourcentage}$$

Evidemment, il convient d'ajouter le mouvement propre de l'appareil qui pour le SRAT GMT₁₄ utilisé est de 15 c/s AVP en plaine et d'environ 18 c/s AVP en montagne. De plus, les teneurs en potassium, sauf quelques rares exceptions, n'ont jamais dépassé 6 à 7 % de K₂O ; la moyenne se situe à environ 5 %.

Il semble donc bien que dans le cas du granite à amphibole les teneurs assez considérables en éléments de la famille de l'Uranium ou du Thorium entraîne une forte activité γ .

b) Les roches extrusives.

Les roches les plus acides montrent une activité γ égale 3 à 5 fois à celle des roches basiques. Une remarque de même ordre a déjà été signalée par Larsen E.S. et al. (1955).

5) Conclusion générale.

L'étude de la radioactivité γ sur les formations rencontrées dans le secteur étudié nous a conduit à reconnaître :

- Une activité bien tranchée entre les formations du permien et celles du Trias inférieur. Cette différence est nettement marquée, elle pourra servir pour tracer la limite entre ces formations, celles du permien étant plus actives que celles du Trias inférieur : (Par exemple dans les sondages - G. Minoux 1958).

- Les granites rencontrés dans la zone étudiée ont une activité élevée par rapport aux granites ayant fait l'objet de mesures similaires en d'autres régions. Le granite à amphibole (granite des Ballons) possède une radioactivité très élevée que l'on peut attribuer aux seules familles de l'Uranium et du Thorium (le potassium n'intervenant que pour une faible part dans l'activité γ). Les microgranites rencontrés dans ces granites ont, eux aussi, une activité assez forte, en général plus élevée que celle de la roche encaissante.

- Les formations extrusives du Tournaisien ont également des activités nettement différentes. Les formations basiques étant beaucoup moins actives que les formations acides. Ce caractère sera susceptible d'être utilisé au cours de levés géologiques.

On voit apparaître la possibilité d'utiliser un appareil de prospection, non pas pour remplacer l'observation traditionnelle - mais pour lui donner un moyen supplémentaire de lever un doute, ou de travailler lorsque la couverture du sol n'est pas trop importante et ne forme qu'un mince écran au rayonnement γ .

VI - LA RADIOACTIVITE γ AU LABORATOIRE.

Il ne s'agit, que d'une tentative d'étude de la radioactivité γ des roches, par des techniques de laboratoire.

Ces essais ont été conduits en même temps qu'une étude sur le dosage radiométrique de l'Uranium et du Thorium, en utilisant un comptage par scintillation.

Nous nous sommes inspirés des travaux de K. Whitham (1952). Cet auteur a pu réaliser un dosage d'environ 60 ppm d'U et 5 200 ppm de Thorium. Les caractéristiques étaient les suivantes : Cristal Na I (Tl) 2" de diamètre (5cm) et 1" de hauteur (2,5 cm), géométrie cristal-source voisine de π ; poids de l'échantillon 100 g, blindage : 5 cm de plomb. En jouant sur ces paramètres, il a semblé possible d'augmenter la sensibilité et de reculer la limite des teneurs à explorer.

1) Principe.

La méthode décrite repose essentiellement sur le comptage par scintillation des rayonnements

γ émis par les différents membres de la famille de l'Uranium et du Thorium et par l'isotope ^{40}K du Potassium.

Ce comptage par scintillation utilise comme détecteur un cristal Na I (Tl) associé à un photomultiplicateur délivrant une impulsion dont la hauteur est proportionnelle à l'énergie abandonnée dans le cristal, donc proportionnelle à l'énergie du rayon γ . En faisant varier le gain du préamplificateur ou la valeur de la haute-tension appliquée au photomultiplicateur, on obtient une discrimination sur l'énergie des particules. Or, l'énergie des particules γ est relativement étendue pour les membres des familles de l'Uranium et du Thorium, respectivement de 0 à 2,4 MeV, de 0 à 2,8 MeV, et de 1,46 MeV pour les γ émis par le ^{40}K ; si bien qu'en utilisant trois valeurs croissantes du gain, on mesure un taux de comptage relatif des γ les plus énergétiques à la totalité des γ d'une famille (fig. 26).

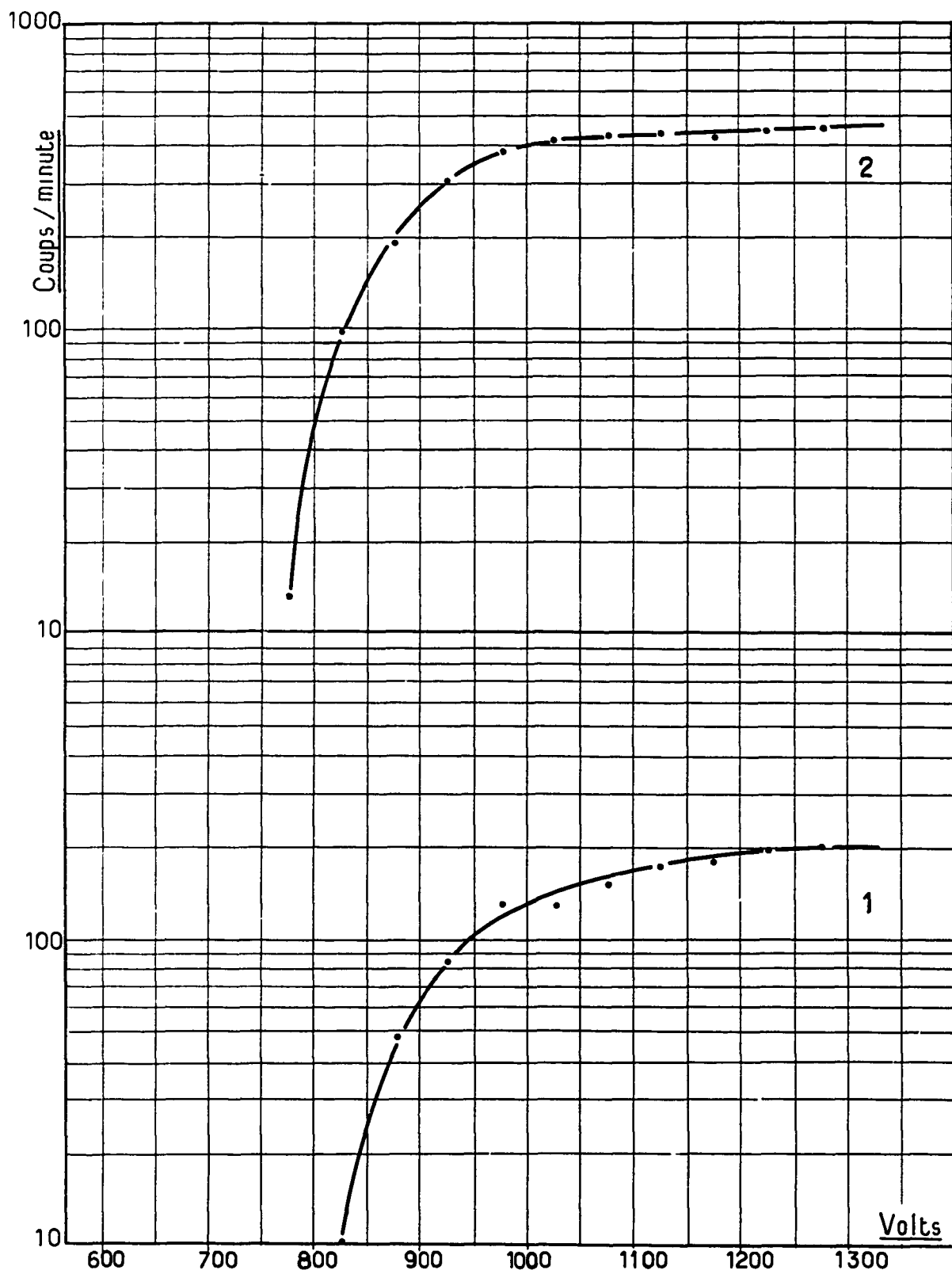


Fig. 26 - Taux de comptage α pour diverses tensions appliquées au photomultiplicateur du détecteur à scintillation. Courbe 1 : gain 0,15 ; courbe 2 : gain 1,5. Remarquer l'existence d'un plateau dans le second cas.

Par un étalonnage judicieux, il est donc possible de calculer les participations propres à chacune des familles en fonction de la quantité présente.

2) Réalisation.

Le matériel employé est un matériel simple et strictement de série.

Le détecteur est constitué par un cristal d'iodure de sodium activé au Thallium, de 4,75 cm de diamètre et de 5 cm de hauteur (1). Il est couplé optiquement à la photocathode d'un photomultiplicateur 53 AVP de la Radiotechnique (2) par une huile silicone à très grande viscosité. L'ensemble mécanique constitue le détecteur DCS₁ du Commissariat à l'Energie Atomique (3). Il est suivi d'un préamplificateur de caractéristiques voisines du préamplificateur d'origine, seul un étage d'amplification a été supprimé afin d'obtenir une hauteur d'impulsion maximum de l'ordre de 5 volts. Les impulsions sont comptées par un système numérateur, échelle de 1000, (4). Ce bloc comporte une alimentation et un système permettant de prédéterminer le temps de comptage. D'autre part, pour les essais, une alimentation haute tension annexe ayant une dérive de 1% a été utilisée.

L'ensemble électrique est relié au secteur par une régulation constituée d'un auto-transformateur et d'un régulateur.

Le cristal d'iodure de sodium est protégé par un blindage de plomb de 5,5 cm d'épaisseur. Une couronne de mercure de 6 mm d'épaisseur entoure le cristal et élimine une partie des rayonnements du RaD contenus dans le plomb.

L'échantillon à étudier, réduit en poudre (100 Mesh) est logé dans un récipient définissant une géométrie semblable pour toutes les manipulations.

Etalonnage.

L'étalonnage a été effectué en utilisant des uronathorianites de teneurs variées en U et Th, dilué dans de la silice en poudre. D'autre part, pour le potassium, le même procédé a été utilisé sur une quantité connue de CO₃ K₂. Les techniques de dilution sont celles couramment employées en spectrographie.

Les étalonnages ont été effectués sur les teneurs et les poids suivant :

Tableau 26

Etalons U, Th, K utilisés dans le comptage γ (scintillation).

U(10 ⁻⁶ g/g)	Th(10 ⁻⁶ g/g)	K ₂ O %	Poids total de l'essai
5,8	85	3,7	220 g
22,7	62	1,85	220 g

Les valeurs des gains ont été déterminées, suivant la qualité du photomultiplicateur employé, en étudiant la courbe du taux de comptage en fonction de la haute tension appliquée au photomultiplicateur et les différents gains. Ceci nous a conduit à adopter les valeurs suivantes :

Haute-tension	Gain
1 000 V	0,15 (1)
1 250 V	0,15 (2)
1 250 V	1,5 (3)

(1) Quartz et Silice, 8 rue d'Anjou, Paris.

(2) La Radiotechnique, 130 Av. Ledru-Rollin, Paris (11°)

(3) Construit sous licence par L.I.E. 41, rue Emile Zola, Monteuil-sous-Bois (Seine).

(4) RNP₃ construit par Mesco, 14 rue René Coche, Vanves (Seine).

Dans ces conditions -changement de la valeur de la haute-tension- il a été nécessaire de faire chaque fois la mesure du mouvement propre après la mesure du taux de comptage d'un échantillon. La durée du comptage a été fixée à 15 minutes. Cependant les calculs ont été faits en utilisant le nombre de coups par minute. Les équations relatives à un échantillon peuvent s'écrire :

$$n_1 = a U + b \text{ Th} + c \text{K}_2 \text{O}$$

$$n_2 = a' U + b' \text{ Th} + c' \text{K}_2 \text{O}$$

$$n_3 = a'' U + b'' \text{ Th} + c'' \text{K}_2 \text{O}$$

où a , b , c , correspondent à la participation de l'unité de poids de l'Uranium, du Thorium (en 10^{-6} g/g partie par million) et du potassium expérimenté en $\text{K}_2 \text{O}$ (pour cent) pour les conditions de l'expérience (1) ; a' , b' , c' , pour les conditions (2) et a'' , b'' , c'' pour les conditions (3).

Ce système linéaire a pour déterminant :

$$\Delta = \begin{vmatrix} a & b & c \\ a' & b' & c' \\ a'' & b'' & c'' \end{vmatrix}$$

$$\Delta = a \begin{vmatrix} b' & c' \\ b'' & c'' \end{vmatrix} - b \begin{vmatrix} a' & c' \\ a'' & c'' \end{vmatrix} + c \begin{vmatrix} a' & b' \\ a'' & b'' \end{vmatrix}$$

$$\Delta = ab'c'' - ab''c' + bc'a'' - ba'c'' - cb'a'' + ca'b''$$

où

$$\Delta = a(b'c'' - b''c') + b(c'a'' - a'c'') + c(a'b'' - a''b')$$

L'étalonnage donne les valeurs suivantes pour les différents coefficients :

$$\begin{array}{lll} a = 1,6 & b = 0,466 & c = 4,3 \\ a' = 6,94 & b' = 2,88 & c' = 13,7 \\ a'' = 34 & b'' = 11,92 & c'' = 34,5 \end{array}$$

Ceci permet donc de tirer les valeurs de U , Th , et $\text{K}_2 \text{O}$ (U et Th) en fonction des taux de comptage n_1 , n_2 , n_3 .

$$U \text{ ppm} = \frac{n_1(b'c'' - b''c') + n_2(b''c - c''b) + n_3(bc' - cb')}{\Delta}$$

$$\text{Th ppm} = \frac{n_1(a''c' - a'c'') + n_2(ac'' - a''c) + n_3(a'c - ac')}{\Delta}$$

$$\text{K}_2 \text{O}\% = \frac{n_1(a'b'' - a''b') + n_2(a''b - ab'') + n_3(ab' - a'b)}{\Delta}$$

d'où l'on tire :

$$U = \frac{n_1(-63,94) + n_2(35,18) + n_3(-6)}{-62,16} = 1,03 n_1 - 0,56 n_2 + 0,096 n_3$$

$$\text{Th} = \frac{n_1(226,4) + n_2(-91) + n_3(7,92)}{-62,16} = 3,64 n_1 + 1,46 n_2 - 0,127 n_3$$

$$\text{K}_2 \text{O} = \frac{n_1(15,20) + n_2(3,228) + n_3(1,374)}{-62,16} = 0,44 n_1 + 0,052 n_2 - 0,0022 n_3$$

3) Résultats.

Les résultats sont consignés dans le tableau 27

Tableau 27
Résultats d'essais de mesure par scintillométrie γ .

	U		Th		K ₂ O	
	Chimie	$\gamma \gamma$	Chimie Plaques nucléaires	$\gamma \gamma$	Chimie	
420-116	0	1 ppm	71	Rapport U/Th trop faible	0,65%	0,66%
FT 336-361	20 ppm	20 ppm	100 ppm	94 ppm	6,1%	6,1%
428-117	9	8	42,5	40	4,5%	4,74%
CL 1/3 Th	7	2,4	11	10	3,4%	3,54%
423-121					1,25%	0,9%
427-119	14,3	0,88			1,3%	0,48%
428-117	9	5	42	40	4,5%	4,74%
430-116	17,5	19,8	97		2,65%	5,22
426-113	10,5	6,6	65		3%	5,6%
427-117	2	12	90,5		3,80%	
427-112	14	8	37		3,6%	5,2
429-120	11,5		62		5,6%	
423-113	11		33,5		3,3%	
C.L.	18	14	60		4,3%	5,76

4) Conclusion.

Malgré ces résultats particulièrement encourageants, cette technique de comptage a été abandonnée. La raison principale en a été la grande quantité de poudre de l'échantillon, à utiliser : 300 grammes. De plus, dans les cas -souvent nombreux - de déséquilibre de la famille de l'Uranium, les résultats sont entachés d'une erreur importante.

Cependant, cette technique a permis de rassembler un certain nombre de renseignements qui sont très utiles dans les techniques de spectrométrie γ . Il s'agit, en premier lieu, de la réalisation de blindage pour les rayonnements cosmiques. Les blindages anticosmiques doivent ménager entre le cristal détecteur et la paroi de plomb ou de fer, un espace très grand ; la distance cristal-paroi doit être au moins égale à la moitié du parcours des γ les plus énergiques dans l'air. Le mouvement propre a été diminué par un cylindre de mercure de 6 mm d'épaisseur, mais les résultats très fantaisistes avaient fait apparaître un grand nombre de réflexions sur le cylindre contenant le mercure.

De plus, il a été possible de contrôler la valeur du coefficient d'équivalence du potassium et du Thorium par rapport à l'Uranium.

Les valeurs trouvées sont les suivantes :

$$\text{Potassium} : \frac{41,5}{34} = 1,2$$

$$\text{Thorium} : \frac{17}{34} = 0,5$$

Ces chiffres sont comparables à ceux qui ont été notés dans les pages précédentes (p. 91) et qui sont respectivement :

$$\text{Potassium} : 1,45$$

$$\text{Thorium} : 0,47$$

Donc, si les résultats ne sont pas exploitables immédiatement, ces essais ont permis d'acquérir les éléments de travail pour des travaux ultérieurs utilisant les mêmes moyens de détection.

VII - MESURES DE LA RADIOACTIVITE β DES ROCHES AU LABORATOIRE.

1) But.

L'étude de la radioactivité β des roches au laboratoire, avait pour but la détermination de l'activité globale. Cette activité globale est due aux rayonnements β du potassium, des membres de la famille du thorium et de l'uranium. Les rapports de l'activité β de ces familles sont sensiblement 1/450/1800. Connaissant par la chimie la teneur en potassium, il est facile de soustraire cette activité et de ne plus avoir que les activités des familles Thorium et Uranium. Puis, déterminant chimiquement les teneurs en uranium, il est possible d'atteindre la teneur en Thorium, mais ceci seulement dans le cas où l'uranium est en équilibre avec ses produits de filiation.

2) Principe et exécution des mesures.

Les premières expériences ont été exécutées avec un compteur cloche 13 A 6 ayant une fenêtre en bout en mica. La surface de la fenêtre est égale à 7 cm². Un support de plexiglass permet de placer la roche broyée (100 mesh) dans une position définie par rapport à la fenêtre et reproductible dans la suite des manipulations.

Ce compteur proportionnel a un mouvement propre de 15 coups/minute, sous 5 cm de plomb. L'activité d'un granite en poudre (poids 4 g, surface de la coupelle 6,5 cm²) est d'environ 4 à 5 coups/minute. On conçoit (p.95). que les temps de mesure deviennent prohibitifs.

Nous avons alors tenté d'utiliser un compteur à jupe, pour liquide, type 11 B 13. La roche en poudre est placée dans le volume entourant le compteur. Le poids de poudre utilisé atteint 25 grammes. Le mouvement propre d'un tel compteur est d'environ 20 coups/minute, sous 6 cm de plomb. L'activité β moyenne d'un granite est, dans ces conditions, d'environ 60 coups/minute (mouvement propre déduit).

Dans ces conditions, la durée d'une mesure est considérablement réduite.

3) Résultats.

Cette technique, utilisée antérieurement au comptage par scintillations, n'a pas donné les résultats escomptés. Les mesures sont entachées d'une erreur souvent importante du fait de la présence de famille en déséquilibre et par suite de l'absorption irrégulière des β . Un changement dans le tassement de l'échantillon provoque une variation pouvant atteindre 20 % dans le nombre des β émis. Pour ces raisons, les mesures ont été rapidement abandonnées.

VIII - ETUDE DE LA RADIOACTIVITE α AU LABORATOIRE.

1) Considérations générales.

Les méthodes précédemment exposées (γ et β) avaient en commun la particularité de détecter le potassium. Avec les méthodes utilisant la radioactivité α comme phénomène fondamental, rien de semblable ne se produira puisque le potassium n'est pas un émetteur α .

Les mesures quantitatives de l'U et du Th utilisent le comptage individuel des particules α .

Il est aisé de reprendre les calculs de l'activité α d'une source épaisse (1) pour la famille de l'Uranium (Finey - Evans, 1934).

Si P_u est le parcours des α de l'Uranium dans l'air (en cm), μ le rapport du parcours de l' α dans le minéral au parcours dans l'air et p le parcours maximum de l'hélium pour assurer sa détection, la profondeur maximum de la source d'où peuvent émerger les α est :

$$\mu (P_u - p) \quad (1)$$

Le nombre par seconde en 2π au-dessus de la surface d'un volume élémentaire $dy \cdot dA$ à partir de la profondeur y est :

$$n = \frac{D}{2} \cdot (1 - \cos \theta) dy \cdot dA. \quad (2)$$

D étant le nombre d'atomes d'Uranium se désintégrant par seconde et par cm^3 et

$$\cos \theta = \frac{y}{\mu(P_u - p)} \quad (3)$$

Le nombre total d' α émis par l'Uranium par unité de surface (cm^2) est :

$$n_u = \frac{D}{2} \int_0^{\mu(P_u - p)} (1 - \cos \theta) dy \text{ ou} \quad (4)$$

$$n_u = \frac{D}{4} \mu (P_u - p) \quad (5)$$

Connaissant le nombre probable de désintégration par atome et par seconde de l'Uranium (2), on obtient alors :

$$n_u = \mu d \times 10^3 \times 3,08_u (P_u - p) \text{ par seconde et par } \text{cm}^2 \quad (6)$$

Pour la famille de l'Uranium en équilibre on a :

$$N_u = \mu d \times 10^3 \times 3,08 \sum_u (P_u - p) \quad (7)$$

$\sum_u (P_u - p)$ représentant la somme des parcours de tous les α des membres de la famille.

Mais il est nécessaire de tenir compte de l'activité de la famille de l'Actinium. Le rapport d'activité de cette famille par rapport à celle de l'U est de 0,046 et le nombre d' α émis par cette famille est :

$$N_{acu} = \mu d \times 10^3 \times 0,14_u \sum_{acu} (P - p). \quad (8)$$

Par un calcul analogue, on obtient pour la famille du Thorium :

$$N_{th} = \mu d \times 10^3 \times 1,03 \sum_{th} (P_{th} - p) \quad (9)$$

Si $p = 0$, le nombre d' α émis par seconde et par cm^2 est :

$$N/\text{cm}^2/\text{s} = \mu d \times 10^3 (93,94 U + 28,84 Th). \quad (10)$$

Cette équation est l'équation fondamentale du travail de R. Coppens (1950).

(1) Une source épaisse est une source dont l'épaisseur est plus grande que le parcours des α les plus énergiques dans la matière constituant la source.

(2) La probabilité de désintégration est $4,83 \times 10^{-18}$, le poids atomique de l'Uranium est 235, d la densité du minéral en grammes et U la quantité d'Uranium en g/g d'où

$$D = \frac{6,06 \times 10^{23} \times 4,83 \times 10^{-18}}{235} \times U \times d$$

2) Calcul du coefficient d'absorption.

Le coefficient d'absorption, μd ou pouvoir d'arrêt, est proportionnel à la racine carrée de la masse atomique de l'élément en cause. (Règle de Bragg et Kleeman).

Nous rassemblons dans le tableau suivant les valeurs calculées pour les minéraux les plus courants dans les roches.

Tableau 28

Valeur du coefficient d'absorption aux α de différents minéraux.

Minéral	Composition chimique	$\mu d \times 10^3 \text{ g/cm}^3$
Quartz	SiO_2	1,48
Orthose	$6 \text{ SiO}_2 \quad \text{Al}_2\text{O}_3 \quad \text{K}_2\text{O}$	1,54
Albite	$6 \text{ SiO}_2 \quad \text{Al}_2\text{O}_3 \quad \text{Na}_2\text{O}$	1,47
Anorthite	$6 \text{ SiO}_2 \quad \text{Al}_2\text{O}_3 \quad \text{CaO}$	1,54
Néphéline	$4 \text{ SiO}_2 \quad \text{Al}_2\text{O}_3 \quad \left \begin{array}{c} \text{Na}_2 \\ \text{K}_2 \end{array} \right \text{O}$	1,47
Hornblende	$(\text{Mg Ca FeAl})_8 \text{ Si}_9 \text{O}_{26}$	1,72
Augite	$\text{Ca Mg Al} (\text{SiO}_3)_2$	1,73
Diopside	$\text{Ca Mg} (\text{SiO}_3)_2$	1,55
Olivine	$2 (\text{Mg Fe}) \text{O SiO}_2$	1,88
Magnétite	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	2,08
Ilménite	Fe TiO_3	1,9
Hématite	$2 \text{ Fe}_2 \text{O}_3 \quad 3 \text{ H}_2 \text{O}$	2,05
Pyrite	$\text{S}_2 \text{ Fe}$	2,07

Cependant calculées d'après les compositions moyennes des roches (Daly R.A., 1933) les valeurs du coefficient d'absorption des grands types de roches s'établissent ainsi qu'il suit :

granite	$1,51 \times 10^{-3} (\text{g/cm}^3)$
granodiorite	1,51 -
diorite	1,53 -
basalte	1,57 -
diabase	1,57 -
péridotite	1,54 -
dunite	1,50 -

On peut donc prendre une valeur moyenne de $1,53 \times 10^{-3}$. Cette moyenne n'introduira que peu d'erreur au cours des calculs utilisant les techniques de comptage α .

Connaissant le principe général de l'émission α des solides en couche épaisse, il nous restera à décrire les techniques employées.

3) Plaques photographiques pour usage nucléaire.

Le phénomène du noircissement des plaques photographiques par les composés Uranifères et Thorifères est connu depuis longtemps (Niepce de St Victor, 1867 ; Becquerel, 1896 ; Curie, 1898). En 1906, Canby et Wood montraient à leur tour l'action du Potassium.

Il est probable que ce soient Stép et Becke (1904) qui utilisèrent cette propriété pour localiser les minéraux radioactifs dans des minerais, tandis que Baret (1904) tentait la mesure quantitative de l'activité photographique des minéraux radioactifs. Plus tard, Reinganum (1911), montrait que le noircissement causé par des particules α représentait une file de grains d'argent.

Les premiers travaux géologiques paraissent avoir été exécutés en 1927 par Alexandrov (localisation de minéraux d'Uranium dans des roches carbonatées de Tyuya - Muyun (Turkestan).

Ultérieurement (1945-1950) un certain nombre de chercheurs réussirent à donner à cette technique un caractère quantitatif : Coppens (1950) Piccioto, (1949) Yagoda, (1949).

Cette technique est utilisée pour déterminer la radioactivité globale des roches réduites en poudre, mais également pour rechercher les minéraux radioactifs dans les lames minces de roches et déterminer leur teneur en U et en Th, ainsi que déterminer par mesure de la longueur des traces, les membres de la famille, s'il n'y a pas d'équilibre radioactif.

3-1) Détermination de la radioactivité α globale.

La roche broyée assez finement (200 à 600 microns) est déposée sur une plaque nucléaire. Les dimensions de cette plaque sont de 2 cm $\times$ 5 cm. Ces plaques sont découpées suivant les besoins dans les plaques Ilford C₂ de 5 cm $\times$ 20 cm, dont la gélatine a une épaisseur de 50 μ .

Les préparations sont ensuite déposées dans un lieu obscur. Au bout de trois jours, les plaques sont développées suivant différents modes.

Ilford et Kodak recommandent un agent développant I D 19 ou D 19.

Yagoda conseille d'amener le bain de développement à environ 32° C. Ceci demande beaucoup d'attention pour éviter des craquelures de la gélatine. On peut employer couramment la formule suivante pour le révélateur :

Sulfite de Sodium cristallisé	180 g
Soude caustique	35 g
Hydroquinone	45 g
Bromure de potassium	30 g

Ces produits sont dissous dans l'ordre dans 1000 cm³ d'eau distillée. Cette solution est diluée en prenant 2 volumes pour un volume d'eau distillée au moment de l'emploi. L'image latente est révélée en deux minutes pour une épaisseur de 50 microns à 32° C.

Le fixateur est un bain normal d'hyposulfite. On estime que la fixation est terminée lorsqu'il s'est écoulé la moitié du temps qu'a mis la plaque pour devenir transparente, soit environ 30 minutes pour les épaisseurs de 50 microns, aux environs de 32°C. Entre les deux phases, on utilise un bain d'arrêt de 2 % d'acide acétique.

Le processus suivant, plus lent que le précédent, a été utilisé pour nos travaux.

Le révélateur est constitué par deux solutions :

Solution 1 - Carbonate de Potassium	100 g
Sulfite de sodium anhydre	20 g
Bromure de potassium	1 g
Eau distillée pour faire	1000 cm ³
Solution 2 - Hydroquinone	1 g
Eau distillée	1000 cm ³

Les solutions à 18°C sont mélangées, volume à volume, au moment de l'emploi. Les plaques nucléaires y demeurent pendant 20 minutes.

Les plaques sont rincées à l'eau distillée et plongées dans un bain d'arrêt (acide acétique à 2 %) pendant 5 minutes. Nouveau rinçage à l'eau distillée. Les plaques sont déposées dans le bain fixateur : solution à 25 % d'hyposulfite de sodium à 18° C, pendant un temps égal à celui nécessaire pour que les plaques deviennent transparentes, augmenté de la moitié de ce temps, soit : 45 minutes environ. On rince ensuite abondamment à l'eau courante pendant 30 minutes, puis on laisse sécher à l'abri de la poussière. Pour augmenter la vitesse de séchage, on peut rincer dans deux bains successifs, l'un à 50 % d'alcool éthylique, l'autre à 90 %.

Dépouillement des plaques.

Les plaques séchées sont étudiées au microscope. Les points actifs sont repérés, puis un carré de 0,5 cm de côté est tracé sur la gélatine, de telle sorte qu'il contienne un nombre de points actifs proportionnel à celui rencontré sur la plaque entière.

Les traces α sont ensuite dénombrées en faisant défiler champ par champ la surface du carré. On obtient alors le nombre N de traces émises pendant le temps de pose et il est alors facile d'obtenir le nombre d' α /cm²/seconde.

Pour abréger ce comptage au microscope, nécessairement fastidieux, on utilise en complément un numérateur électromécanique.

Le chiffre ainsi obtenu est entaché d'une certaine erreur. Les causes de ces erreurs ont été passées en revue par H. Hussein (1959).

Nous verrons ultérieurement que cette méthode d'étude de la radioactivité α globale des roches a pu être améliorée.

3-2) Autoradiographie de lames minces.

L'étude de la distribution des minéraux radioactifs dans la roche conduit à l'utilisation de lames minces sans couvre-objet, mises en contact avec la surface sensible des plaques. C'est Alexandrov (1927) qui, très tôt, a utilisé la possibilité de reconnaître les minéraux uranifères sur des surfaces polies.

Technique.

La lame mince, sans couvre-objet, est placée contre la surface sensible de la plaque. Simple en son principe, cette technique est très délicate, car il ne doit y avoir aucun dérangement des plaques durant la pose et, de plus, il est nécessaire d'avoir un système de repérage très précis pour l'étude ultérieure.

Les différents chercheurs ont trouvé diverses solutions à ce problème.

Pose.

Il est évident qu'aucune translation ne doit se produire en cours de pose. Pour obtenir cette fixité, on peut employer des bandes de pléxiglass munies d'écrous à oreilles, donnant une pression réglable.

D'autres utilisent des supports avec lames ressorts (type chevalet de porte objet de microscope). Plus prosaïquement et aussi efficacement, on peut utiliser des "pinces à linge".

Repérage.

Après le développement, il est nécessaire de retrouver les centres émetteurs.

On peut utiliser des grains radioactifs (monazite, pechblende) placés en trois points de la lame mince ou de la section polie à étudier. (Robinson S.C. 1952) ; soit un peu avant le développement, éclairer rapidement la préparation : les minéraux clairs laisseront un voile obscur, les minéraux foncés une zone claire et reproduiront leur assemblage (A. Hee, 1948).

Repérage et pose peuvent enfin être combinés à l'aide de petits appareils avec points repères .

La durée de la pose des lames minces est variable : 2 à 3 mois. Les granites que nous avons étudiés ont été posés pour la plupart durant 20 jours.

Le développement des plaques se fait suivant le même processus que précédemment.

Tentative d'amélioration de cette technique.

Pour étudier lames minces et plaques nucléaires au microscope, il est nécessaire de les superposer (à moins de posséder un microscope comparateur à double objectif, du même type que ceux utilisés en balistique). Ceci est un grave inconvénient, du fait que les objectifs employés sur les microscopes Nachet (type HYS ou HYZ) utilisés au laboratoire, n'ont pas une grande distance frontale permettant au fort grossissement la mise au point successivement sur la lame mince et sur la plaque nucléaire.

Pour éviter cet inconvénient, on pourrait utiliser les émulsions coulées sur les lames minces et les sections polies. Plus simplement, nous avons réussi à décoller, sans déchirure, (par immersion dans l'eau distillée), la gélatine et l'émulsion vierge de la plaque nucléaire, puis, dans le bac, cette pellicule a été placée sur la lame mince. Les manipulations, assez longues et pénibles vis-à-vis des émulsions coulées, n'ont pas permis l'extension de ce mode opératoire.

3-3) Etude de l'état d'équilibre de la famille de l'Uranium.

Les plaques nucléaires ont permis d'étudier l'état d'équilibre dans la famille de l'Uranium.

Considérons la longueur des traces α dans la gélatine (p. 86). La longueur de ces traces s'étend de 11,7 à 38,4 μ . En mesurant la longueur et en la répartissant dans des classes correspondant aux longueurs, on doit avoir une répartition telle que, lorsque la famille est en équilibre, on ait dans chaque classe un nombre d' α correspondant aux membres de la famille Uranium.

Au contraire, si la famille n'est pas en équilibre, on verra dominer le nombre d' α de longueur caractéristique de l'élément présent.

Cette statistique est particulièrement longue et pénible à exécuter, puisqu'elle nécessite la mesure d'un assez grand nombre de traces subhorizontales (Coppens, 1950) en prenant les précautions nécessaires pour l'exécution de ces mesures précises au microscope (Vigneron - 1952).

Cette méthode a donc permis de trouver des phénomènes de déséquilibre certain (Fig. 47). Cependant, étant donné la lenteur de cette technique, nous avons préféré l'associer aux résultats de l'analyse chimique.

Par exemple, un échantillon dont le déséquilibre est manifesté a donné, par analyse chimique, une teneur en Uranium de 96×10^{-6} g/g (ppm). La teneur obtenue par plaques nucléaires a été calculée en utilisant le nombre de traces comptées, elle a été trouvée égale à 15 ppm. Si l'on fait le rapport $\frac{15}{96}$, on obtient un chiffre voisin de $\frac{1}{6,4}$.

Or, l'équilibre théorique est 1 et la présence de l'Uranium seul donne une valeur de $\frac{1}{8}$ (8 émetteurs α dans la famille). Le chiffre obtenu, voisin de $\frac{1}{6}$, conduit à admettre dans ce cas que seuls les isotopes U_I et U_{II} sont présents dans cet échantillon. Réciproquement, une radioactivité α due aux seuls éléments de la famille Radium pourra être reconnue si l'Uranium est absent de l'échantillon.

3-4) En conclusion, la technique des plaques pour usages nucléaires permet une estimation globale de la radioactivité α de précision suffisante dans la comparaison de la radioactivité de différentes roches. En associant lame mince et plaque nucléaire, il est possible de localiser les minéraux actifs et déterminer la teneur en Uranium et en Thorium.

Cette technique associée au dosage par voie chimique, conduit, dans certains cas, à la connaissance de la nature du déséquilibre dans la famille de l'Uranium.

Il est aisé de voir, dans les lignes précédentes, que l'estimation de l'activité α globale des roches par la méthode des plaques nucléaires, est une opération pénible pour l'opérateur (travail à l'obscurité en cours de pose, développement et fixation de longue durée, dépouillement au microscope fastidieux).

4) Comptage par scintillation α .

Nous avons tenté de remplacer cette technique par un comptage par scintillation, avec une possibilité d'estimer le rapport U/Th.

4-1) Principe.

Les α ont une propriété particulièrement importante, ils peuvent être arrêtés par certaines substances qui, absorbant l'énergie cinétique de l'hélium, la restitue sous la forme d'énergie lumineuse. L'évolution de la détection des faibles quantités de lumière a permis d'utiliser cette propriété connue depuis fort longtemps (Spinthariscopes de Lord Rutherford).

Les substances pouvant transformer l'énergie des hélions en énergie lumineuse, sont surtout les sulfures : Sulfure de Zinc (avec traces d'argent ou de cuivre) ; des iodures : Iodure de Cæsium. L'impulsion lumineuse est recueillie par une photocathode suivie d'un certain nombre d'étages multiplicateurs d'électrons (dynodes) enfermés dans un tube photomultiplicateur. On recueille enfin une impulsion électrique qui peut être utilisée dans les circuits habituels d'électronique nucléaire. (Fig. 27).

4-2) Réalisation des écrans de sulfure de zinc.

Le support du sulfure de zinc est constitué de disques en plexiglass à faces parallèles polies (1), le diamètre en est de 44 mm et l'épaisseur est de 8 mm. L'épaisseur de la couche de sulfure de zinc est de 10 mg/cm².

(1) Le polissage est effectué avec le plexipol n° 1 et n° 2.

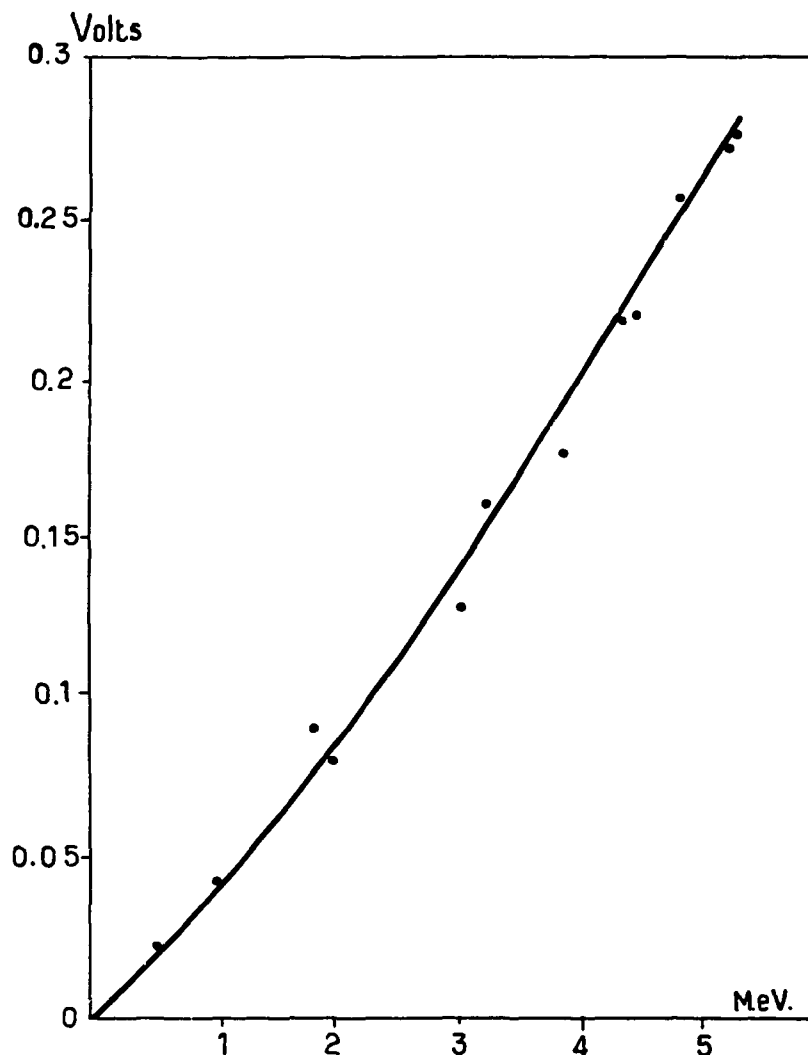


Fig. 27 - Hauteur des impulsions recueillies par le détecteur à scintillation en fonction de l'énergie des α atteignant l'écran.

Dans un bécher de forme haute, de capacité de 2 litres, muni d'un dispositif d'écoulement à la base, on place sur un petit support les disques (3 ou 4 disques de diamètre de 44 mm) soigneusement dégraissés à l'alcool méthylique. On remplit aux 5/6 le bécher d'eau distillée et l'on vide très près de la surface de l'eau une suspension de sulfure de zinc (GN17 de Massiot-Fluor) dans de l'alcool méthylique (pour une surface de 14 cm de diamètre, on m le 1,5 g de poudre à 15 cm³ d'alcool méthylique). Le film très fin demeurant à la surface de l'eau est enlevé à l'aide d'un morceau de papier filtre, on laisse décanter 10 minutes. Le liquide est ensuite siphonné jusqu'à 1 cm environ de la surface des disques, puis, par l'orifice inférieur, on laisse écouler à la vitesse de 10 gouttes par minute. Lorsque le liquide a dépassé la surface des disques, on vide plus rapidement. Une lampe infra-rouge placée à 50 cm au-dessus des disques, permet de faire le séchage du sulfure. On projette alors sur le sulfure un fixatif alcoolique (fixatif de lavis). Ce fixatif peut être réparti en spirale, depuis le centre vers la périphérie, en utilisant un compte-gouttes.

Les écrans ainsi réalisés sont placés à l'obscurité (fig. 28) et à l'abri de la pouss re (1).

Leur surface faible : (15 cm²) nous a conduit à faire des écrans de plus grande surface, (38,5 cm²), ayant un diamètre de 7 cm, constitués par un tronc de cône en pléxiglass jouant le rôle de conduit de lumière.

Depuis la fabrication de photomultiplicateurs   photocathode de grande surface : 98 cm² 11,1 cm de diamètre : (54 AVP), nous préférerons ne plus utiliser de support de pléxiglass ; le sulfure de zinc, dans ce cas, est fixé de la façon suivante :

De la graisse de silicone pour vide SISS est dissoute dans de l'éther éthylique (10 g pour

(1) Ce sont des écrans semblables qui ont permis l'étude de l'activité α d'un cristal de zircon (M. Roubault - R. Coppens, 1958).

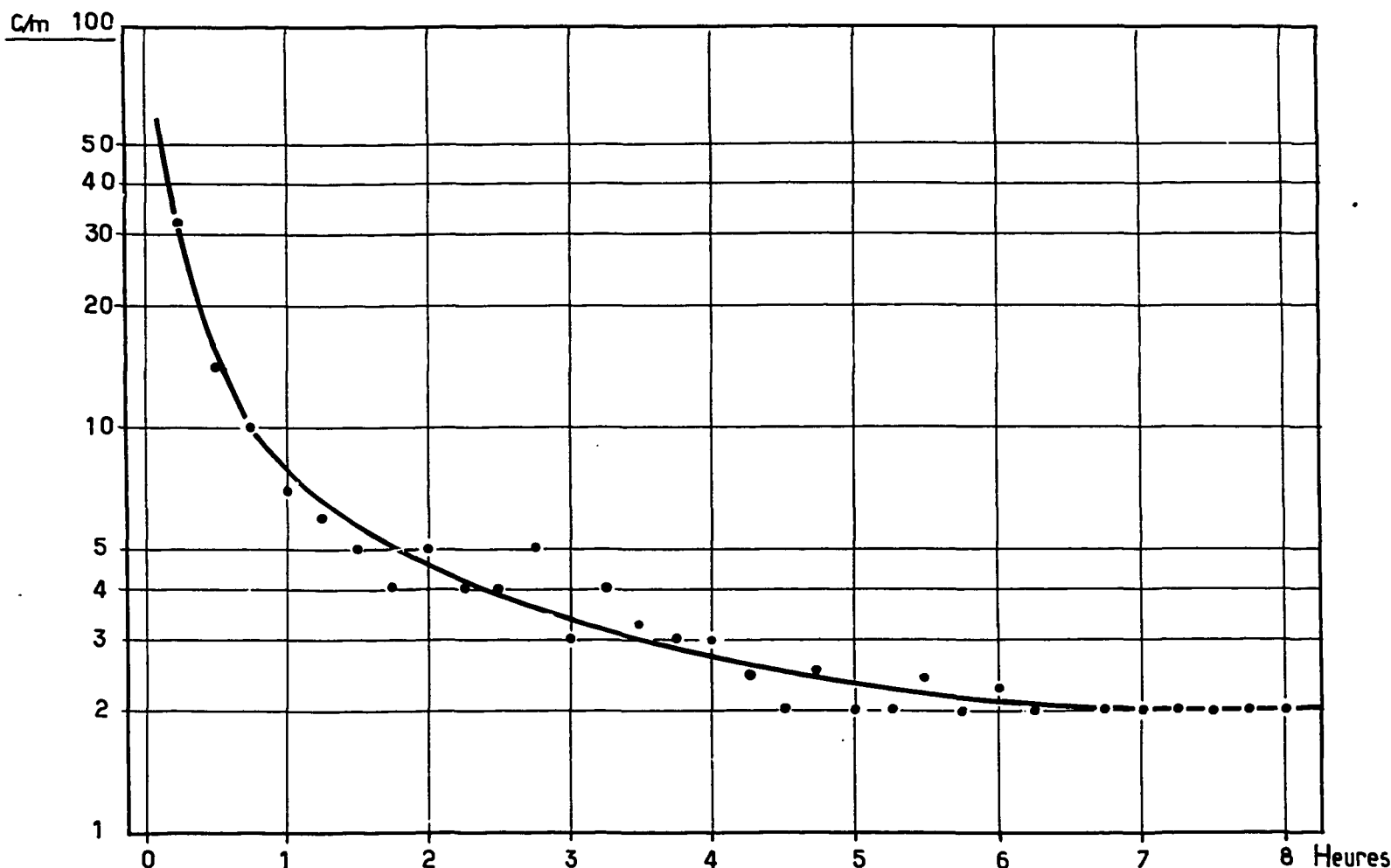


Fig. 28 - Décroissance du mouvement propre après exposition à la lumière de l'écran de sulfure de zinc.

100 cm³) puis cette solution filtrée est déposée sur la glace de la photocathode du photomultiplicateur. Après évaporation de l'éther, un film de graisse uniforme, mince, transparent et résistant demeure.

On fixe alors une bande de ruban adhésif sur le pourtour du photomultiplicateur, dépassant de 8 à 10 mm du niveau de la photocathode. Du sulfure de zinc, 1,5 g environ, est versé dans cette sorte de récipient et, par un mouvement de rotation, on arrive à obtenir un écran absolument uniforme. L'excès de sulfure de zinc est éliminé. L'épaisseur de cet écran est d'environ 10 à 12 mg/cm².

4-3) Appareillage.

Le photomultiplicateur 54 AVP de la Radiotechnique, est enfermé dans un boîtier métallique entouré d'un cylindre de mumétal. Ce photomultiplicateur est couplé électriquement avec le diviseur de tension, répartissant la haute tension aux différentes dynodes.

Un préamplificateur permet de réaliser 3 valeurs de gain 0,15, 1,5, 15. Ce préamplificateur n'est pas le montage d'origine. Il a été modifié afin d'être utilisé sur un ensemble numérateur RPN₃ de MESCO. L'alimentation haute-tension de ce bloc n'a pas été utilisée au cours des mesures. Afin d'obtenir une haute-tension très nettement définie, nous utilisons une alimentation APNS5K de Mesco, délivrant une tension de $\pm 1\%$ pour une variation de 10 % du secteur. De plus, un circuit de régulation est intercalé entre le secteur et l'alimentation haute-tension. Ce circuit est constitué par un transformateur suivi d'un alternostat.

4-4) Réalisation des mesures.

L'échantillon broyé (p.111) est placé dans des plateaux en laiton de 15 cm de diamètre et de

2,5 mm de profondeur (réalisant ainsi une couche épaisse). 165 g environ de poudre sont nécessaires pour réaliser cette source.

Un plateau de bois reçoit l'échantillon préparé. Il est glissé sous l'écran du photomultiplicateur. La position géométrique par rapport au photomultiplicateur est toujours la même au cours des mesures, un système de butées maintient la source concentrique par rapport à l'écran de sulfure. Cet écran a un diamètre utile minimum de 111 mm. La dimension de la source réalise donc une source de surface infinie par rapport à l'écran. La distance entre l'écran et la source est de 2 mm d'air et nous estimons qu'une perte d'énergie équivalente à 0,2 mm dans l'écran, donne une impulsion lumineuse détectable par le photomultiplicateur.

Dans ces conditions, l'équation (10) (p.109) devient :

$$N = \mu d \times 10^{-3} (91,4 U + 27,1 Th) \alpha / \text{cm}^2/\text{s} . (U \text{ et } Th \text{ en } 10^{-6} \text{ g/g}) \quad (11)$$

et, dans le cas d'un granite contenant 4 ppm d'U et 12 ppm de Thorium, on enregistre avec l'appareil :

$$N = 1,5 (91,4 \times 4 + 27,1 \times 12) \times 10^{-6} \times 98,5 = 0,102 \alpha / \text{seconde}.$$

En considérant les histogrammes des familles de l'Uranium et du Torium, (figure 22), ainsi que la courbe (fig. 27) et le fait que les impulsions produites par les particules α atteignant le sulfure de zinc ont une intensité proportionnelle à l'énergie qu'elles dissipent d'une part, et, d'autre part, que dans un photomultiplicateur l'impulsion lumineuse se traduit par une charge.

Or le gain G du photomultiplicateur est une fonction de la tension appliquée. Elle est de la forme $G = (K V)^n$, où K est une constante du photomultiplicateur utilisé, V la tension interdynode, n le nombre de dynodes. Ce gain varie donc très vite avec la tension appliquée (fig. 29) (1).

Mais, dans le cas d'une roche, la couche de poudre que doit traverser les α avant d'atteindre l'écran scintillant, joue le rôle d'un discriminateur à niveau fixe. De ce fait, le taux de comptage présente, pour une certaine plage de tension, un palier. Dans cette région de palier, une variation de l'ordre de 100 volts n'entraîne d'un changement de 2 % du taux de comptage. Or, on arrive facilement entre 1000 et 1300 volts à stabiliser la tension à 1 %. Les variations du taux de comptage seront donc minimales dans la zone du palier. En fixant la tension à une certaine valeur inférieure à celle du palier, on obtiendra une discrimination d'énergie.

Les premiers essais obtenus de cette façon ont été très satisfaisants. Par la suite, nous avons utilisé un ensemble constitué par le même détecteur (DCS₃) avec écran de Zn S (Ag) directement appliqué sur la photocathode. Il est suivi par le préamplificateur type spectrographie γ de gain égal à 10 ± 2 %.

Les impulsions délivrées par ce préamplificateur sont appliquées à l'entrée d'un tiroir universel TU₂, sans passer par le tiroir amplificateur.

En effet, les impulsions délivrées par l'ensemble DCS₃-preamplificateur sont assez élevées pour être appliquées dans la gamme 0,2 à 2 volts (fig. 27).

Le discriminateur permet de régler le seuil d'admission des impulsions et réalise une coupure sur les différentes énergies. Une double décade T2D1 reçoit les impulsions qui sont ensuite enregistrées sur le tiroir numérateur TND1. La très haute tension appliquée du photomultiplicateur est obtenue à l'aide d'une haute-tension APN₃ Mesco, dont la stabilité est meilleure que 1%.

Cet ensemble permet d'atteindre le rapport U/Th.

En effet, nous avons vu plus haut comment calculer le nombre d' α émis au total par la roche.

(1) Le bruit de fond augmente également très vite avec la tension appliquée.

Dans ces conditions, le nombre d' α comptés est celui prévu par l'équation, donc N_0 (p.116).
Lorsque l'on amène le discriminateur à une position 1, le nombre des α comptés est :

$$N_0 = \mu d \times 10^3 (a_0 U_I + b_0 Th) \quad (12)$$

$$N_1 = \mu d \times 10^3 (a_1 U_I + b_1 Th). \quad \alpha/cm^2/s. \quad (13)$$

où

$$N_1 < N_0 \text{ et } a_1 < a_0. \quad (a_0 = 94,4 ; b_0 = 27,1) \\ b_1 < b_0 \quad \text{équation (11)}$$

en formant le rapport de (12) et (13) on obtient :

$$\frac{N_1}{N_0} = \frac{a_1 U_I + b_1 Th}{a_0 U_I + b_0 Th} \quad (14)$$

après substitution et étalonnage par sources ne contenant que de l'Uranium en équilibre et du Thorium. il vient :

$$\frac{\frac{N_1}{N_0} - \left(\frac{N_1}{N_0}\right)_U}{\left(\frac{N_1}{N_0}\right)_Th - \frac{N_1}{N_0}} = \frac{b_0}{a_0} \cdot \frac{Th}{U} \text{ où } \frac{b_0}{a_0} = 0,288$$

4-5) Avantage du comptage par scintillation.

Cette technique présente des avantages certains par rapport au comptage au microscope.

La durée de la mesure est restreinte : trente minutes pour chacune des positions du discriminateur et, de plus, quelques contrôles de mouvement propre sont nécessaires. On peut espérer exécuter 6 mesures par jour.

Les manipulations de changement de sources doivent être exécutées dans l'obscurité, ou tout au moins la pénombre, ceci du fait de l'excitation du sulfure de zinc par la lumière. La quantité de poudre à utiliser est assez élevée ; il faut au moins 150 g d'échantillon, poids évidemment très élevé au regard des 8 ou 10 g utilisés dans la technique des plaques nucléaires.

4-6) Résultats.

Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux de chiffres où ils sont associés aux chiffres obtenus par comptage α .

IX - METHODE CHIMIQUE.

La méthode utilisée comporte, comme toute méthode chimique, trois phases principales :

Mise en solution de l'échantillon
Purification de cette solution
Dosage

1) Mise en solution

1-1) Echantillon

Les échantillons de roches recueillis sur le terrain ne sont pas homogènes. Il s'agit, en effet, de roches grenues dont les éléments sont de tailles variées. La taille moyenne des échantillons collectés est telle que se trouve respectée la recommandation de Laffite (1957) : un échan-

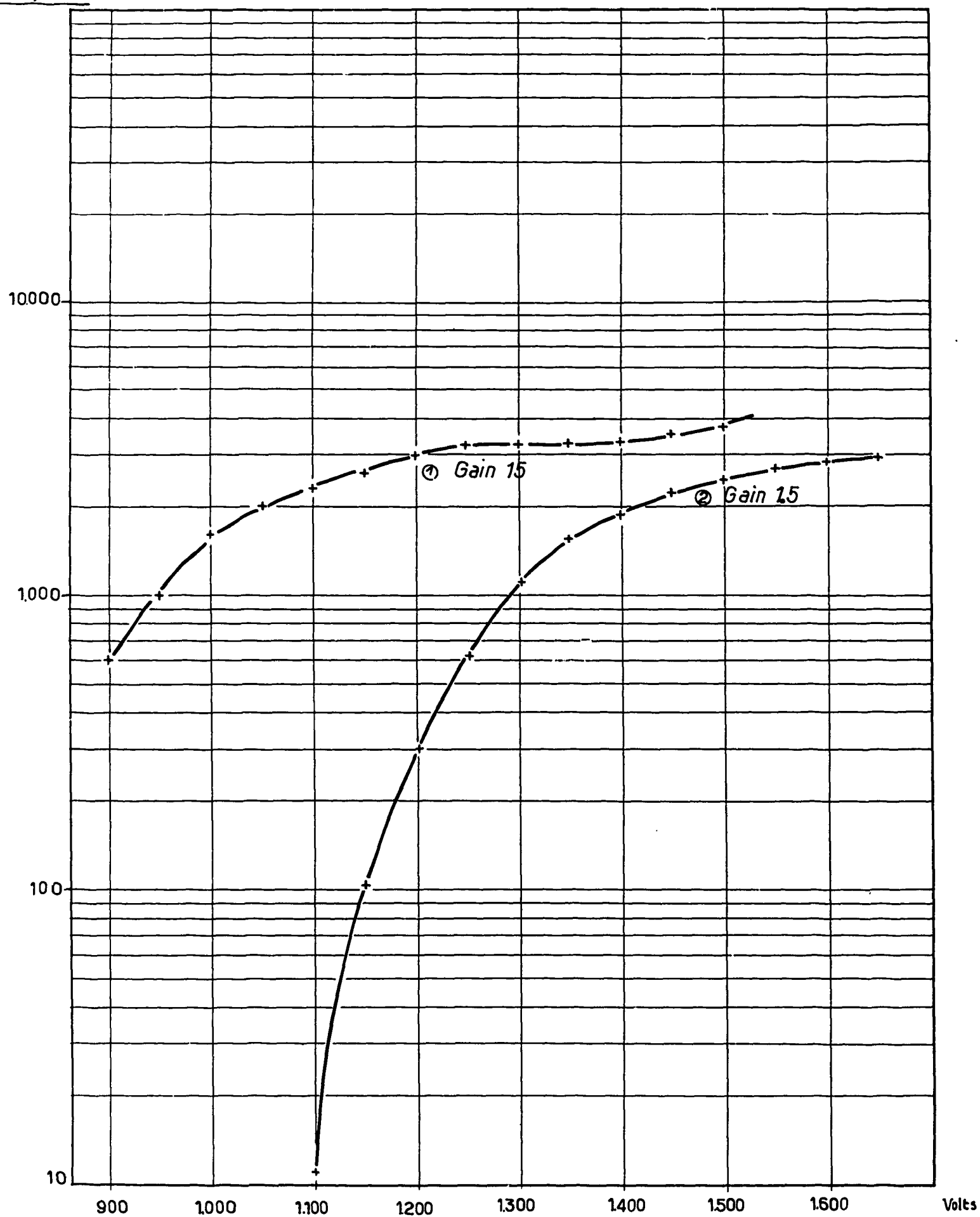


Fig. 29 - Taux de comptage α d'une source contenant Uranium et Thorium en fonction du gain du préamplificateur et de la haute tension appliquée au photomultiplicateur. (DCS₃ et P.M. 54 AVP n° 1259 de la Radiotechnique).

tillon doit peser au moins 100 fois le poids des plus gros cristaux. Ces échantillons sont broyés dans un broyeur à marteau. La poudre grossière (60 mesh) obtenue est quartée après mélange, et une part sera porphyrisée dans un mortier d'agate mécanique, jusqu'à l'obtention d'une poudre impalpable, (200 mesh). Cette poudre, mise en flacons étiquetés, fera l'objet des manipulations de chimie, tandis que la poudre grossière servira aux manipulations en vue du dosage des radioéléments par les rayons α (éventuellement β et γ).

1-2) Attaque

La poudre, séchée jusqu'à poids constant dans une étuve à 110°C, est pesée. La prise d'essai de 1 gramme est placée dans un bécher de 250 cm³ et on ajoute 5 à 10 cm³ d'eau régale. Le bécher est couvert d'un verre de montre et l'on porte sur plaque chauffante. Une heure après, 5 cm³ d'acide sulfurique 18 N (1/1) sont ajoutés à la liqueur d'attaque et l'on évapore jusqu'à fumées blanches.

En présence de roches phosphatées, 10 cm³ d'acide perchlorique et 5 cm³ d'acide sulfurique 18 N sont ajoutés et l'on porte à nouveau sur plaque chauffante pendant 25 à 30 minutes.

Après reprise par l'eau chaude, la filtration se fait sur papier Schleicher bande blanche. (Éventuellement on peut filtrer sous vide avec pulpe). Le résidu est lavé par décantation, à l'aide de 3 fois 25 cm³ d'acide sulfurique N chaud, puis 2 fois avec 25 cm³ d'eau chaude.

Cette attaque peut être remplacée par une fusion au pyrosulfate de potassium. Dans ce cas, 1 à 3 g de poudre séchée à 110°C sont pesés exactement dans un creuset de silice ou de platine, on ajoute un poids de pyrosulfate en poudre, représentant 12 à 15 fois le poids de la prise d'essai. La prise est mêlée au pyrosulfate en 2 ou 3 fois, à l'aide d'une spatule propre. La fusion est commencée lentement en chauffant sur le bec Bunsen, (il est nécessaire d'agiter constamment le creuset). Lorsque le bouillonnement cesse, la flamme est augmentée, mais il faut éviter de faire dégager des vapeurs blanches (SO₃). On laisse ensuite en fusion 45 à 50 minutes, en agitant de temps à autre. Lorsque la fusion est limpide, il faut chauffer très fort pendant 10 minutes pour faire dégager SO₃ en excès. Le creuset est alors agité pendant le refroidissement, afin de faire un film sur les parois (ceci facilite grandement la reprise). De l'eau chaude est alors ajoutée jusqu'aux 2/3 environ du creuset. On abandonne 1/4 d'heure. Lorsque le culot se détache, on porte dans un bécher 250 cm (forme basse). Par évaporation, le volume est amené à 50 cm³ environ. L'insoluble contient la silice et les sulfates insolubles (Pb, Ba, etc ...).

On filtre sur papier Schleicher bande noire, puis l'on rince jusqu'à disparition de SO₄²⁻. La solution de sulfate ainsi obtenue peut être traitée en vue de la séparation de l'Uranium.

Remarques

La solution sulfurique obtenue dans tous les cas est concentrée à environ 100 cm³. Elle est neutralisée alors par l'ammoniaque 7 N (1/1) jusqu'à début de précipitation (environ p H = 4) puis le précipité est redissout avec le minimum d'acide nitrique, on porte alors à l'ébullition pendant 5 minutes (ceci chasse le CO₂). La précipitation est effectuée alors par de l'ammoniaque 14 N soigneusement décarbonaté, on fait bouillir quelques minutes, on filtre alors sur papier Schleicher bande bleue en prenant soin de couvrir entonnoir et bécher par un verre de montre (éviter le CO₂ de l'air). Le filtrat est rejeté et le bécher ayant servi à la précipitation est placé sous l'entonnoir. Le précipité est ensuite redissout dans le filtre par de l'acide nitrique. On rince à l'eau chaude.

Attaque fluonitrique.

Cette attaque est plus particulièrement utilisée dans le cas de roches silicatées (granites, schistes métamorphiques, etc ...). Le résidu final est minime et évite une absorption de l'Uranium sur ce résidu peu important. Mais cette attaque est longue. Une prise de 1 gramme est mise dans un creuset de platine, 4 à 5 cm³ d'acide fluorhydrique sont ajoutés puis quelques gouttes d'acide nitrique concentré. Le creuset est porté sur un bec Bunsen à flamme douce en protégeant avec une plaque d'amiante. Quand l'acide s'est évaporé, on recommence encore une fois au moins en ajoutant un peu moins d'acide nitrique. Le résidu est repris par l'acide sulfurique 1/2 et la suite de la marche appliquée comme pour l'attaque à l'eau régale.

2) Extraction.

La solution est alors portée à sec puis reprise par 8 cm³ d'acide nitrique 2,5 N (il faut éviter de laisser longtemps à sec le résidu, il devient alors très difficile à redissoudre). On ajoute alors un même volume d'une solution relargante (nitrate d'ammonium 400 g, nitrate d'aluminium 500 g, acide nitrique concentré 100 cc, eau distillée pour compléter à 1 litre).

On porte cette solution dans une ampoule à décanter de 250 cm³ (la solution relargante sert en même temps au rinçage du bécher). Le volume dans l'ampoule est d'environ 100 cm³. On traite par 50 cm³ d'éther, on agite soigneusement. La phase surnageante contient le nitrate d'uranyle. L'opération est répétée 3 ou 4 fois.

L'éther contenant le nitrate d'uranyle est placé dans un erlenmeyer avec 20 cm³ d'eau. On évapore lentement l'éther. Le nitrate d'uranyle repasse dans la phase aqueuse. On place en fiole jaugée de 25 cm³, l'eau de rinçage est ajoutée et l'on ajuste au trait. Cette solution servira au dosage de l'Uranium.

Remarques.

Cette séparation au nitrate d'uranyle par l'éther est longue et la quantité de solvant utilisé est très importante. (La récupération de l'éther par distillation est déconseillée). Enfin un peu de fer est extrait. Or, la présence du fer est indésirable dans le dosage de UO₂, tel que nous l'exposerons plus loin.

L'éther, par la suite, a été remplacé par un solvant beaucoup moins volatil, dont le rendement d'extraction est cependant très bon. Le processus d'utilisation du tributylphosphate est le suivant :

Tableau 29

Comparaison de diverses techniques d'attaque et d'extraction effectuées sur un même échantillon : J T B₂.

Attaque	Fluonitrique	Fluonitrique	Fluonitrique	Chloronitrique (régale)	Chloronitrique	Fluonitrique
Précipitation	NH ₄ OH	NH ₄ OH	NH ₄ OH	NH ₄ OH	NH ₄ OH	pas de précipitation
Extraction	T.B.P.(1)	Ether	T.B.P.	Ether	T.B.P.	T.B.P.
Reprise au CO ₂ (NH ₄) ₂ , par fraction de 5 cm ³	25 cm ³	25 cm ³	25 cm ³	25 cm ³	25 cm ³	25 cm ³
Résultats en ppm (μ g/g)	77	30	55,25	38,5	72,5	77,75
Remarques	Extraction discontinue	Extraction discontinue à l'éther	Projections en cours d'extraction discontinue.	Extraction discontinue	Extraction discontinue	Extraction discontinue

(1) Tributylphosphate

Comme précédemment, le résidu sec est repris avec le minimum d'acide nitrique 1/5 (1 + 4). Cette solution est mise dans une ampoule à décanter de 125 cm³. Un volume double de solution relargante est ajouté en prenant soin de rincer le bécher avec cette solution. Quelques gouttes de solution de nitrate ferrique sont jointes à la solution dans l'ampoule, avec 7 -8 cm³ d'un mélange, volume à volume, de tributylphosphate (T.B.P.) et d'oxyde de butyle. L'agitation énergique dure deux minutes (un agitateur mécanique permet de traiter 5 ampoules à la fois). La phase organique surnageante est séparée et l'opération est répétée deux fois encore. Le solvant provenant de ces opérations successives est placé dans une autre ampoule à décanter de 125 cm³. Il est agité alors, avec précaution, avec 4 à 5 cm³ de carbonate d'ammonium à 20 %. Le nitrate d'uranyle repasse alors en solution dans le carbonate. L'opération est répétée 3 fois encore. Il est préférable de s'arrêter lorsque le T.B.P. ne présente plus de réaction acide à l'indicateur coloré, (papier pH). La réaction, violente au début, se calme. Il est nécessaire d'agiter alors vigoureusement pour tout reprendre le nitrate d'uranyle. Le carbonate d'ammonium, contenant maintenant tout l'Uranium, est

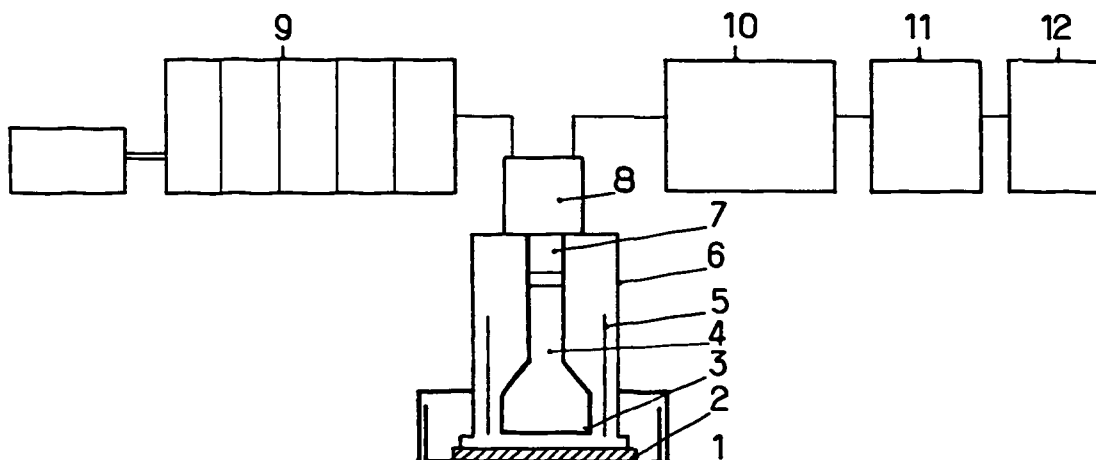


Fig. 30 - Diagramme de l'appareillage de comptage α par scintillation

- 1 - Coffret-support réalisant une chambre noire
- 2 - Source à mesurer
- 3 - Ecran de sulfure de zinc fixé à la photocathode du photomultiplicateur
- 4 - Photomultiplicateur 54 A V P (La Radiotechnique)
- 5 - Blindage en mu-métal
- 6 - Ensemble mécanique du DCS,
- 7 - Diviseur de tension
- 8 - Préamplificateur
- 9 - Echelle de mille avec compte-temps
- 10 - Alimentation haute-tension du photomultiplicateur
- 11 et 12 - Stabilisation de tension du secteur (Stabilivolt et Réguvolt).

porté en fiole jaugée, puis ajustée au trait. Nous avons groupé dans un tableau (T.29) les résultats obtenus sur le même échantillon par extraction à l'éther et au tributylphosphate.

A titre d'exemple, nous avons réunis dans un tableau les résultats obtenus sur divers échantillons, par deux attaques différentes et par des quantités variables de carbonate d'ammonium au cours de la reprise.

Tableau 30

Influence de l'augmentation du volume de la reprise par le carbonate d'ammonium sur le taux d'uranium récupéré.

Echantillon	SD ₁		SD ₂		SD ₃		SD ₄	SD ₅			
Attaque	Fluonitrique	régale	Fluonitrique	régale	régale	régale	régale	Fluonitrique	Fluonitrique		régale
Précipitation	NH ₄ OH	NH ₄ OH	NH ₄ OH	NH ₄ OH	NH ₄ OH	NH ₄ OH	NH ₄ OH	NH ₄ OH	NH ₄ OH		NH ₄ OH
Extraction	TBP	TBP	TPB	TPB	TPB	TPB	TPB	TPB	TPB		TPB
Reprise au CO ₂ (NH ₄) par fraction de 5 cm ³	10 cm ³	25 cm ³	10 cm ³	25 cm ³	10 cm ³	25 cm ³	50 cm ³	25 cm ³	10 cm ³	10 cm ³	50 cm ³
Résultats en ppm	1,69	1,42	0,34	84,5	0,43	139	76,5 _(a)	48,85 _(a)	0,35	71,7 _(b)	74,5

(a) Perte à l'extraction.

(b) Extraction faite sur le TPB restant de l'extraction précédente.

Cette méthode, couramment utilisée, est susceptible d'être modifiée.

En effet, il est nécessaire de travailler en milieu nitrique pour exécuter l'extraction par solvant organique de l'ion uranyle.

Or, il est possible d'extraire le sulfate d'uranyle par les amines. (C. Boirie, 1958 (a) et (b), 1960).

La phase de précipitation par l'ammoniaque peut donc être évitée. L'extraction se situe alors immédiatement après la reprise par l'acide sulfurique. Elle réalise un gain de temps considérable et évite une phase souvent responsable de perte d'Uranium. De plus, les solutions obtenues par attaque au pyrosulfate, peuvent être directement utilisées.

3) Dosage.

Le dosage est effectué par fluorimétrie. Le principe de ce dosage est fondé sur le fait qu'un sel d'Uranium fondu avec du fluorure de sodium devient fluorescent s'il est soumis aux rayons ultra-violets.

Ce phénomène est extrêmement sensible et il est quantitatif pour de très faibles quantités d'Uranium, de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-6} g d'Uranium. (Nakanishi, 1950).

L'appareillage utilisé pour ce dosage a été conçu au Commissariat de l'Energie Atomique (Besse, Hure, Brassart, 1951). Le schéma de principe est synthétisé dans la figure 31.

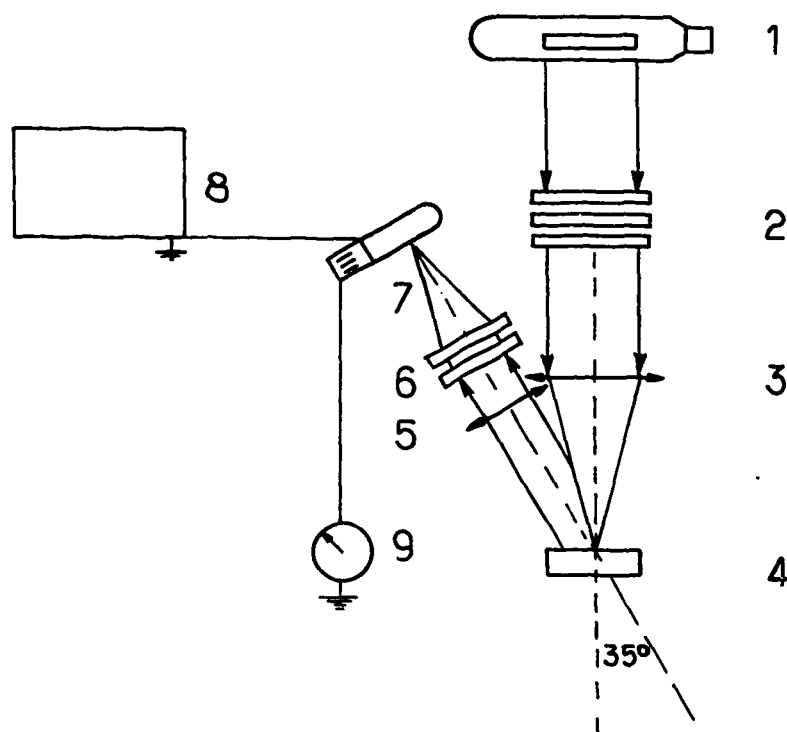


Fig. 31 - Schéma du fluorimètre type C.E.A.

- 1 - Lampe ultra-violet série spectrale (Philips)
- 2 - Filtre Corning donnant une longueur d'onde de 3 650 Å°
- 3 - Lentille de quartz concentrant le faisceau
- 4 - Nacelle en platine contenant la pastille de CO_3 , Na^2 + FNa + U
- 5 - Lentille concentrant le faisceau
- 6 - Filtre Corning donnant une longueur d'onde de 4 450 Å°
- 7 - Photomultiplicateur R C A 831 A
- 8 - Alimentation haute-tension du photomultiplicateur
- 9 - Galvanomètre sensibilité 10^{-9} Ampère par millimètre.

La source ultra violette est constituée par une lampe Philips, série spectrale de 15 watts (1). Une série de filtres ultra-violet (Corning) donne un maximum vers 3 650 Å. Une optique de quartz focalise les UV sur la pastille de FNa (contenant l'Uranium).

La lumière réémise dans le spectre visible est recueillie par une lentille, filtrée aux environs de 5 550 Å et focalisée sur la photocathode d'un photomultiplicateur RCA 931 A. La quantité d'électricité délivrée par ce photomultiplicateur (proportionnelle à l'intensité lumineuse) est mesurée par un galvanomètre de sensibilité 10^{-9} A/mm. Une haute tension pouvant donner 2000 volts alimente le diviseur de tension des dynodes du photomultiplicateur et complète l'ensemble.

3-1) Préparation des échantillons pour la mesure proprement dite.

Les opérations de mesures sont exécutées sur douze nacelles de platine correspondant aux douze alvéoles que porte le tambour du fluorimètre. Ce tambour présente successivement les nacelles sur le trajet optique des rayons ultra-violets. Ces nacelles ont un diamètre de 10 mm; une hauteur de 2 mm. Leur capacité est d'environ 0,1 cm³.

Les nacelles forment 4 groupes de trois.

Le premier groupe reçoit 0,1 cm³ d'une solution étalon contenant 1 γ/cm³ d'Uranium (2). Les groupes suivants reçoivent respectivement 0,1 cm³ de la solution obtenue après la réextraction de l'Uranium dans le carbonate d'ammonium à 20 % (p.120) de trois échantillons de roches différentes.

Les nacelles rangées sur une petite plaque d'aluminium sont portées sur la flamme très douce d'un bec Bunsen, afin d'éviter les projections. Le liquide s'évapore et le carbonate d'ammonium se détruit. Les nacelles ainsi préparées reçoivent un mélange homogène de 90 % de carbonate de sodium anhydre et 10 % de fluorure de sodium.

Une première fusion est exécutée sur les douze nacelles en même temps (Un gros bec Meker n° 6 était primitivement utilisé). Actuellement les nacelles sont placées en cercle sur une grille tournant au-dessus de 10 petits becs Méker n° 1. Les nacelles refroidies reçoivent à nouveau un peu du mélange et une autre fusion est exécutée. Elle a pour but d'homogénéiser l'ensemble.

Après refroidissement, les nacelles sont placées dans les alvéoles du tambour. La moyenne arithmétique de la déviation du galvanomètre est faite sur les trois nacelles de chaque échantillon. Un calcul simple permet ensuite de passer à la teneur par cm³ de la solution initiale, et, de là, à la teneur de l'échantillon. Par exemple : soit D_e la moyenne de la déviation du galvanomètre pour l'étalon ; D_i , celle de l'inconnu, la teneur par gramme de roches est $\frac{D_i}{D_e} \times \frac{100}{4}$ en 10^{-6} g/g (si la prise d'attaque est 1 gramme et le volume de la solution carbonate 25 cm³).

3-2) Reproductibilité.

Certains auteurs ont reproché à la méthode fluorimétrique de ne pas être reproductible et de donner des résultats entachés d'une erreur pouvant atteindre 50 % (Hussein, 1959).

Ces accusations sont exagérées. Cette méthode apportée par nos soins au laboratoire, a fait l'objet d'essais de reproductibilité résumés dans le tableau 31.

Lorsque les teneurs seront voisines de 100 ppm (10^{-6} g/g), les valeurs obtenues sont entachées d'une erreur de ± 10 %. Pour les teneurs plus faibles, de l'ordre de 20 ppm, l'erreur atteint ± 15 %.

3-3) Causes d'erreurs.

Les causes d'erreurs restent cependant nombreuses. Les principales provenant de la perte en cours d'attaque ou en cours d'extraction.

Le passage en solution carbonatée est une source d'erreur non négligeable en cours de manipulation. De plus, la fusion doit être faite en flamme réductrice.

La vaisselle d'analyse doit faire l'objet d'un nettoyage très soigné, en particulier les nacel-

(1) Par la suite de meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant une lampe de 90 watts et en réduisant la haute tension appliquée au photomultiplicateur ; de 1250 volts, elle a été amenée à 900 volts.

(2) Cette solution étalon est préparée à partir du nitrate d'uranyle ; l'hydroxyde est précipité, calciné et pesé ; dissout dans le minimum d'acide nitrique. Cette solution mère donne la solution étalon par dilutions successives.

Tableau 31

Essais de reproductibilité (fluorimétrie) exécutés sur divers échantillons.

Echantillon :	1	2	3	4	5	6	7
Fusion Teneur en μg							
1	78	57	67,5	33	40,5	165	97
2	75	56	67,3	31,5	39,5	155	102
3			66	29	38,5	155	99
4			72	35	38	145	106
5			69	36			102
6				34			105
7				34,5			99
8				35			98
9				34			107
10				31,5			102
Moyenne	76,5	56,5	68,4	33,4	39,1	155	100
Fluctuation	2 %	1 %	5 %	13 %	3,6 %	6,5 %	7 %

les de platine. Après le passage au fluorimètre, les nacelles sont plongées dans un bécher (marqué et réservé à ce seul usage) de 400 cm³, contenant 300 cm³ d'eau acidifiée par 5 cm³ d'acide chlorhydrique pur. Il est porté à l'ébullition pendant 3/4 d'heure. Les nacelles sont alors placées dans un autre bécher contenant de l'eau ordinaire portée à l'ébullition pendant 30 minutes. La même opération est faite avec de l'eau distillée, achevant ce nettoyage. De plus, de temps en temps (toutes les 10   12 fusions), il est effectué une fusion au bisulfate de potassium. Il est nécessaire de s'assurer de la propreté des nacelles en effectuant un blanc de contrôle traité dans les mêmes conditions qu'une fusion ordinaire.

Les micropipettes sont nettoyées après les manipulations dans l'acide nitrique 1/5, puis rincées à l'eau distillée et à l'alcool éthylique.

X - COMPARAISON DE LA METHODE FLUORIMETRIQUE ET DU DOSAGE α DANS LE CAS DE PRODUITS EN EQUILIBRE.

Il a été possible de comparer les résultats fluorimétriques obtenus au laboratoire, en utilisant des échantillons déjà dosés à la section des teneurs de la D.R.E.M. (1). D'autre part, ils ont été confrontés avec les valeurs obtenues par autoradiographie α .

Cependant, nous avons voulu comparer plus précisément les résultats obtenus par autoradiographie et fluorimétrie, ces deux techniques ayant été introduites par nous au laboratoire. Le tableau suivant rassemblera les résultats qui ont été contrôlés par le test statistique de Student-Fischer : Comparaison des moyennes et calcul de l'écart réduit. (Tableau 32).

En appliquant le test de Student-Fischer, on obtient :

$$\begin{aligned} s \text{ ( cart-type)} &= \frac{198,3}{3} = 66,1 & t \text{ ( cart-réduit)} &= \frac{\bar{x}}{s/\sqrt{N}} = \frac{0,4 \times 3,3}{66} = 0,02 \end{aligned}$$

D'après les tables la valeur de t est nettement inférieure à la plus petite valeur donnant le maximum de chance pour qu'une distribution des valeurs soit significativement différente de l'autre. Ce qui montre que les écarts entre les résultats donnés par les deux méthodes ont une même valeur (  condition de se trouver, nous le rappelons encore une fois, en équilibre, pour l'autoradiographie).

(1) Direction des Exploitations et Recherches Minières du Commissariat à l'Energie Atomique.

Tableau 32

Concordance des analyses fluorimétriques et autoradiographiques.

Echantillons	Fluorimétrie (F)	Autoradiographie (A)	Différence		Gain de F/A
			F/A	A/F	
670. Tout venant Bigay	1280 ppm	1113 ppm	167	-	+ 167
707. Résidus Bigay	165 ppm	190 ppm	-	25	- 25
B1. Tout venant Les Sagnes	880 ppm	970 ppm	-	90	- 90
K1. Schistes des Vosges	130 ppm	120 ppm	10	-	+ 10
SP11. Phosphates du Sénégal	180 ppm	230 ppm	-	50	- 50
JTV 71a. Minéral de manganèse	64 ppm	66 ppm	-	2	- 2
JTV 88. Granite de Plombières	27,8 ppm	27,6 ppm	-	-	- 0
VAT. 3 Granite arénisé	19 ppm	24 ppm	-	5	- 5
JTV 59b. Microgranite	12 ppm	11 ppm	1	-	+ 1
JTV 71c. Minéral de manganèse	96 ppm	106 ppm	-	10	- 10
			178	182	$\bar{x} = - 0,4$

Tableau 33

Valeurs de t d'après Student-Fischer

Nombre d'échantillons	Probabilité	10 %.	5 %	1 %
N = 5	t =	2,13	t = 2,78	t = 4,60
N = 6		2,02	2,57	4,03
N = 10		1,83	2,26	3,25
N = 20		1,73	2,09	2,86
N = 30		1,70	2,04	2,76

Association des résultats obtenus par plaques nucléaires et par fluorimétrie.

Dans le tableau précédent, nous avons utilisé des échantillons en équilibre radioactif et nous avons vu que les résultats étaient concordants. Il n'en sera pas toujours ainsi. En effet, une rupture de l'équilibre peut se produire dans la famille de l'Uranium, surtout au niveau du Radon. Soluble dans l'eau, ce gaz peut migrer souvent loin du point où il a pris naissance et peut alors déposer les autres éléments actifs de la fin de la famille.

La comparaison des résultats obtenus par les plaques nucléaires et ceux de l'analyse chimique sera particulièrement intéressante, puisque l'on pourra déduire le sens de l'équilibre. En effet, lorsque l'équilibre radioactif est réalisé, il y a huit émetteurs α dans la famille de l'Uranium. Que survienne un phénomène détruisant l'équilibre, les émetteurs α pourront être entraînés. Le chiffre représentant la teneur en U sera donc plus petit que dans le cas de l'équilibre. En faisant les rapports des teneurs plaques nucléaires et teneurs fluorimétrie, il sera possible, dans une certaine mesure, de retrouver les rapports des émetteurs α présents par rapport à ceux de la famille en équilibre. Un exemple peut illustrer cette interprétation (G. Jurain, 1957). Deux échantillons (p.) ont donné les résultats suivants :

Fluorimétrie	Plaques nucléaires
96 ppm	15 ppm
102 ppm	15 ppm

En formant les rapports $\frac{15}{96}$ et $\frac{15}{102}$ on obtient les valeurs 0,156 et 0,147, voisine de 1/7.

Dans ces conditions, il est donc possible d'affirmer que seul l'Uranium est présent ; de plus, étant donnée la valeur minime de ce rapport (plus petit que 0,25), il est même permis de dire que l'isotope U_{II} est présent mais n'a pas encore atteint l'équilibre.

En conclusion, la détermination chimique de la teneur en Uranium dans les roches par la fluorimétrie, est une technique bien adaptée au but poursuivi. Les fluctuations dans les résultats demeurent dans les limites acceptables et, dans la plupart des cas, les chiffres obtenus peuvent être affectés de $\pm 10\%$ d'erreurs. La comparaison entre des résultats de la méthode chimique et ceux des plaques nucléaires permet de déterminer l'état d'équilibre des échantillons étudiés.

CHAPITRE III

LES TENEURS EN URANIUM ET EN THORIUM DES ROCHES ÉTUDIÉES

I - DISTRIBUTION DE L'URANIUM ET DU THORIUM DANS LES FORMATIONS D'AGE SECONDAIRE.

Les formations qui nous ont intéressé sont surtout des grès du Trias inférieur (p. 24). Seules la teneur en uranium de ces formations et leur activité α globale ont été étudiées. Les valeurs des teneurs en thorium en ont été déduites et l'étude s'est bornée seulement à la distribution des teneurs en uranium et en thorium. En effet, l'étude des minéraux contenant l'uranium et le thorium aurait débordé sur un sujet en cours d'étude.

Cependant, les résultats obtenus ont été précieux lorsqu'a été étudiée la distribution du radon dans les eaux de sources de grès du Trias inférieur (p. 242).

Le tableau (p. 300) réunit l'activité α , mesurée aux plaques nucléaires, la teneur en uranium dosée par fluorimétrie, ainsi que les teneurs en thorium déduites des données précédentes.

A - CONGLOMERAT DU SOMMET DU GRES VOSGIEN.

Le nombre d'échantillons est faible. Les chiffres obtenus permettent quelques comparaisons ; par contre, il n'a pas été possible de les étudier par les moyens de la statistique. Les valeurs en uranium et en thorium sont en général très faibles.

B - COUCHES INTERMEDIAIRES INFÉRIEURES.

Le nombre de renseignements obtenus est faible - 16 - il a semblé préférable de les grouper, étant donnée la parenté géologique, avec ceux de la formation sus-jacente.

C - COUCHES INTERMEDIAIRES SUPÉRIEURES.

Disposant d'un nombre de résultats un peu plus important que pour les couches intermédiaires inférieures, mais insuffisant malgré tout pour constituer une population statistique, ils ont été groupés avec ceux de la formation précédente. (La commune origine géologique permet de faire une telle opération).

Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau 34

Distribution des teneurs en U des couches intermédiaires et supérieures du grès bigarré.

Classe teneur en ppm	Nombre d'analyse	Pourcentage	Fréquence cumulée
0	7	17	-
1	9	22	83
2	13	33	61
3	6	15	28
4	5	13	13
5	40		

La répartition dans les classes ainsi définies s'ajuste à une loi arithmético-gaussienne, (fig. 32).

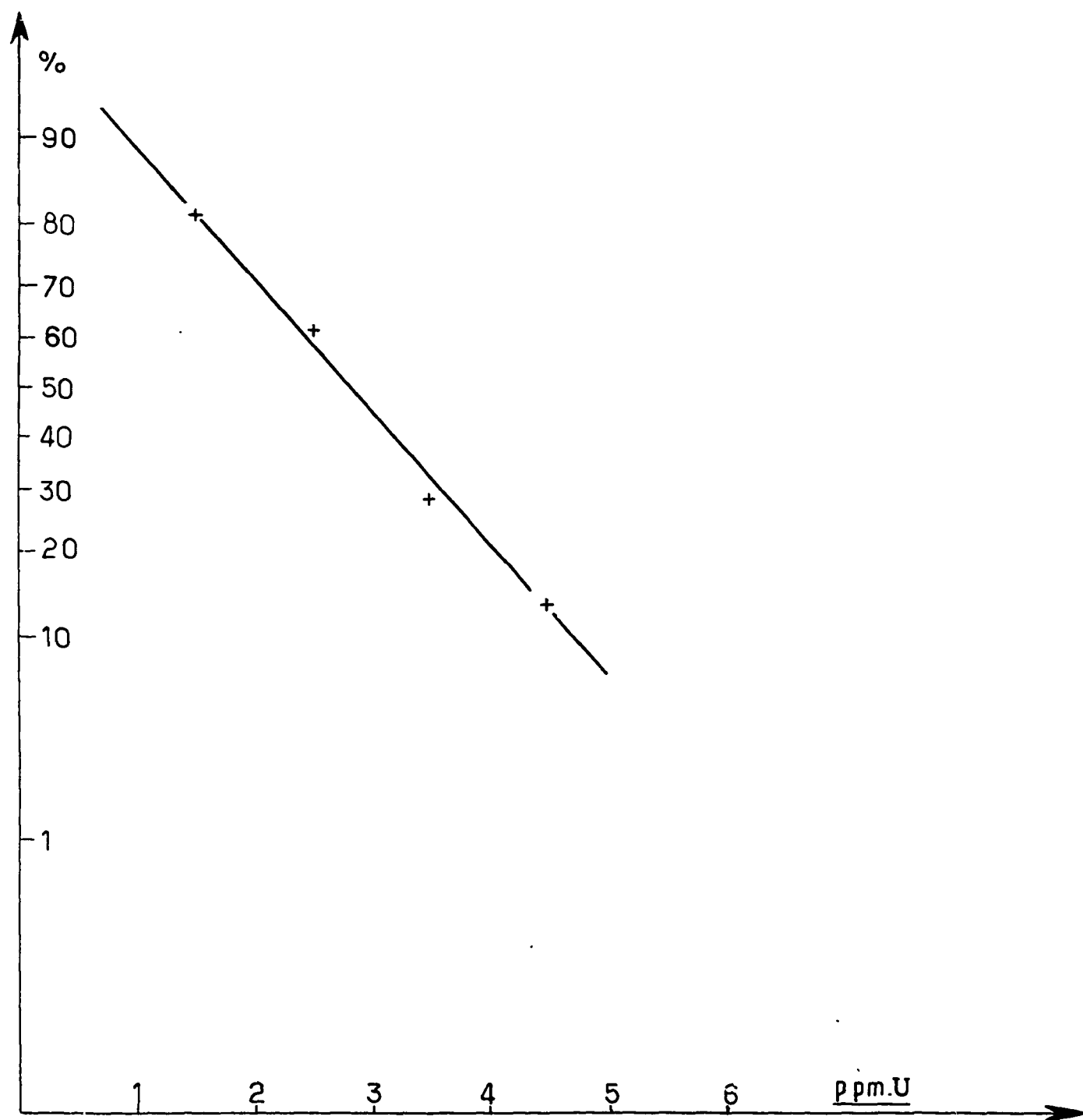


Fig. 32 - Ajustement graphique à la loi arithmétique normale de la distribution des teneurs en Uranium des couches intermédiaires supérieures et inférieures du grès bigarré. Moyenne = 2,8 ppm. Ecart type = 0,9.

Les paramètres tirés de l'ajustement à cette loi sont les suivants :

moyenne : 2,8 ppm

écart-type : 0,9 ppm

ceci donc permet de dire qu'un bon nombre de mesures se groupent aux environs de cette moyenne.

D - GRES A VOLTZIA

Les renseignements recueillis sur cette formation sont les suivants (Tab. 35) :

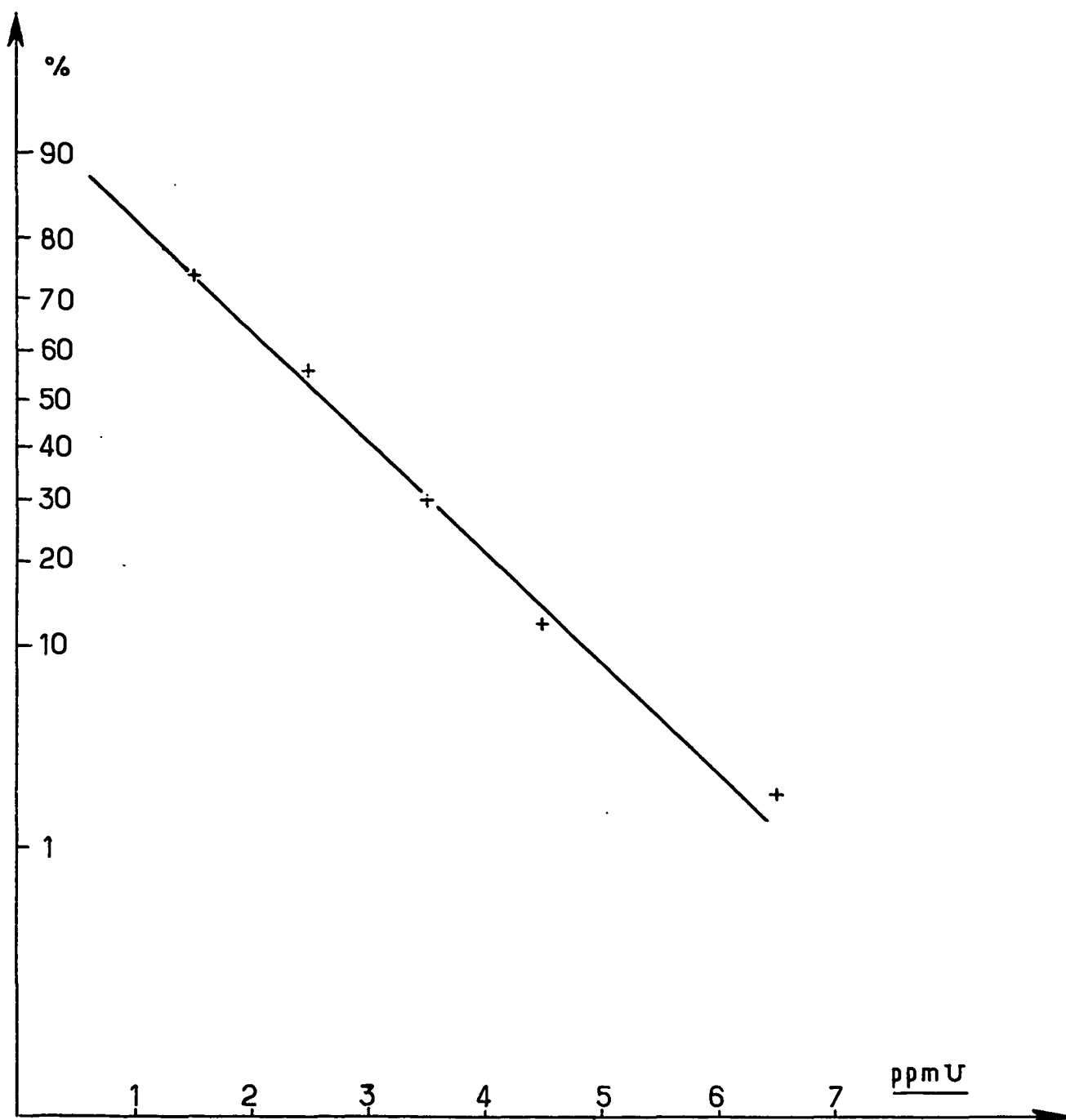


Fig. 33 - Ajustement graphique à la loi arithmético-gaussienne de la distribution des teneurs en Uranium du grès à Voltzia. Moyenne = 2,5 ppm ; Ecart type = 1.

Tableau 35
Distribution des teneurs en U du grès à Voltzia

Classe teneur en ppm	Nombre d'analyse	Pourcentage	Fréquence cumulée
0	9	24,5	-
1	7	18,5	74,5
2	10	25	56
3	7	18,5	31
4	4	10	12,5
5	0	-	-
6	1	2,5	2,5
7			
	38		

L'ajustement à la loi arithmético-gaussienne est parfait (fig. 33). Les paramètres sont ici :

moyenne : 2,5 ppm

écart-type : 1

E - GRES DE RUAUX.

Les renseignements sur cette formation sont assez peu nombreux et ne permettent pas une étude statistique.

F - CONCLUSIONS.

Les teneurs en uranium concernant les formations les plus importantes du Trias inférieur - Grès bigarré - sont donc voisines. Les distributions concernant les couches intermédiaires (inférieures et supérieures) et le grès à Voltzia sont semblables = moyennes et écarts-type presque égaux. Ceci conduit à admettre une commune origine géologique de ces formations (fig. 34).

S'il a été aisé d'étudier les teneurs en uranium, il n'en va pas de même pour le rapport Th/U. Il ne nous a pas été possible d'ajuster la distribution de ce rapport à une loi simple. La distribution normale ne peut, en aucun cas, se superposer et, encore moins, la distribution logarithmique normale.

L'uranium étant distribué normalement, seul le thorium est en cause. Il semble alors possible d'en inférer que le thorium est contenu dans des minéraux dont les teneurs en cet élément sont très variables.

Etant donnés les travaux poursuivis sur le Trias inférieur (Perriaux, 1961), les investigations concernant les minéraux hôtes de l'uranium et du thorium n'ont pas été poussées plus avant, puisqu'il s'agit là du problème des minéraux lourds.

II - L'URANIUM ET LE THORIUM DANS LES ROCHES GRANITOÏDES.

Dans un premier temps, seul l'uranium fait l'objet d'études concernant sa distribution ; puis, l'activité α (surtout celle que nous avons étudiée par la scintillométrie) conduit à envisager le rapport Th/U. Ensuite un essai est fait pour dégager les liens, s'ils existent, entre les teneurs en uranium et les autres éléments des roches granitoïdes ; enfin sont envisagés les minéraux "hôtes" de l'uranium et du thorium.

Cette "minéralogie" nous permettra alors de mettre en relief certains résultats d'observations et d'aborder le problème de l'altération et celui de l'équilibre radioactif. Ce dernier fait d'ailleurs l'objet d'une étude plus détaillée dans certains cas particuliers.

A - DISTRIBUTION DE L'URANIUM EN TANT QU'ELEMENT CHIMIQUE.

Les roches granitoïdes dont il est ici question sont celles rencontrées dans le secteur étudié, c'est-à-dire : granulite, granite gris porphyroïde et granite à amphibole.

1) La granulite.

Les renseignements concernant la granulite sont assez peu nombreux, étant donné le peu d'extension de la granulite dans le secteur, et du fait de la maille de prélèvement. La moyenne arithmétique des 11 résultats est de 4 ppm. Cette teneur correspond au chiffre moyen généralement admis pour les granites.

2) Le granite gris porphyroïde.

L'extension du granite gris porphyroïde a permis de recueillir un certain nombre de chiffres qui, rassemblés et classés, forment le tableau suivant : (Tableau 36).

L'ajustement à une distribution arithmétique normale est très satisfaisant (fig. 35), tandis qu'une tentative d'ajustement en utilisant des coupures de classes logarithmiques ne permet pas d'assimiler la distribution des teneurs à une distribution logarithmique normale.

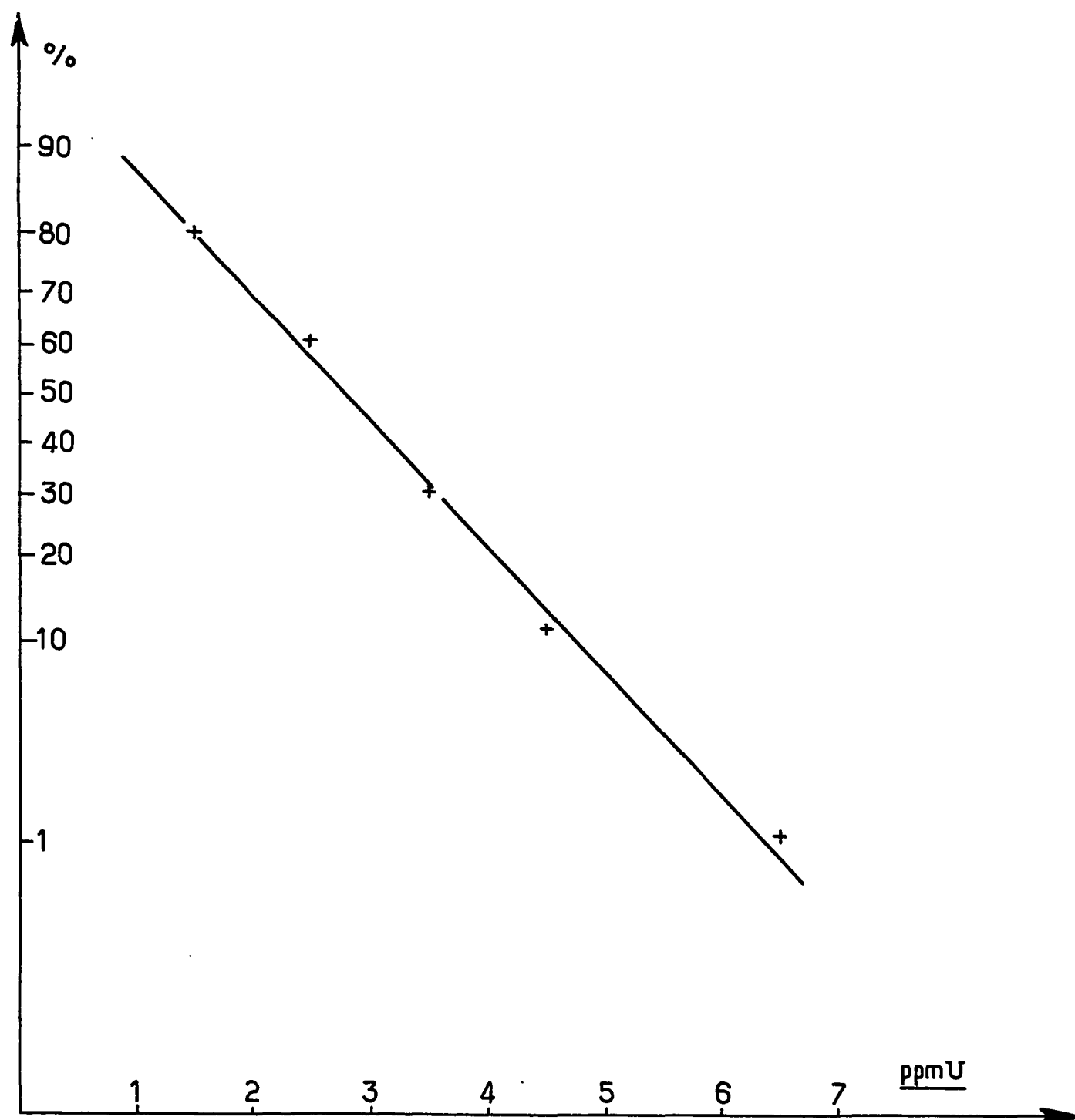


Fig. 34 - Ajustement graphique à la loi arithmétique normale de la distribution des teneurs en Uranium des formations du Trias inférieur (grès Vosgien au grès à faciès Ruaux inclus).
Moyenne = 2,8 ppm ; Ecart type = 0,9.

Tableau 36 Distribution des teneurs en U du granite gris porphyroïde.			
Classe teneur en ppm	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée
0	6	13,8	-
2	8	18,6	86,2
4	14	32,6	67,6
6	6	14	35
8	6	14	21
10	3	7	7
12			
	43		

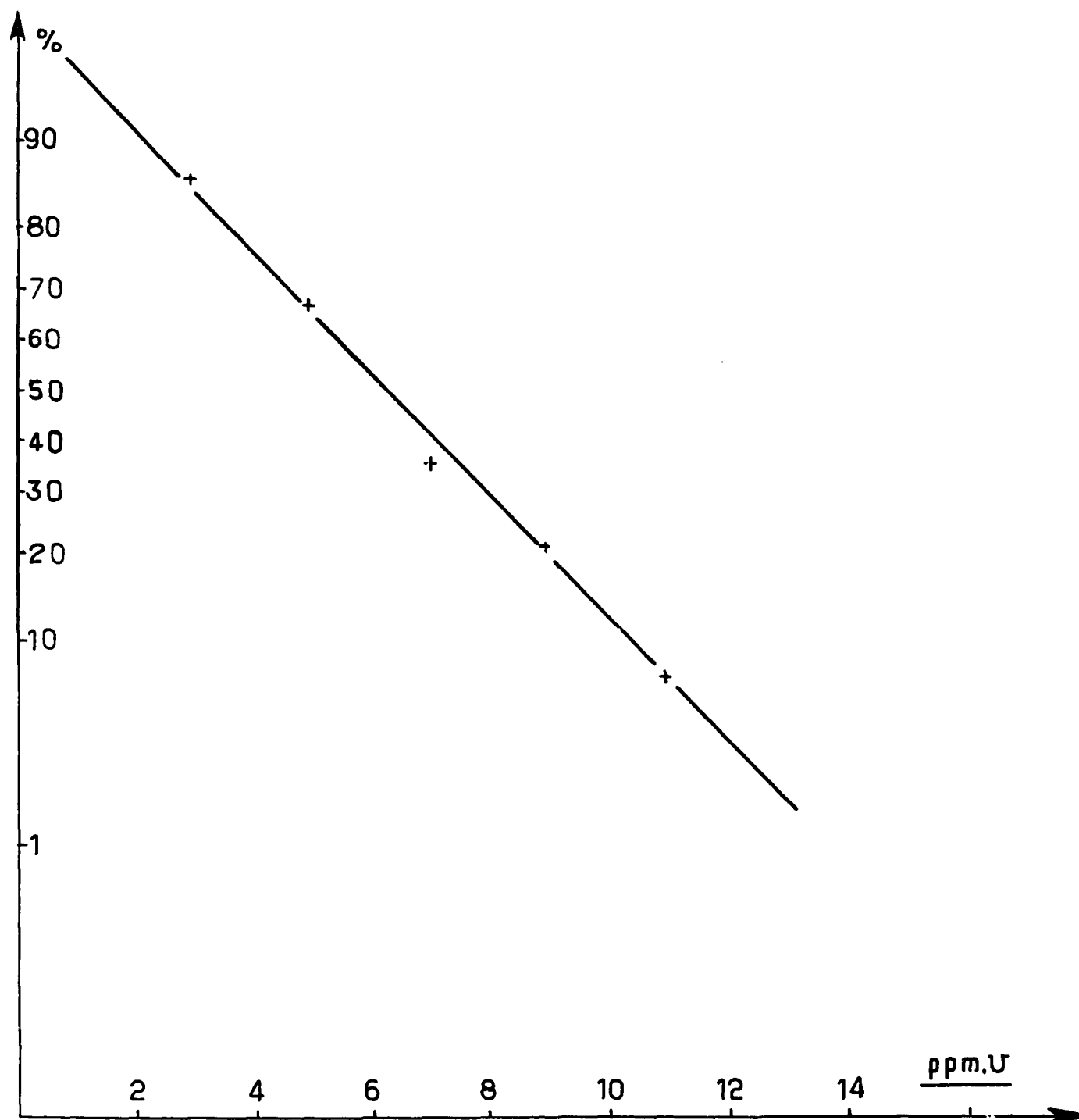


Fig. 35 - Ajustement graphique à la loi arithmétique normale de la distribution des teneurs en Uranium du granite gris porphyroïde (Vosges méridionales). Moyenne = 6,2 ppm ; Ecart type = 0,68.

Les paramètres tirés de l'étude de la droite sont les suivants :

moyenne : 6,2 ppm

écart-type : 0,68

La teneur en uranium apparaît assez élevée, mais elle est difficilement comparable à la teneur moyenne de la granulite.

Cependant il est permis de mettre ici en parallèle les valeurs obtenues par Coulomb (1959) sur différents granites :

	Vendée	Bretagne	Morvan	Elbéma
Moyenne :	6	4,6 - 4,5	4,2	6,6

Seuls se rapprochent donc de la teneur moyenne enregistrée, les granites de Vendée et d'Elbéma.

3) Le granite à amphibole.

Nous possédons un assez grand nombre de mesures concernant le granite à amphibole, dont nous avons donné les principaux caractères (p.27).

Les résultats répartis dans les classes de teneurs ont donné le tableau suivant :

Tableau 37

Distribution des teneurs en U du granite porphyroïde à amphibole.

Classe teneur en ppm	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée
0	3	4,2	-
2	16	22	95,3
4	16	22	73,3
6	13	18	51,3
8	8	11	33,3
10	9	12,5	22,3
12	3	4,2	9,8
14	2	2,8	5,6
16	1	1,4	2,8
18	1	1,4	1,4
20			
	72		

Cette répartition s'ajuste assez mal à une distribution arithmétique normale, aussi avons nous tenté de faire la répartition dans les classes logarithmiques.

Le tableau suivant a été obtenu :

Tableau 38

Distribution dans des classes logarithmiques des teneurs en U
du granite porphyroïde à amphibole.

Classe de teneur ppm	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée	F.C. × 100
0,8	3	4,05	99,1	9910
1,26	-	-	-	-
2	9	12,2	95,05	9505
3,2	13	17,6	93,85	8385
5	23	31,10	66,25	6625
8	19	25,7	35,15	3515
12,6	5	6,75	9,45	945
20	1	1,35	2,70	270
31,6	-	-	-	-
50	-	-	-	-
80	1	1,35	1,35	135
120				
	74			

Cette distribution s'ajuste très bien à une distribution logarithmique normale (fig. 36). Les paramètres déduits de la courbe sont les suivants :

moyenne : 7,5 ppm

Ecart-type logarithmique : 0,62 soit 1,85 (arithmétique).

Cette moyenne est donc élevée par rapport aux chiffres précédents : à la granulite des Vosges, aux granites de Grury ou de Bretagne.

Le granite à amphibole présente une teneur moyenne en uranium, supérieure à la teneur moyenne du granite gris porphyroïde.

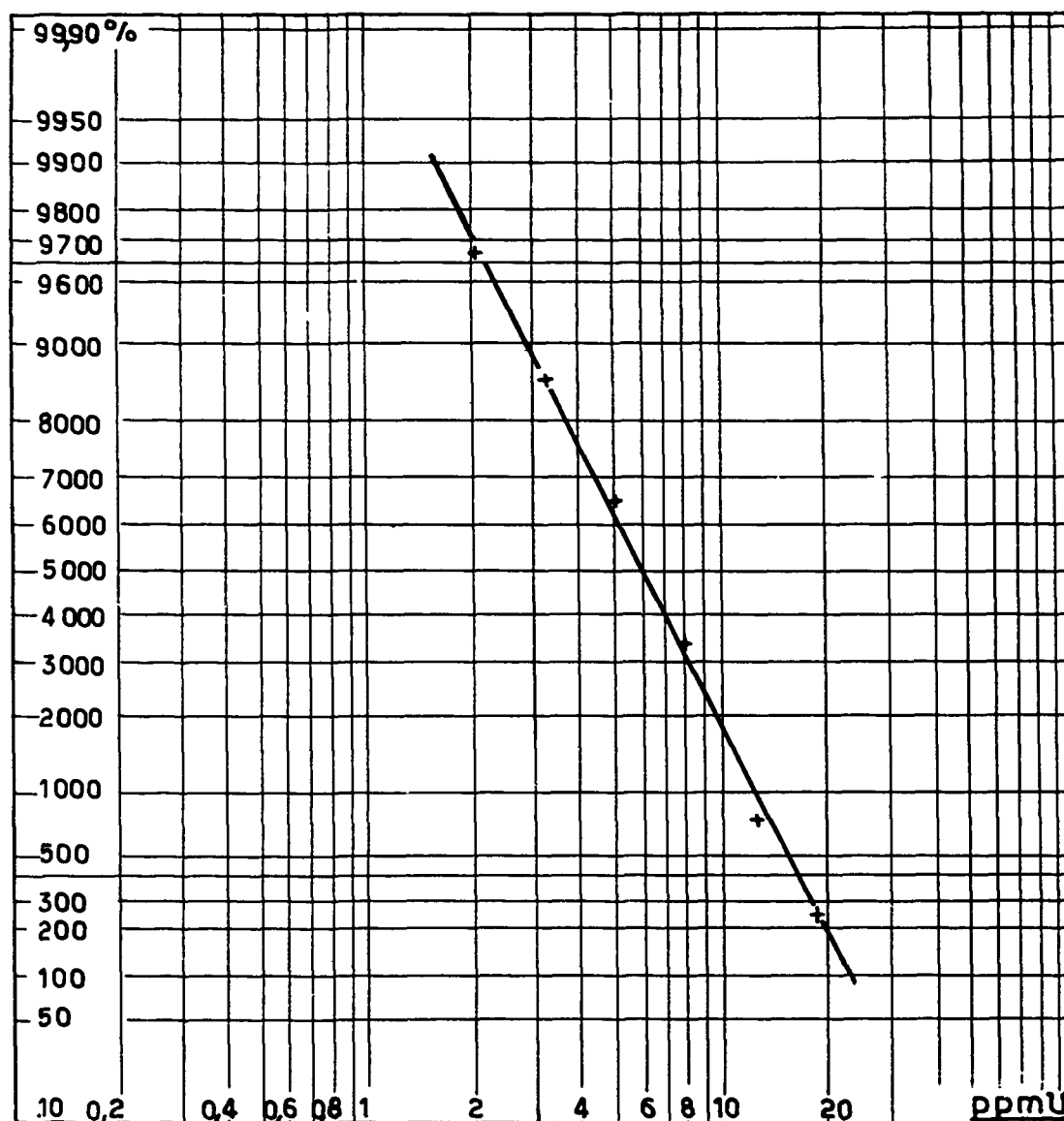


Fig. 36 - Ajustement graphique à la loi logarithmique normale de la distribution des teneurs en Uranium du granite à amphibole. Médiane = 6 ppm ; Moyenne = 7,5 ppm ; Ecart type = 0,5.

Ceci vient confirmer les résultats déjà acquis par l'étude de la radioactivité γ exécutée sur le terrain (p.100) à savoir que le granite à amphibole présente une radioactivité γ plus grande que celle du granite gris porphyroïde et qu'elle ne peut pas être attribuée qu'au potassium.

Mais l'uranium est accompagné dans les roches granitoides, par le thorium et il est nécessaire d'étudier (p.103) la distribution de la radioactivité α , laquelle conduira évidemment à la somme des activités dues aux familles de l'uranium et du thorium ⁽¹⁾.

B - LA RADIOACTIVITE α DU GRANITE GRIS PORPHYROIDE.

Cette radioactivité globale a été mesurée suivant un processus décrit antérieurement (p.111). L'activité, exprimée en nombre d' α par centimètre carré et par seconde a pu être distribuée dans des classes arithmétiques. Le tableau suivant résume (comme pour les teneurs en uranium par fluorimétrie) les résultats obtenus :

(1) Nous faisons une réserve importante quant à la certitude des chiffres obtenus par comptage microscopique des α dans le cas d'une roche broyée. En effet, il est apparu des divergences importantes entre les résultats obtenus par cette méthode et ceux de la scintillométrie ; il n'en demeure pas moins que les résultats d'une même méthode restent comparables entre eux.

Tableau 39

Distribution de la radioactivité α du granite gris porphyroïde.

Classe en $\alpha/\text{cm}^2/\text{s}$ $\times 10^{-6}$	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée
0	2	4,5	-
200	2	4,5	97,5
400	2	4,5	93
600	2	4,5	88,5
800	3	7	84
1000	8	19	77
1200	12	28	58
1400	14	9,5	30
1600	3	7	20,5
1800	2	4,5	13,5
2000	3	7	9
2200	1	2	2
	54		

Cette répartition s'ajuste bien à une distribution arithmético-gaussienne (fig. 37) et l'étude de la droite permet de tirer les paramètres suivants :

Moyenne = $1\,200 \times 10^{-6} \alpha/\text{cm}^2/\text{s}$, soit

$1,2 \times 10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{s}$

écart-type = 0,72

C - LA RADIOACTIVITE α DU GRANITE A AMPHIBOLE.

Les activités α ont été réparties dans les classes semblables à celles du granite gris porphyroïde. Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau 40

Distribution de la radioactivité α du granite porphyroïde à amphibole.

Classe en $\alpha/\text{cm}^2/\text{s}$ $\times 10^{-6}$	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée
0	2	3	-
200	3	4,5	96,5
400	1	1,5	92
600	3	4,5	90,5
800	6	9	86
1000	8	12	77
1200	5	7,5	65
1400	10	15	57,5
1600	9	14	42,5
1800	6	9	28,5
2000	3	4,5	19,5
2200	5	7,5	15
2400	3	4,5	7,5
2600	2	3	3
2800	66		

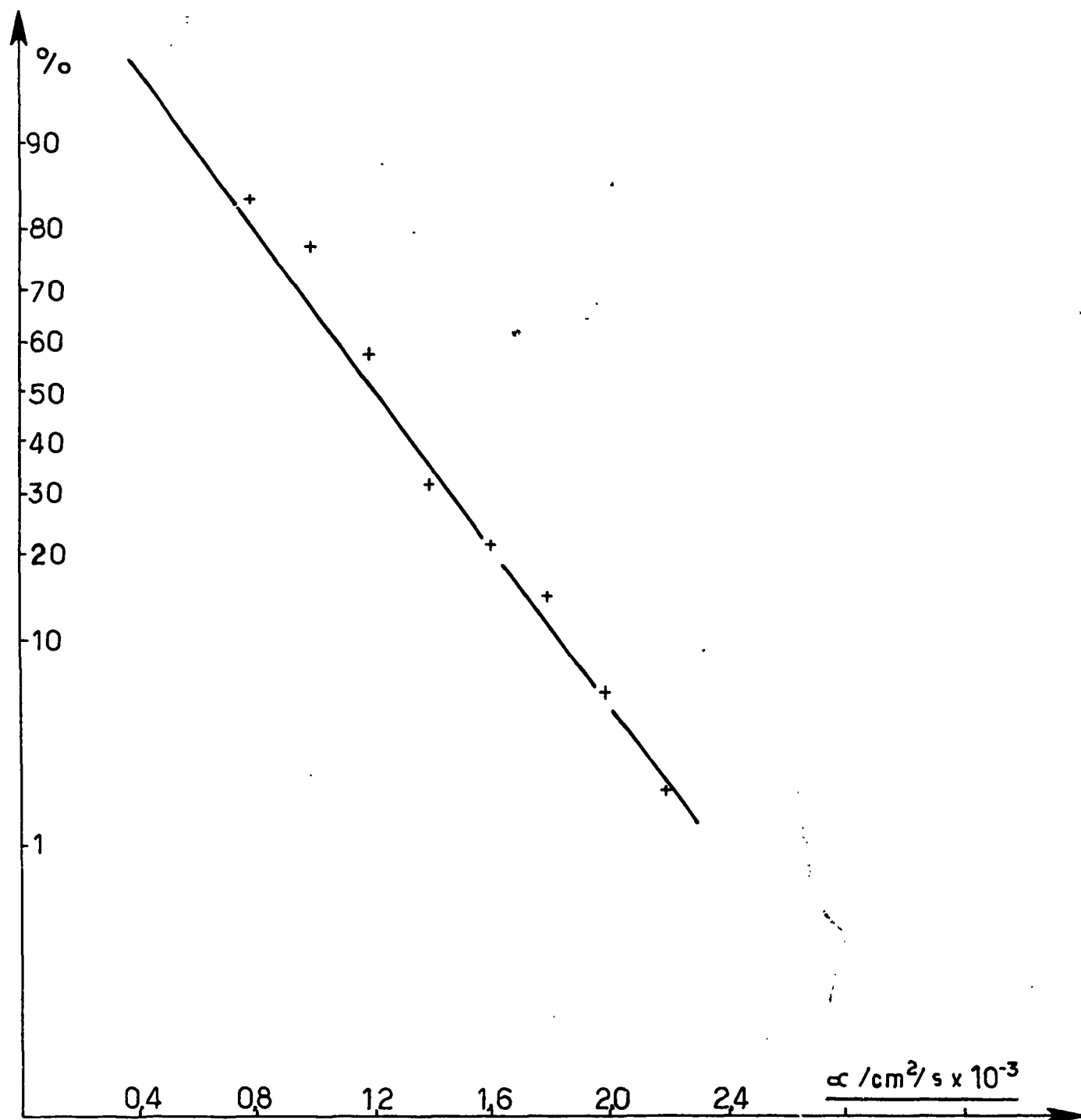


Fig.37 - Ajustement graphique à la loi arithmétique normale de la distribution de l'activité α du granite gris porphyroïde (Vosges méridionales) Moyenne = $1,2 \times 10^{-3} \alpha / \text{cm}^2/\text{s}$; Ecart type = 0,72.

Cette répartition s'ajuste très bien à une distribution arithmétique normale ; alors qu'un essai d'ajustement à une distribution logarithmique normale n'a donné qu'un mauvais résultat. Les paramètres tirés de cette courbe (fig. 38) sont les suivants :

$$\text{Moyenne} = 1\,700 \times 10^{-6} \alpha / \text{cm}^2/\text{s}$$

$$1,7 \times 10^{-3} \alpha / \text{cm}^2/\text{s}$$

$$\text{écart-type} = 0,95$$

Ayant obtenu ces deux distributions, nous pouvons nous demander si la différence des moyennes est significative, c'est-à-dire si cette différence correspond bien à un phénomène attribuable à la nature des échantillons étudiés.

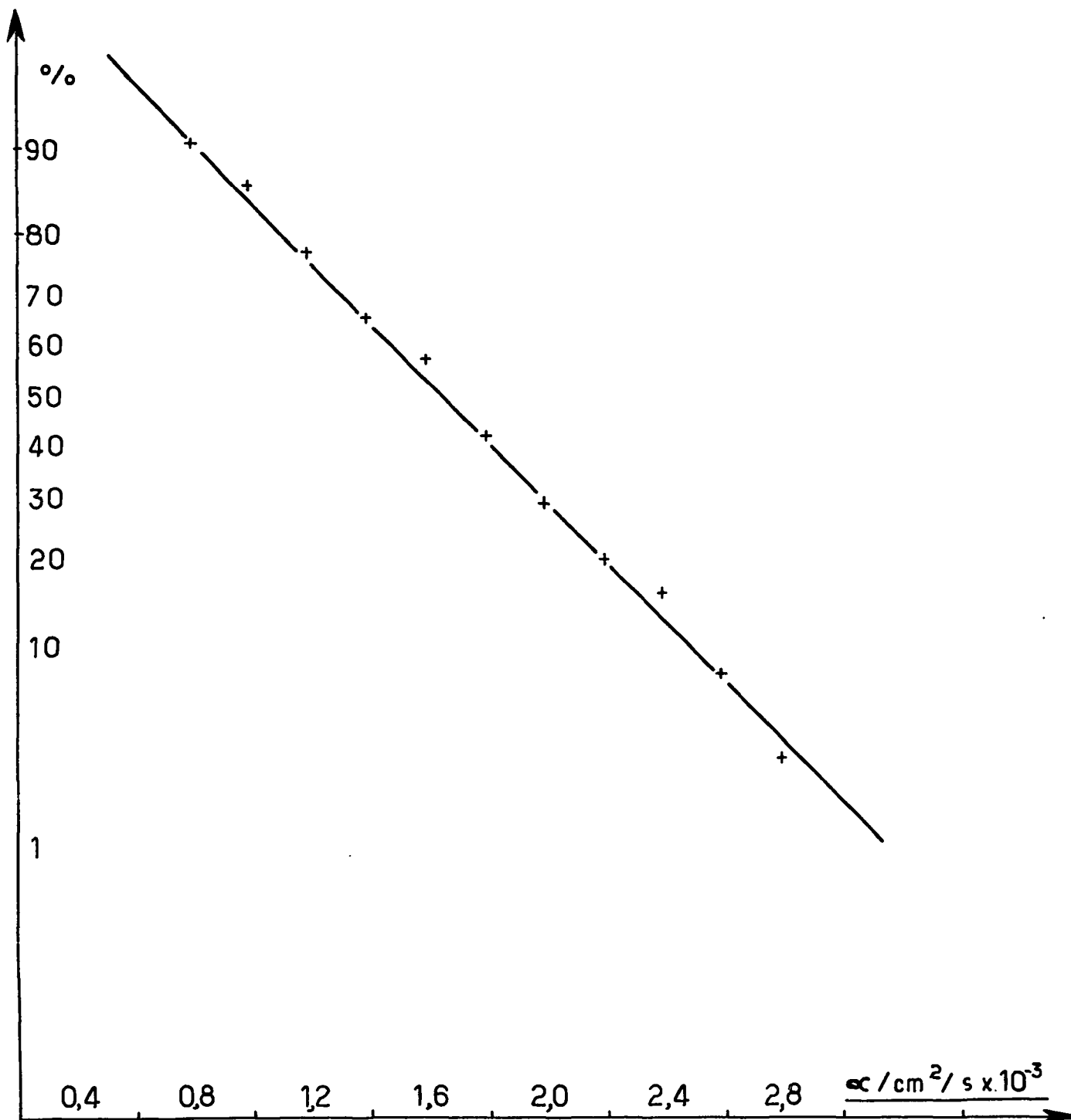


Fig.38 - Ajustement graphique à la loi arithmétique normale de la distribution de l'activité α du granite à amphibole. Moyenne = $1,7 \times 10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$. Ecart type = 0,95.

Pour ce faire, il faut connaître la variance (et de là l'écart-type) de l'erreur standard des deux distributions.

La variance (carré de l'écart-type σ) du granite gris porphyroïde est :

$$\sigma^2 = \overline{0,72}^2 = 0,52 \text{ et le rapport } \frac{\sigma^2}{n} = \frac{0,52}{54} = 0,01$$

La variance du granite à amphibole est :

$$\sigma^2 = \overline{0,95}^2 = 0,9 \text{ le rapport } \frac{\sigma^2}{n} = \frac{0,9}{66} = 0,0136$$

La variance de l'erreur standard (e. s.) est :

$$0,0136 + 0,01 = 0,0236$$

et l'écart-type de cette erreur standard

$$\sigma_{e.s.} = \sqrt{0,0236} \simeq 0,15$$

La différence des moyennes est :

$$1,700 - 1,200 = 0,5$$

Cette différence, sensiblement égale à trois fois l'erreur standard, est très significative. Ceci veut dire que l'activité α du granite à amphibole est significativement plus élevée que celle du granite gris porphyroïde et vient donc confirmer les observations déjà faites :

1) Radioactivité γ sur le terrain très élevée pour le granite à amphibole (p. 103), plus faible pour le granite gris porphyroïde.

2) Teneur en uranium très élevée du granite à amphibole par rapport à celle du granite gris porphyroïde.

De plus, ces résultats permettent de dire que l'Uranium et le Thorium semblent liés, ce qui est conforme aux résultats d'études de distribution de U et Th dans les roches.

D - RELATION ENTRE LES TENEURS U - Th ET CERTAINS ELEMENTS MAJEURS DES ROCHES.

Ayant réussi à confirmer la différence fondamentale des distributions de U et Th dans les deux granites principaux du massif étudié, on peut se demander s'il n'existe pas un lien entre la composition chimique de ces granites et la distribution de U et Th. Ceci conduit donc naturellement à rechercher les différences chimiques fondamentales.

En se reportant aux analyses chimiques qui ont été exécutées sur les divers granites, il est aisé de remarquer que les différences fondamentales résident en premier lieu dans les teneurs en Calcium et Magnésium (p. 33). Elevées pour le granite à amphibole, les teneurs sont faibles pour le granite gris porphyroïde. Ensuite, apparaissent certaines différences dans les teneurs en fer divalent, en titane, et, à un degré moindre, dans les alcalins.

Il semble alors d'un très grand intérêt de rechercher si une corrélation existe entre les teneurs en uranium (fluorimétrie) et les teneurs CaO + MgO des granites gris porphyroïde et à amphibole dont nous avons les analyses. La même corrélation sera recherchée pour l'activité α par scintillométrie et les teneurs CaO + MgO.

1) Relation CaO + MgO et Uranium (fluorimétrie).

59 couples de valeurs ont été retenus. La moyenne de la teneur CaO + MgO est 3,2 ; tandis que la moyenne de la teneur Uranium (fluorimétrie) est de 5,12.

Le coefficient de corrélation r entre les 59 couples de valeurs est égal au rapport ayant comme numérateur la somme des produits des écarts entre chaque variable et sa moyenne arithmétique et comme dénominateur le produit du nombre des échantillons par le produit des écarts-types des distributions des deux teneurs en cause.

Pour les teneurs CaO + MgO et Uranium (fluorimétrie), le coefficient de corrélation atteint 0,43. Cependant on est en droit de se demander quel degré de confiance attacher à la valeur de ce coefficient. En d'autres termes, est-il significatif eu égard au nombre des échantillons ?

On recherche alors quelle est la valeur que peut prendre le coefficient de corrélation des deux couples du fait de la seule fluctuation des valeurs (corrélation fortuite). Ici encore, on utilise l'erreur standard sur les échantillons. Elle est égale à $\frac{1}{\sqrt{n-1}}$ où n est le nombre des échantillons.

On a donc :

$$\frac{1}{\sqrt{n-1}} = \frac{1}{\sqrt{59-1}} = \frac{1}{\sqrt{58}} = \frac{1}{7,6} = 0,132$$

Or, le coefficient de corrélation calculé est 0,43. Il est nettement supérieur à 0,132, donc hautement significatif.

Nous avons ensuite recherché si une corrélation existe entre l'activité α mesurée par scintillométrie et les valeurs des teneurs CaO + MgO. Les valeurs obtenues sont les suivantes :

Moyenne CaO + MgO = 3,2 ; Radioactivité $\alpha/\text{cm}^2/\text{s} = 4,5 \times 10^{-3}$.

Le coefficient de corrélation est $r = 0,51$ tandis que le seuil de signification est comme précédemment égal à 0,132 (59 couples d'échantillons). Les figures 39 et 40 donnent la relation entre CaO + MgO et l'activité α .

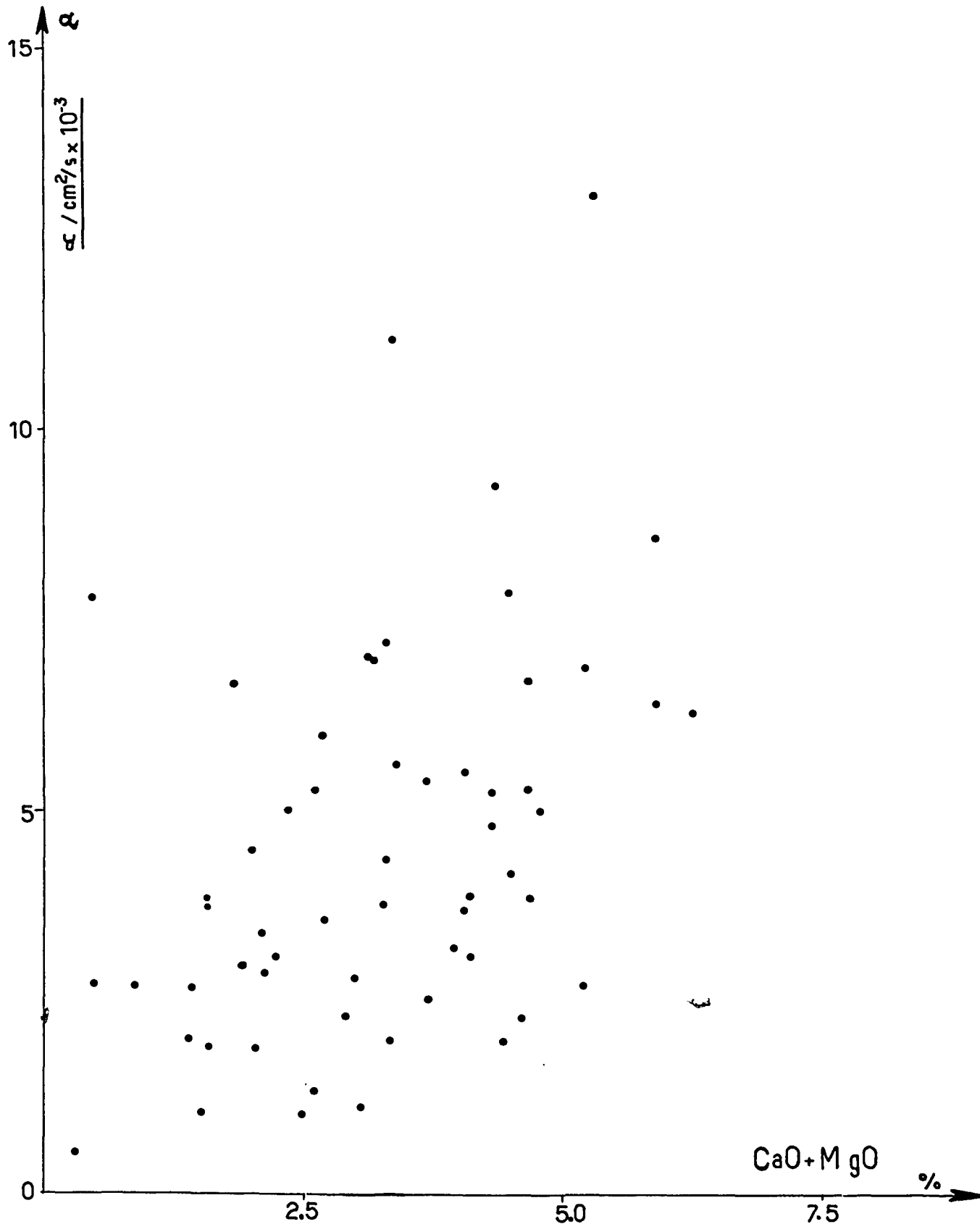


Fig. 39 - Corrélation teneur CaO + MgO et activité α (Scintillométrie). Comparer avec la figure 40.

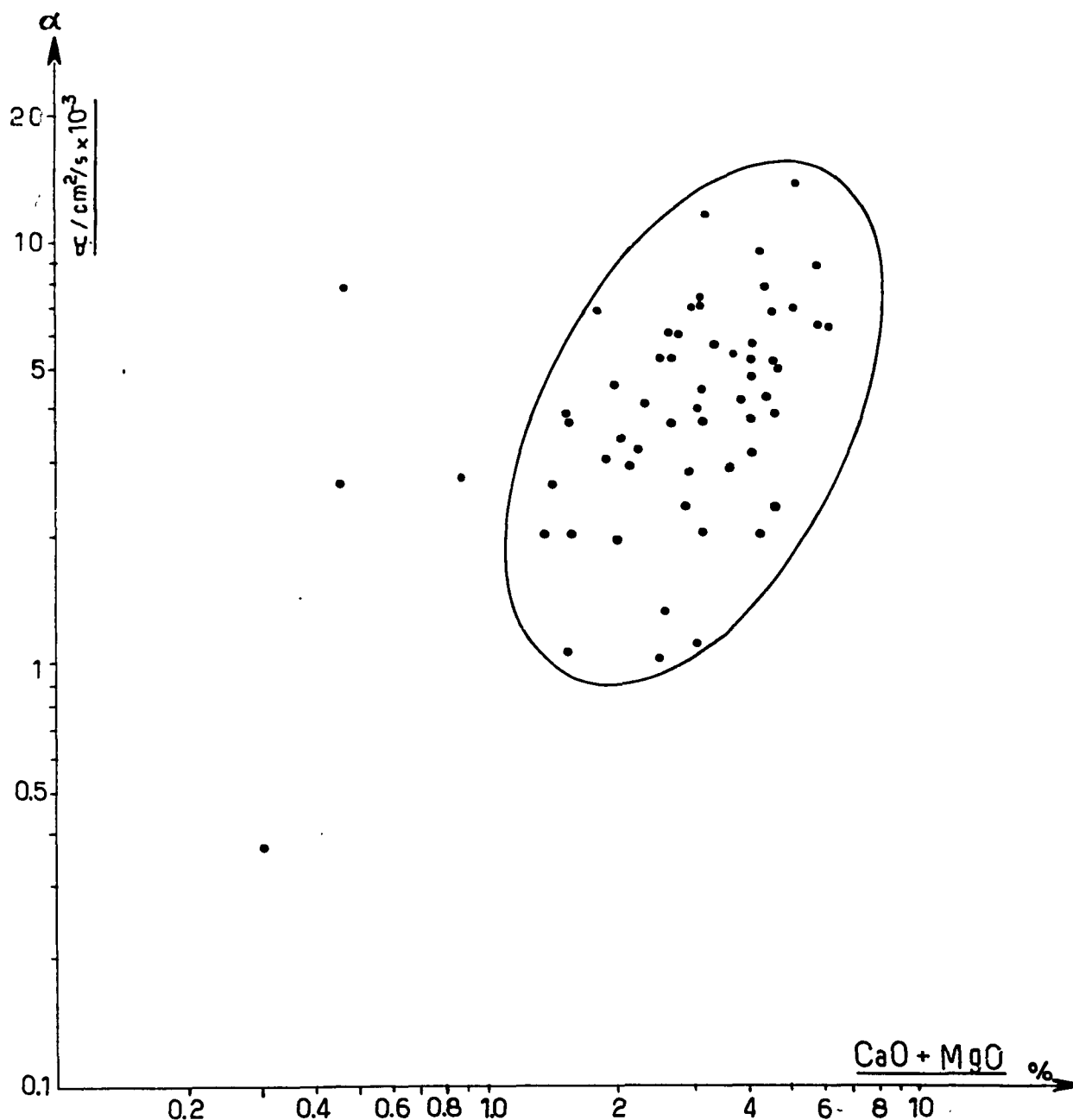


Fig. 40 - Ellipse de corrélation activité α (Scintillométrie) et teneur CaO + MgO. Le coefficient de corrélation $r = 0,42$.

Donc, dans le cas de l'Uranium (fluorimétrie) comme dans le cas de l'activité α , il y a dépendance certaine avec les teneurs en Calcium et en Magnésium, dans le granite à amphibole et dans le granite porphyroïde. Dans les deux cas, le coefficient est voisin de 0,5 ; le seuil de signification étant 0,132.

Le calcul du coefficient de corrélation étant très lent, l'estimation graphique de Matheron (1955) a été utilisée. Les valeurs des deux variables sont portées sur un graphique à coordonnées logarithmiques. Le nuage de points est entouré par une figure géométrique. Des axes rectangulaires passant par le centre de gravité sont tracés, ils divisent ce nuage en quatre quadrants. La somme des points de quadrants opposés étant faite, le coefficient de corrélation est donné par :

$$r = \sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2}$$

Cette méthode plus rapide est aussi valable que le calcul, puisque pour la corrélation CaO + MgO et α on obtient (fig. 39 et 40) :

$$r = 1 \times \frac{39 - 16}{55} = 0,42.$$

Le seuil de signification est 0,135 (quatre points aberrants ont été abandonnés).

2) Relation FeO et activité α

C'est par le calcul graphique qu'a été calculé le coefficient de corrélation du Fer ferreux et de l'activité α .

La valeur obtenue $r = -0,42$ (seuil de signification 0,135) indique une relation inverse fer ferreux-activité α (fig. 41). Les graphiques Fer ferreux : Uranium, Fer ferrique : Uranium, et a fortiori somme (fer ferreux, fer ferrique) conduisent à un même résultat (fig. 42, 43).

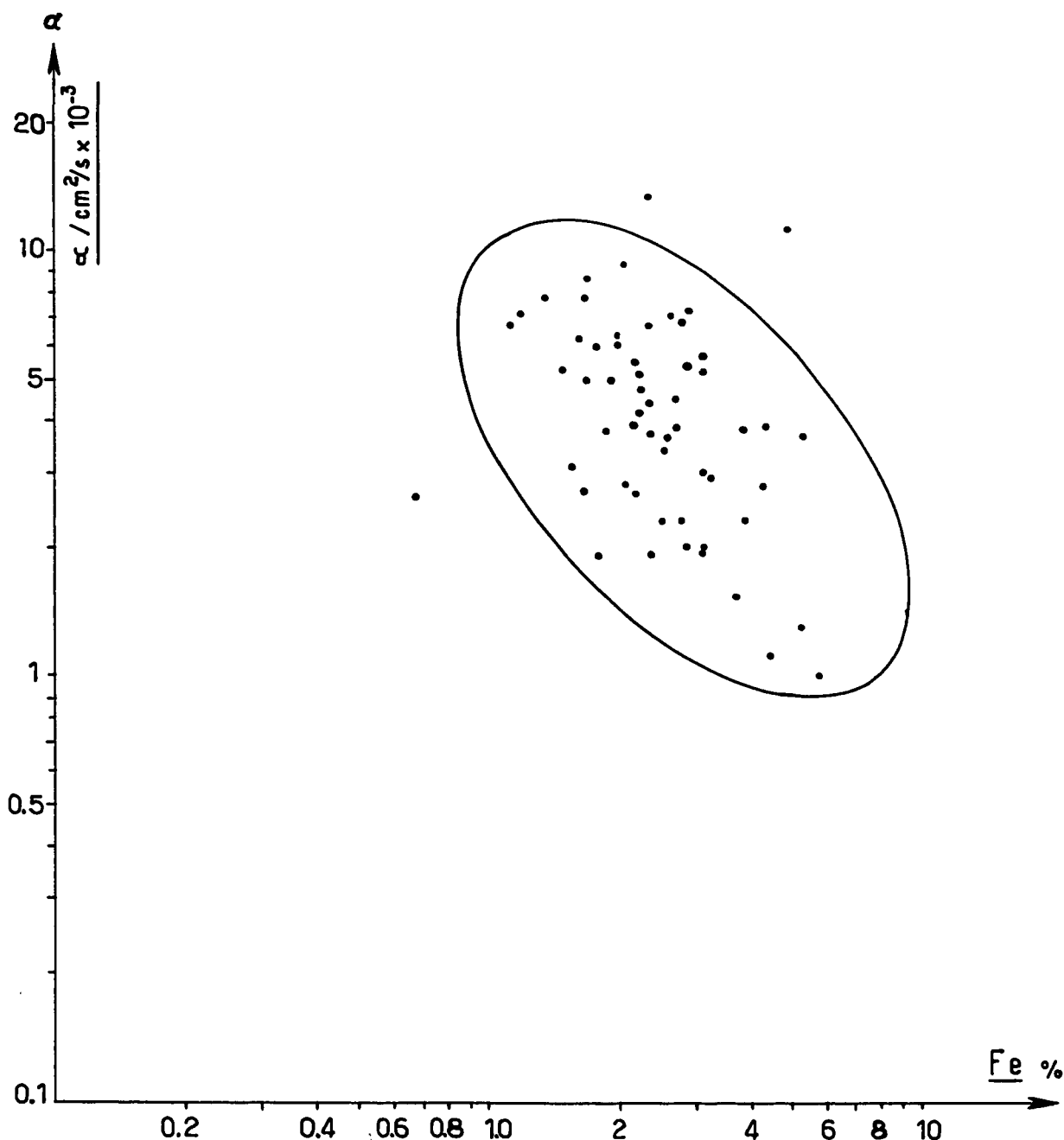


Fig. 41 - Ellipse de corrélation activité α et teneur en Fer. Le coefficient de corrélation est négatif $r = -0,42$.

3) Relation entre la teneur en Potassium et l'activité α

Cette relation est connue depuis fort longtemps. Keevil (1943) constate une relation constante entre la teneur en potassium et la teneur en uranium. Cette relation se traduit par un rapport $\frac{K}{U} = 1,4$ pour les roches granitiques (K exprimé en % et U en ppm). Plus récemment Vistelius (1958), en utilisant les résultats obtenus par Larsen (1955), donne une relation permettant de calculer la teneur en Uranium d'après les teneurs K_2O et Na_2O . Il en déduit une fausse corrélation et

pense qu'il y a plutôt une relation avec la silice. D'autres auteurs ont également montré cette relation K_2O , Uranium ou activité α : Coulomb, Roubault et Coppens, Hussein etc.

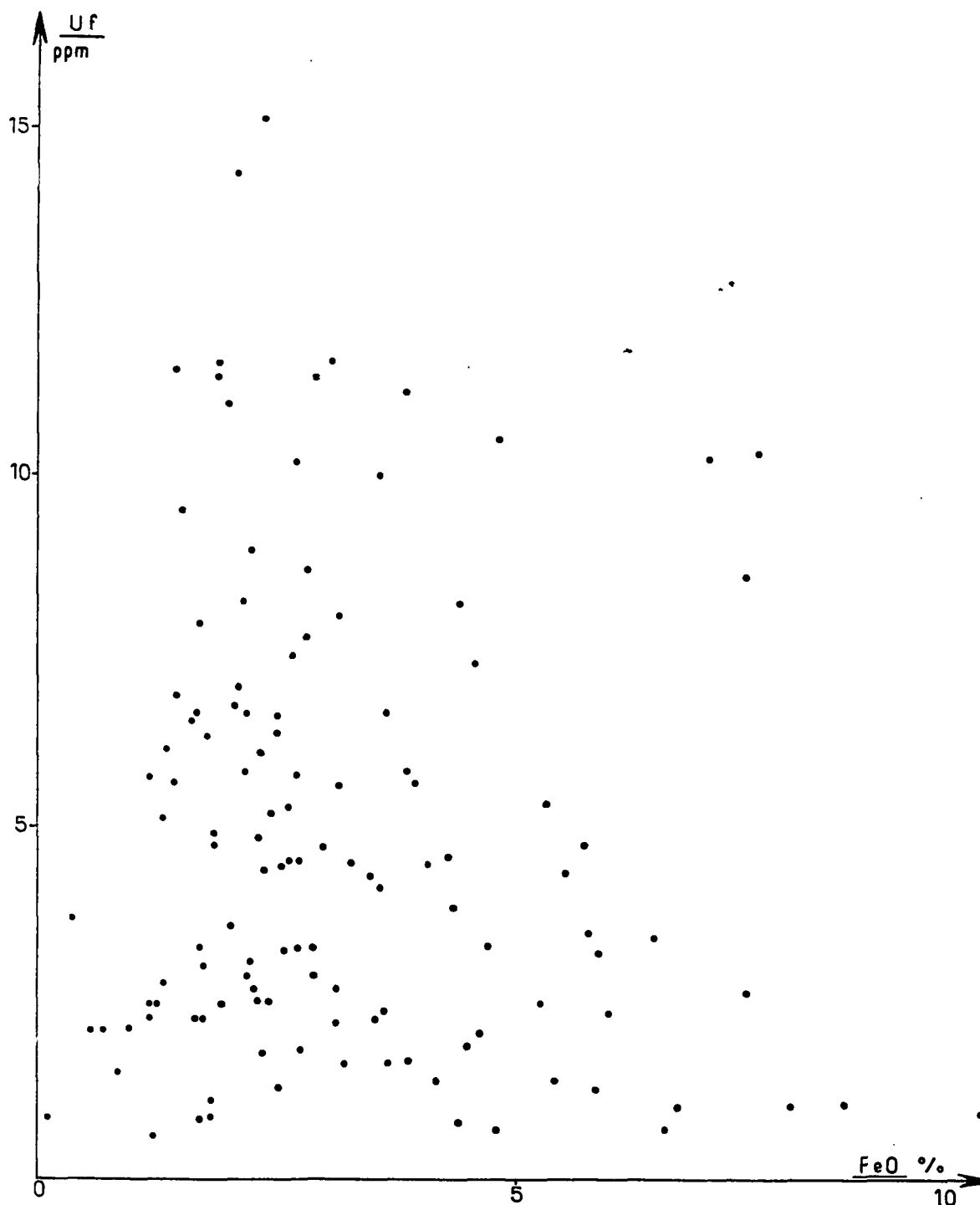


Fig. 42 - Relation entre les teneurs en Uranium et les teneurs en fer ferreux. Il semble exister une relation inverse : les fortes teneurs en Uranium correspondent à de faibles teneurs en fer ferreux.

Le graphique de relations entre les teneurs en potassium et les teneurs en Uranium, d'une part, et les activités α scintillométrie a été construit.

Pour l'Uranium, on constate (fig.44) une relation directe. En effet, il semble bien que la teneur en Uranium croisse avec la teneur en Potassium, mais seulement jusqu'à une teneur en Potassium (K_2O) voisine de 4 %. Au-delà les valeurs des teneurs en Uranium sont erratiques. Ce phénomène est encore mieux traduit par la figure 45, concernant les teneurs K_2O et l'activité α .

Dans ce cas, il est difficile d'admettre la relation de Keevil. Et, présentement, il apparaît

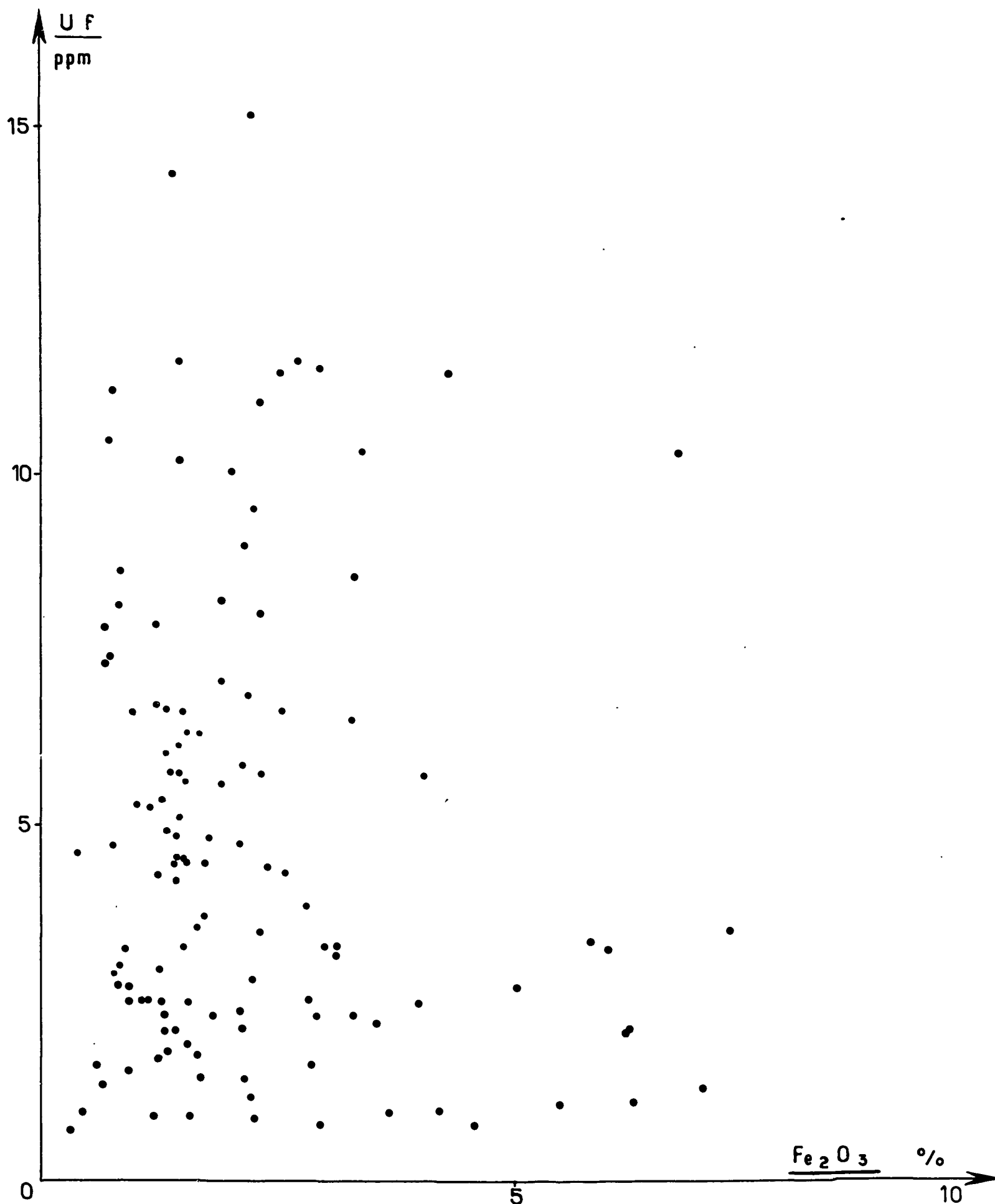


Fig. 43 - Relation entre les teneurs en Uranium et les teneurs en fer ferrique. Une relation inverse semble exister, les teneurs en Uranium sont plus faibles pour les roches à teneurs élevées en fer ferrique.

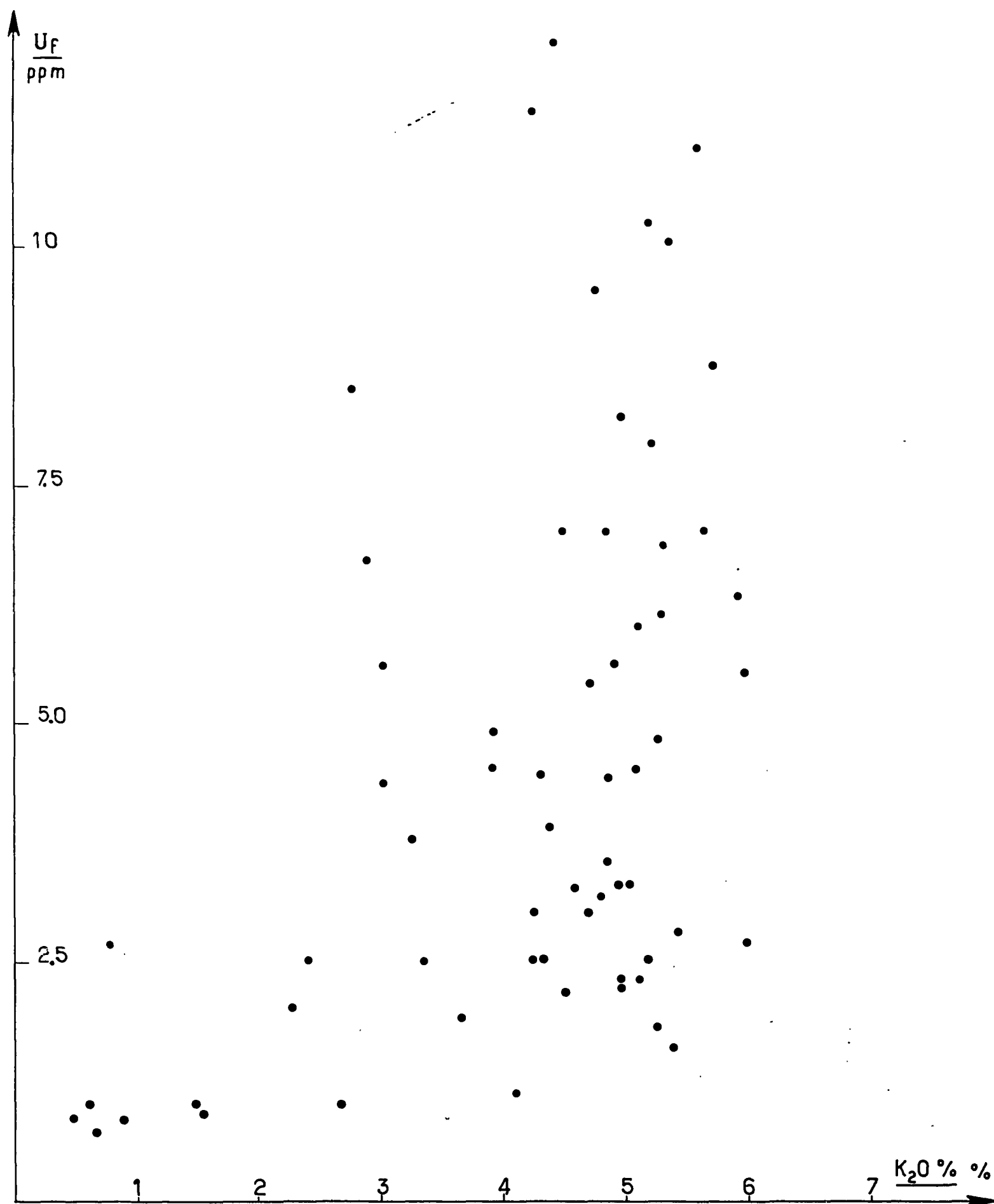


Fig. 44 - Relation entre les teneurs en Uranium et les teneurs en Potassium. Il semble exister une corrélation jusqu'à 5% de K_2O . Mais au-delà les valeurs sont très dispersées.

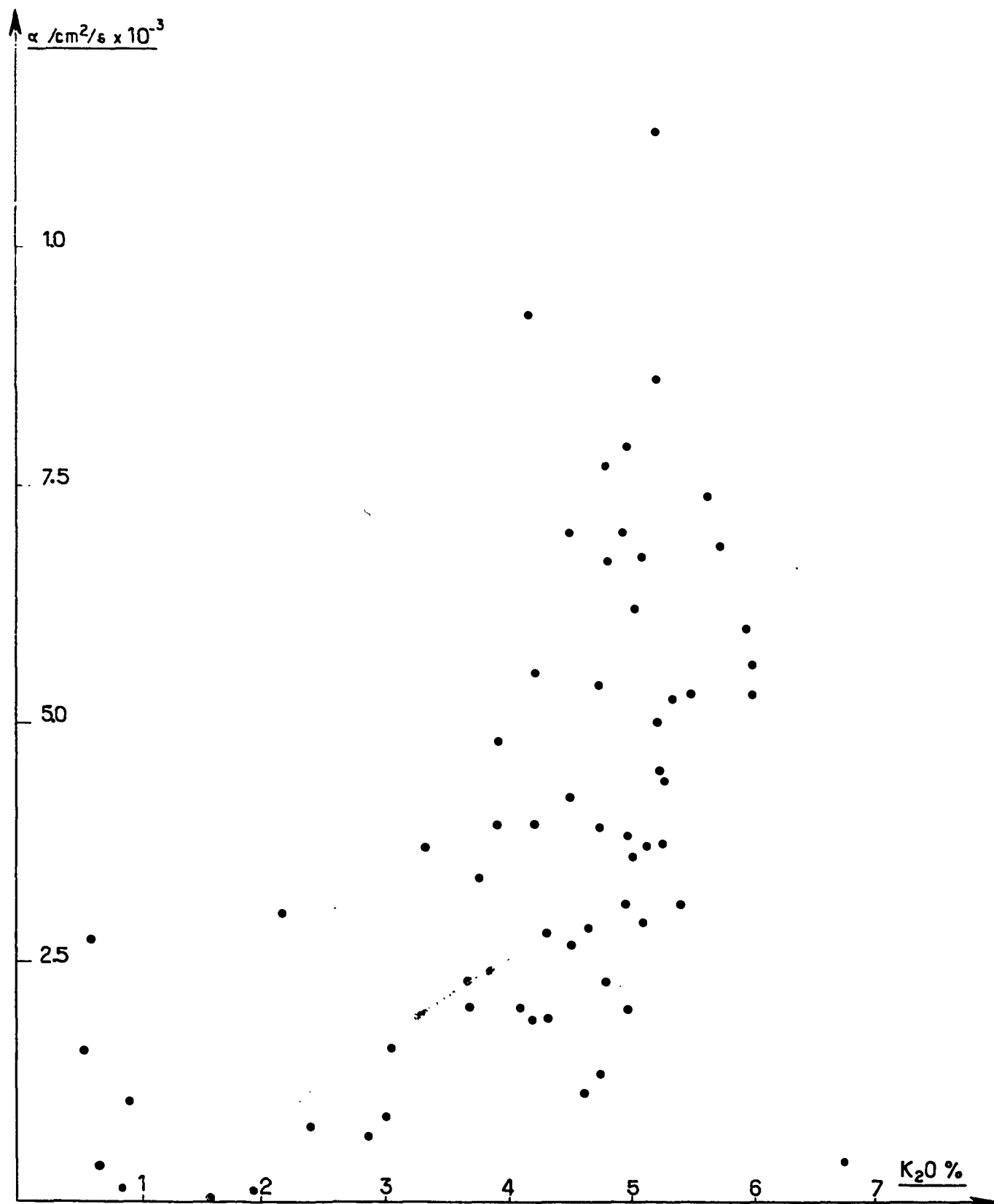


Fig. 45 - Relation entre l'activité α et la teneur en Potassium. Il semble exister une liaison jusque vers 4 - 5 % en K_2O ; au-delà la liaison n'apparaît plus.

sage de considérer qu'au-delà d'une certaine teneur en Potassium (environ 4 % K_2O) il n'existe plus de relation entre l'activité α (ou les teneurs en Uranium) et cette teneur.

E - LES MINÉRAUX HÔTES DE L'URANIUM ET DU THORIUM.

Le fait d'avoir reconnu une relation directe entre CaO , MgO et les teneurs en Uranium et les activités α , conduit à rechercher les minéraux hôtes des éléments Uranium et Thorium. La relation avec les éléments Calcium et Magnésium mène tout naturellement à considérer dans les roches granitoides les minéraux calcomagnésiens et les minéraux accessoires qui leur sont associés.

Fig. 1 - Petits cristaux de zircon (ou de xénotime) montrant dans la biotite une auréole pléochroïque inversée. L'un deux montre une section perpendiculaire à l'axe du prisme. (Granite gris porphyroïde). L.N. $\times 110$.

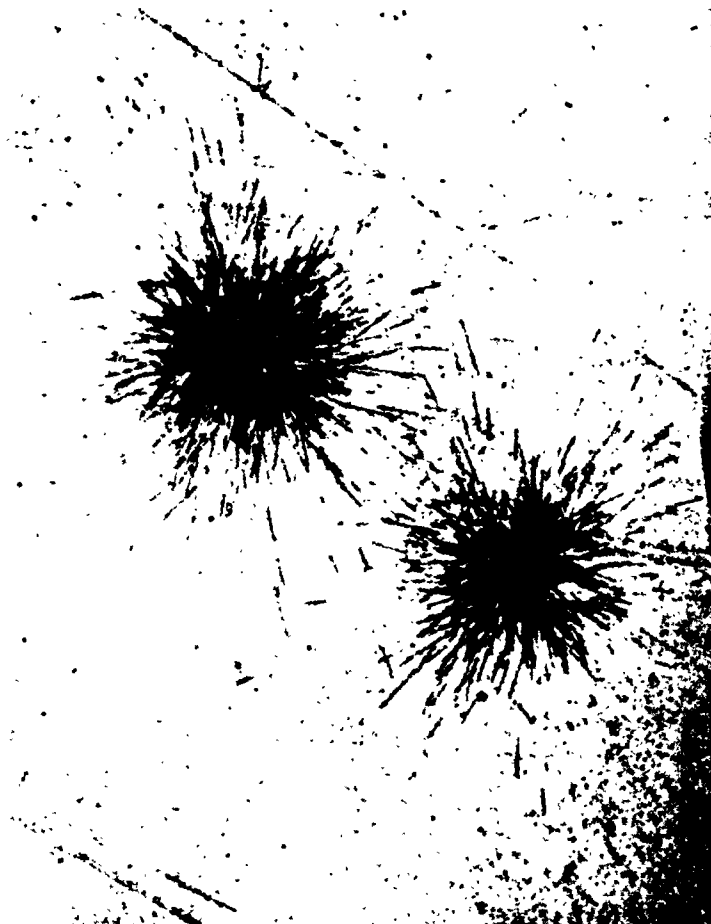
Fig. 2 - Autoradiographie de la préparation montrant l'activité α de ces cristaux. ($\times 110$. Temps de pose : 15 jours).

Fig. 3 - Oxyde de fer provenant de l'altération de la biotite dans le granite gris porphyroïde. L.N. $\times 140$.

Fig. 4 - Autoradiographie de la préparation montrant l'activité diffuse de ces oxydes ($\times 140$. Temps de pose : 21 jours).



1



2



3



4

a) Le granite gris porphyroïde.

Nous avons vu antérieurement les principaux caractères de ce granite. Le minéral caractéristique présentant une radioactivité intrinsèque, est la biotite. Associés à cette biotite, les minéraux accessoires, hôtes de l'Uranium et du Thorium, sont, le plus fréquemment et par ordre d'importance décroissante : zircon (ou xénotime), apatite, oxyde de fer, quelques très rares sphènes. Une remarque s'impose au sujet de la radioactivité α intrinsèque de la biotite, car il s'agit en fait, bien souvent, de matériaux radioactifs adsorbés sur l'oxyde de fer exsudé au cours de processus d'altération. (Roubault, Coppens 1959). Ces oxydes de fer occupent, en effet, une place discrète dans le clivage des cristaux et jouent un grand rôle dans la distribution des éléments radioactifs des familles de l'Uranium et du Thorium.

a-1) La biotite.

La radioactivité α intrinsèque mesurée sur différents cristaux de biotite est variable mais non négligeable et la teneur en uranium est toujours voisine de celle de la roche :

Tableau 41

Activité α des biotites du granite gris porphyroïde

Activité $10^{-3}\alpha/\text{cm}^2/\text{s}$	2	1,7	0,9	1,3	1,8	1,1	0,5	0,7
Equiv. Uranium ppm	14	12	6	9	13	7	3,5	5

Remarques

En aucun cas il n'a été remarqué de traces α de longueur supérieure à 40 microns, indiquant ainsi l'absence de Thorium.

a-2) Les zircons (ou xénotimes) (Hutton, 1947). Ce sont les minéraux qui, parmi les minéraux accessoires du granite gris porphyroïde, ont l'activité α la plus élevée. Ceux que nous avons pu étudier étaient toujours associés à la biotite formant des halos pléochroïques. Parfois même, il est possible d'observer un halo inversé (Henderson G.H. et Bateson S., 1934 - Deutsch S. et Janssens P., 1959) (Pl. VIII, fig.1 et 2).

Leur activité α est toujours assez élevée. Dans certains cas, elle peut atteindre $100 \times 10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{s}$. Mais il semble que la taille du cristal n'est pas indifférente. Ce phénomène se retrouve d'ailleurs à propos des sphènes du granite à amphibole et nous en donnerons une explication différente de celle de Stussi (1960).

Tableau 42

Activité α des zircons du granite gris porphyroïde.

Activité $10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{s}$	235	312	656	483	378	788	492	535	456	353	912	683	284
Rapport Th/U	0,3	0,32	0,55	0,5	0,42	0,8	0,6	0,4	0,43	0,4	1	0,62	0,4

Les zircons (ou xénotimes) montrent donc une grande activité α par rapport à celle de la biotite. Le rapport Th/U n'est presque jamais supérieur à 1. Ce rapport semble varier dans le même sens que l'activité α des cristaux.

a-3) Les apatites.

Les apatites dans le granite gris porphyroïde apparaissent comme étant des minéraux accessoires de radioactivité α non négligeable. Le plus souvent elles sont trouvées associées à la biotite. La plupart du temps, on peut les observer en bordure des lamelles de biotite. Les résultats relevés sont les suivants :

Fig.1 - Hornblende verte totalement altérée. Granite à amphibole. L.N. $\times$ 140.

Fig.2 - Autoradiographie révélant une très faible activité α . ($\times$ 140. Temps de pose : 15 jours).

Fig.3 - Hornblende présentant encore sa forme générale caractéristique, mais biotitisée. De petits cristaux de sphène s'observent en bordure du cristal. Des baguettes d'apatite ainsi qu'un cristal d'épidote, occupent le centre porphyroïde à amphibole Granite porphyroïde à amphibole. (L.N. $\times$ 110).

Fig.4 - Autoradiographie de la lame mince. L'activité α correspond aux cristaux de sphène, d'apatite, d'épidote ; elle est diffuse dans les autres parties du cristal d'amphibole. ($\times$ 110. Temps de pose : 15 jours).



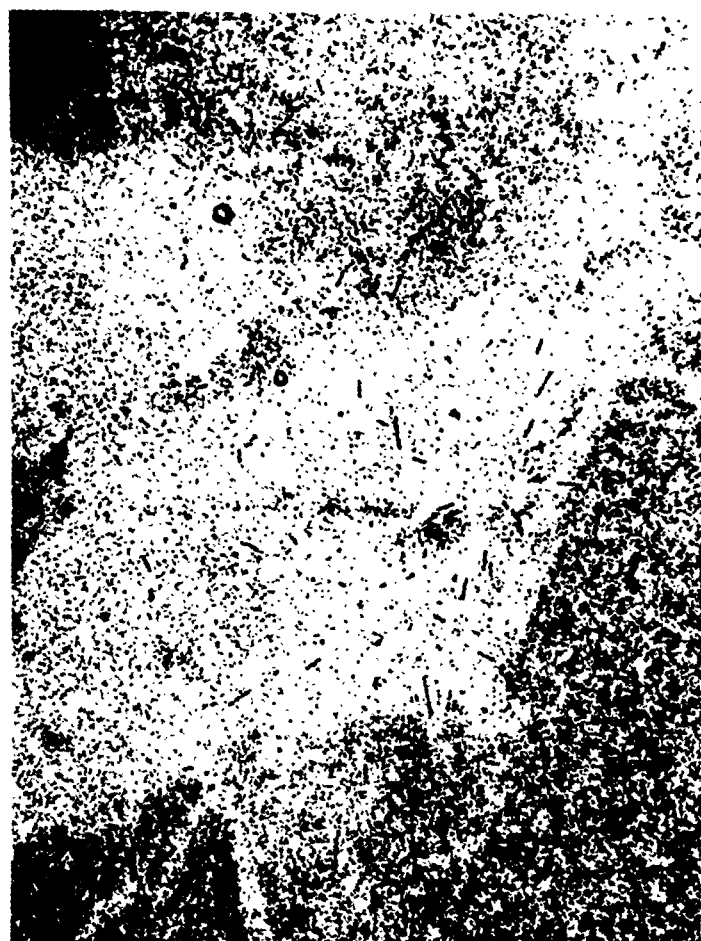
1



2



3



4

Tableau 43

Activité α des apatites du granite gris porphyroïde.

Activité $10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$	73	52	68	112	78	85	145	61	89	97	57	93
Rapport Th/U	1,3	1,2	1,3	1,3	1,5	1,5	1,45	1,1	1,3	1,25	1,5	1,45

L'activité des apatites apparaît donc beaucoup moins élevée que celle des zircons : environ 10 fois plus faible. Par contre, le rapport Th/U apparaît deux à trois fois plus fort que pour les zircons. Ici encore la valeur de ce rapport varie dans le même sens que l'activité α .

a-4) Les oxydes de fer.

Il a été souvent possible d'observer des oxydes de fer provenant d'exsudation de biotites altérées. En général, l'activité des oxydes de fer est faible. De plus la présence de grandes traces (longueur supérieure à 39μ) caractéristiques du Thorium (Pl. VIII, fig. 3 et 4), a été rarement constatée.

Tableau 44

Activité α des oxydes de fer.

Activité $10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$	25	70	18	15	63	42	51	17
Equiv. Uranium ppm	330	930	240	200	840	560	680	225
Remarques	quelques grandes traces $\alpha > 39 \mu$.							

Les oxydes de fer fixent donc plus volontiers l'Uranium au cours des processus d'altération. Il n'en existe pas moins une possibilité de fixation du Thorium sur les oxydes. Ceci apparaît conforme aux observations de Adams J.A.S., et Richardson K. (1957).

b) Le granite à amphibole.

Nous avons vu en quoi différait ce granite avec le précédent. Le caractère plus basique apparaît nettement et les minéraux hôtes de l'Uranium et du Thorium sont plus nombreux. Les minéraux caractéristiques, hôtes des éléments des familles radioactives, sont surtout la hornblende verte et la biotite de néoformation. A ces minéraux caractéristiques sont toujours associés, par ordre d'importance décroissante (au moins en nombre, sinon en activité), sphène, monazite, épidote, uranothorite, minéraux opaques, apatite. Puis, à degré moindre, on peut observer, mais sans liaison du moins apparente, pyrite et oxydes de fer.

b-1) La hornblende verte.

La présence de grains infiniment petits disposés aux mailles du réseau de clivage a été signalée antérieurement. Ces grains sont radioactifs, puisque l'on peut observer autour d'eux une auréole pléochroïque tout comme existent les halos pléochroïques autour des grains actifs des biotites. La radioactivité α intrinsèque des amphiboles est assez variable (Pl. IX, fig. 1, 2, 3 et 4) (abstraction faite des petits grains actifs de la maille du réseau de clivage). Les chiffres suivants ont été relevés :

Fig.1 - Sphène automorphe du granite porphyroïde à amphibole
L.N. $\times$ 140.

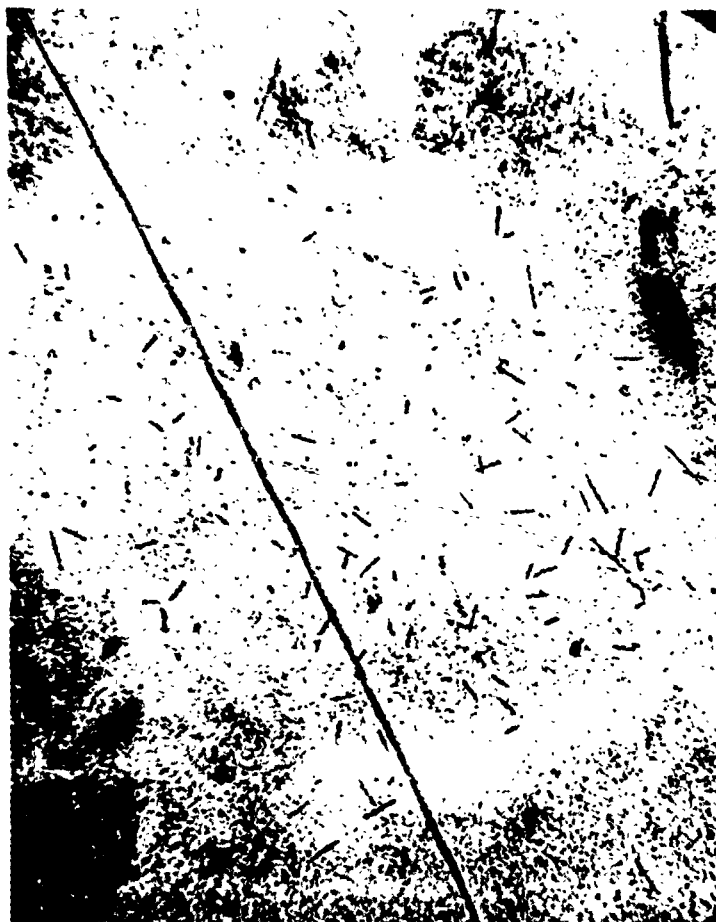
Fig.2 - Autoradiographie α de ce minéral. ($\times$ 140, Temps de
pose : 21 jours).

Fig.3 - Anatase (?) du granite à amphibole. L.N. $\times$ 140.

Fig.4 - Autoradiographie révélant la faible activité α de ce mi-
néral opaque ($\times$ 140. Temps de pose : 21 Jours).



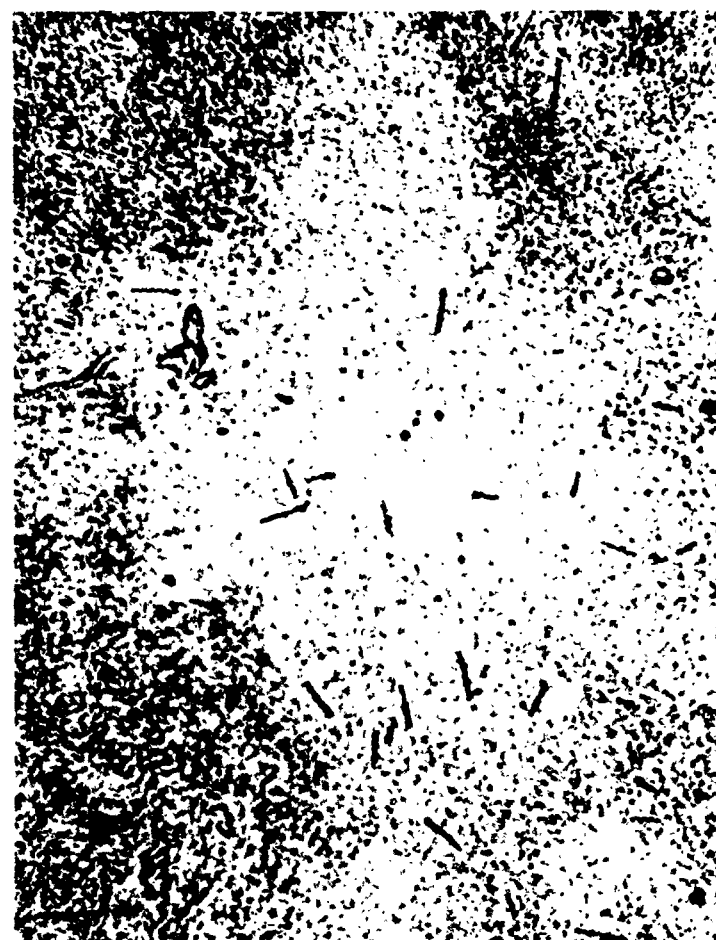
1



2



3



4

Tableau 45

Activité α des hornblendes du granite porphyroïde à amphibole.

Activité $10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$	2,9	2,4	6,9	8,4	5,5	4,8	7,5	4	3,4	1,9	2,7
Equiv. Uranium	18	15	43	52	34	30	47	25	21	12	17
Remarque	Il a été quelquefois observé des traces longues ($> 39 \mu$) mais il a toujours été très difficile de reconnaître avec exactitude le point d'émission.										

b-2) Les centres actifs du réseau de clivage.

Ces centres, excessivement petits, ont présenté de sérieuses difficultés d'étude. En particulier, il n'a jamais été possible de déterminer avec précision la surface des grains. De plus, ignorant leur nature, le coefficient d'absorption des rayons α n'a pas pu être calculé. Ces raisons nous ont conduits à ne pas exposer les résultats obtenus. Les seules remarques susceptibles d'être intéressantes, paraissent être les suivantes :

1) activité des grains assez élevée.

2) présence certaine de Thorium, étant donné les grandes traces ($> 39 \mu$) mesurées.

b-3) Les sphènes.

Parmi les minéraux accessoires du granite à amphibole, ce sont les sphènes qui, du moins en nombre, jouent un rôle important. Les sphènes, dans le granite à amphibole, sont particulièrement nombreux. Parfaitement cristallisés et présentant une grande taille, ils sont aisément déterminables (Pl. X, fig. 1 et 2), certains d'entre eux sont plus petits et arrondis.

L'activité α est assez variable, élevée pour des cristaux de petites dimensions (elle semble devenir constante pour des cristaux de taille importante (longueur: 150μ , largeur : 30μ). Le tableau suivant recueille un certain nombre d'observations sur les sphènes du granite à amphibole.

Tableau 46

Activité α des sphènes du granite porphyroïde à amphibole.

Activité $10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$	68	52	24	72	78	14	19	43	9	10	20	50
Rapport Th/U	2,5	2	1,8	2,3	2,3	1,7	1,8	2	1,6	1,7	1,9	2,1
Longueur en micron	12	38	50	25	20	125	130	50	250	215	100	45

Une remarque s'impose ici : si, en général, l'activité α croît lorsque la taille des cristaux diminue, on voit croître le rapport Th/U dans le même sens que l'activité, c'est-à-dire en raison inverse de la taille.

Certains auteurs ont déjà remarqué cette augmentation de l'activité lorsque décroît la taille des cristaux : Hayase I., 1959 - Stussi, 1960 - R. Coppens et Stussi, 1961. Les explications ne nous ont pas semblé convaincantes. Aussi, nous avons mesuré l'activité α et la plus grande dimension de sphènes particulièrement bien formés. Les résultats portés sur un graphique (fig. 46) ont montré que les points se groupent tous en-dessous d'une courbe à allure exponentielle ou hyperbolique. Or, le volume d'un grain varie comme le cube de sa dimension linéaire dans le plan, et sa surface varie comme le carré. Donc ce sont des fonctions linéaires. Si l'on considère alors une teneur déterminée en éléments radioactifs dans ce grain, on conçoit aisément que les α s'échappant du cristal seront plus nombreux pour les grains très petits ayant une dimension voisine ou plus petite que le parcours des α dans la matière. La distribution des activités devient donc une fonction de l'absorption qui, elle, est exponentielle.

Fig. 1 - Cristal de monazite entouré d'un liseré d'oxyde de fer. Le cristal est situé à la limite d'un feldspath et d'une biotite. Granite porphyroïde à amphibole. L.N. $\times 140$.

Fig. 2 - Autoradiographie de la préparation. Remarquer l'activité α (courtes traces) de la biotite altérée. ($\times 140$. Temps de pose 21 jours).

Fig. 3 - Cristal de monazite dans un feldspath du granite porphyroïde à amphibole. L.N. $\times 110$.

Fig. 4 - Autoradiographie de la préparation. ($\times 110$. Temps de pose : 21 jours).



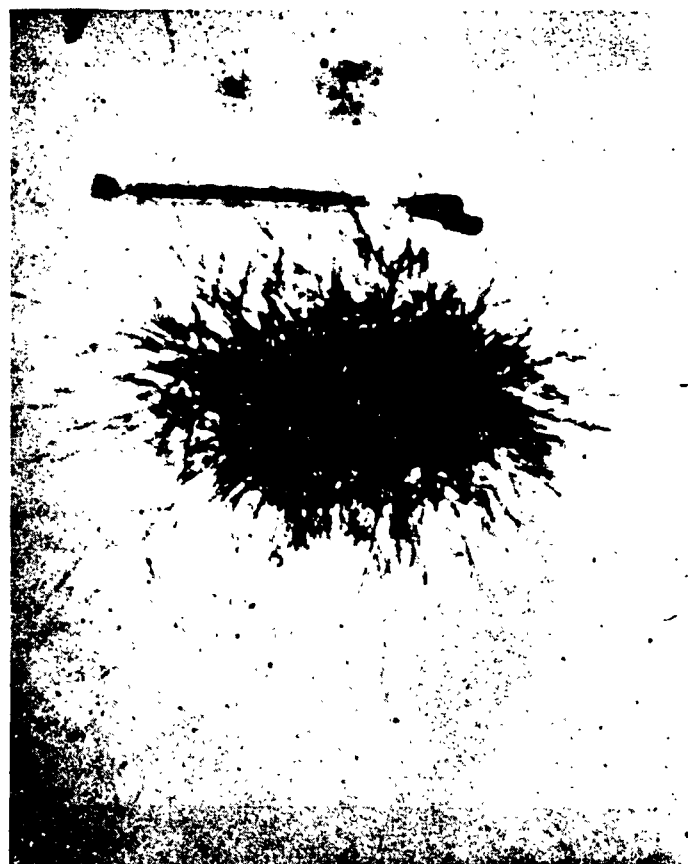
1



2



3



4

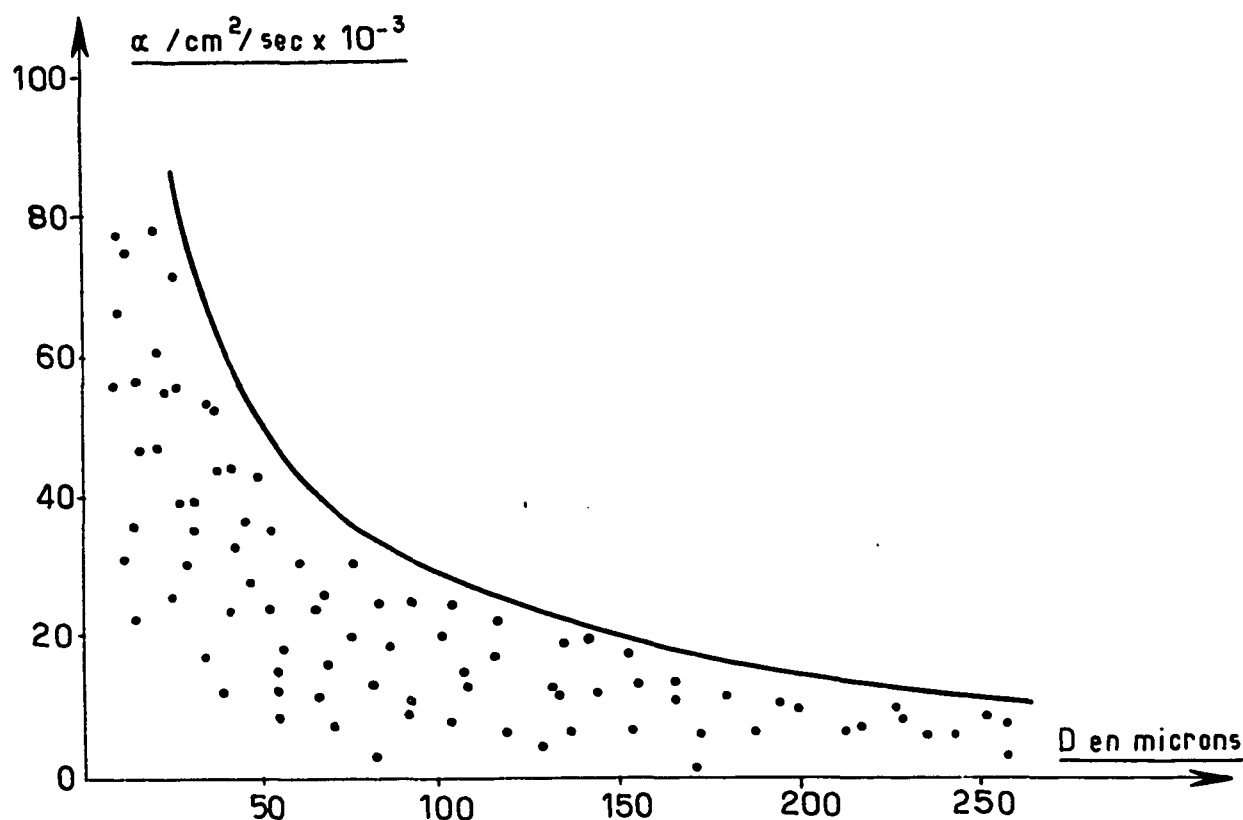


Fig. 46 - Activité α de sphènes en fonction du diamètres des cristaux.

Ceci est confirmé par le fait que le rapport Th/U augmente lorsque diminue la taille des cristaux. En effet, le parcours des α du Thorium est supérieur au parcours des α de l'Uranium ; donc le nombre des α émergeant d'un cristal de dimensions plus faibles que le parcours maximum, sera d'autant plus important que ces dimensions seront plus petites.

Cette remarque conduit donc à faire une réserve importante quant à la valeur des rapports Th/U obtenus par les comptages α (scintillométrie ou plaques nucléaires). Ce rapport est beaucoup trop dépendant de la granulométrie.

b-4) Les monazites.

Ces minéraux actifs, comme les précédents, sont toujours plus ou moins associés directement aux amphiboles. Bien formés, parfois atteignant des tailles importantes (de l'ordre de 10^{-4} cm²) presque toujours de teinte jaune miel et présentant un fort relief, les cristaux sont aisément reconnus. De plus, les cristaux de monazite sont toujours entourés d'une frange d'oxyde de fer brun, parfois très clair (Pl. XI, fig. 1, 2, 3 et 4). La radioactivité α de ces minéraux est très élevée. Le rapport Th/U, très important, se situe entre 10 et 20. Le tableau suivant résume quelques résultats d'étude de ces cristaux.

Tableau 47

Activité α des monazites du granite porphyroïde à amphibole.

Activité $10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$	22540	18780	26520	12450	13590	21200	14680	11500	27550	16600
Th/U	16,5	11	17	19,5	18	15	17	19	22	14

Notons à propos de ces monazites qu'une relation inverse existe entre la taille et la radioactivité (évidemment la même que pour les sphènes) mais, par contre, la variation du rapport Th/U ne semble pas être fonction de la taille du cristal. Ceci pourrait s'expliquer par le fait de la très haute valeur de ce rapport.

Fig. 1 - Petits cristaux d'épidote associés à un sphène. Un cristallite montre une auréole pléochroïque intense dans une lamelle de biotite. Granite porphyroïde à amphibole. L.N. $\times 60$.

Fig. 2 - Autoradiographie révélant la très faible activité des épidotes, celle un peu plus forte du sphène. ($\times 60$. Temps de pose : 21 jours).

Fig. 3 - Cristal d'épidote du granite porphyroïde à amphibole présentant un cristallite plus sombre. L.N. $\times 140$.

Fig. 4 - Autoradiographie révélant la forme hexagonale du cristallite. L'activité α semble correspondre à l'allanite. L'épidote se serait développé à partir de l'allanite avec la même orientation. ($\times 140$ - Temps de pose : 21 jours).



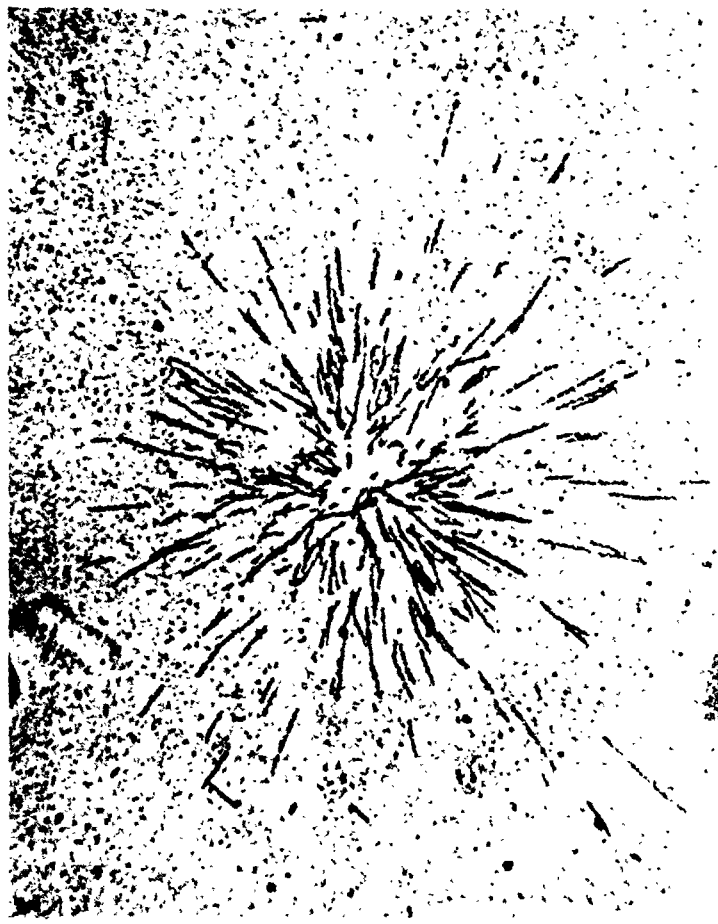
1



2



3



4

b-5) Les épidotes.

Au cours de nos observations, nous avons pu maintes fois reconnaître des épidotes qui, toujours, se sont révélées actives. (Pl. XII, fig. 1, 2, 3 et 4). Cette activité α , très faible vis-à-vis de celle des monazites, a permis de constater que toujours le thorium y est présent et que le rapport Th/U est voisin de 5. Le tableau suivant groupe les renseignements recueillis :

Tableau 48

Activité α des épidotes du granite porphyroïde à amphibole.

Activité $10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$	13	8,5	11,5	7,2	16,4	15	13,2	14,3
Rapport Th/U	4,5	4,7	4,5	6	4,8	5,2	5	4,8

Ces quelques valeurs permettent de reconnaître une teneur en Thorium plus élevée dans les épidotes que dans les sphènes.

b-6) Les uranothorites.

L'uranothorite a été déterminée dans les lames minces de granite à amphibole et par les autoradiographies correspondantes.

Il s'agit d'un minéral brun jaunâtre, observé en lame mince présentant parfois une section octogonale (Pl. XIII, fig. 1, 2, 3, 4). Il est isotrope (par nature ou du fait de la métamictisation). L'indice de réfraction est beaucoup moins important que celui de la monazite. Ces caractéristiques laissent évidemment encore quelques doutes, mais la radioactivité α , la détermination du rapport Th/U, permettent d'affirmer la présence d'un minéral thorifère. Les observations les plus marquantes qui ont pu être faites sont résumées dans le tableau 49.

Tableau 49

Activité α des uranothorites du granite porphyroïde à amphibole.

Activité $10^{-3} \alpha / \text{cm}^2 / \text{s}$	34 500	27 520	28 070	30 850	17 580	21 350	19 350
Th %	52	41	38	42	27	30	24
Th/U	14	10	8,5	7,2	15	10	6,5

Nous pensons que le "minéral thorifère indéterminé" de Stussi (1960) peut être assimilé à l'uranothorite ainsi déterminée. Il s'agit, en effet, d'un minéral étudié dans des formations ayant une même histoire géologique : granite d'endomorphisme de séries dévoniennes.

b-7) Les minéraux opaques.

Ces minéraux sont également toujours associés aux amphiboles. Les sections observées ont toujours des formes géométriques nettes : carrés ou losanges. Il semble s'agir de magnétite, ou d'ilménorutile ou d'anatase, mais étant donné l'opacité, il n'a pas été possible d'en déterminer la nature.

Ces cristaux sont le plus souvent radioactifs, mais faiblement, quelquefois d'ailleurs on ne remarque pas d'activité α (Pl. XIV, fig. 1, 2, 3 et 4).

Les quelques observations faites ont donné les résultats suivants :

Fig. 1 - Cristal d'uranothorite dans le granite à amphibole. Il s'agit probablement d'une section oblique d'un cristal prismatique p (011) a (010). Remarquer la légère auréole pléochroïque dans le feldspath plus marquée dans la biotite. L.N. $\times 110$.

Fig. 2 - Autoradiographie de la préparation. ($\times 110$, temps de pose: 21 jours).

Fig. 3 - Uranothorite associée à des oxydes de fer dans le granite à amphibole. Remarquer les oxydes de fer libérés autour du cristal. L.N. $\times 140$.

Fig. 4 - Autoradiographie de la préparation montrant l'activité du cristal et l'activité diffuse des oxydes de fer. ($\times 140$, Temps de pose : 21 jours).



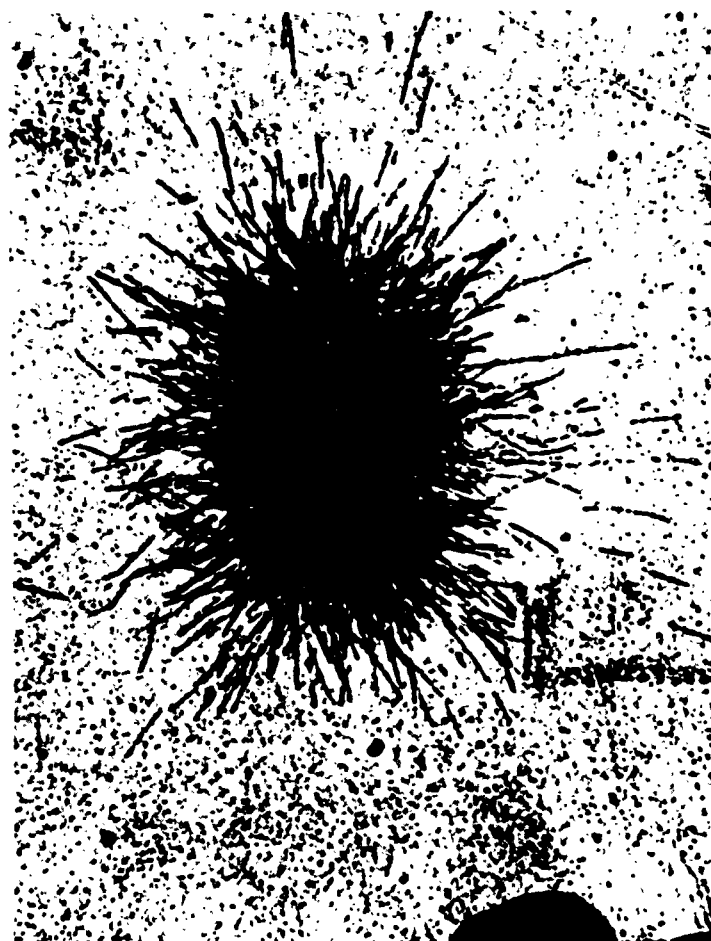
1



2



3



4

Tableau 50

Activité α des minéraux opaques à section géométrique.

Activité $10^{-3} \alpha / \text{cm}^2/\text{s}$	3,7	5,3	4,2	6	2,5	4,1	3,5	5,3	3,2
Equiv. Uranium ($K' = 20$)	20	28,5	23	32,5	10	22	19	29	17,5

Il n'a jamais été remarqué de traces α de longueur supérieure à 39 microns, indiquant ainsi l'absence de Thorium.

b-8) Les apatites.

Les apatites existent également dans le granite à amphibole. Ces minéraux se montrent en association constante avec la hornblende verte. Le rapport Th/U est voisin de 1 et les teneurs en Uranium assez variables, de 50 à 100 ppm environ.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau 51

Activité α des apatites du granite porphyroïde à amphibole.

Activité $10^{-3} \alpha / \text{cm}^2/\text{s}$	92	117	77	84	175	137	148	122	115	153
Rapport Th/U	1	0,8	1,1	1,1	1,2	1	1,1	0,9	1	1,2

Ces chiffres sont sensiblement les mêmes que ceux recueillis à propos des apatites du granite gris porphyroïde.

b-9) Les oxydes de fer et la pyrite.

Le granite à amphibole renferme toujours des plages de pyrite et d'oxyde de fer qui se sont montrés actifs. Il est particulièrement intéressant de noter qu'aucune trace de parcours supérieur à 39 microns n'a été observée.

Le tableau suivant groupe les divers résultats :

Tableau 52

Activité α et des oxydes de fer de la pyrite du granite porphyroïde à amphibole.

	Pyrite					Oxyde de fer				
Activité $10^{-3} \alpha / \text{cm}^2/\text{s}$	33	29	67	45	52	75	112	62	84	97
Equiv. Uranium ppm	170	150	340	235	260	390	580	320	435	500

b-10) "La pechblende".

Un minéral opaque ayant environ 0,8 mm de long sur 1/10 mm de large a été découvert dans une lame mince (prélèvement 425-114 : 424 900 - 114 900 Lambert Zone Nord). (Pl. XV fig. 1 et 2). Ce minéral opaque, ressemblant à un amas d'hydroxyde de fer, montre une très haute activité α : $135 \alpha / \text{cm}^2/\text{s}$.

Aucune trace α de longueur supérieure à 39 μ n'a pu être décelée, indiquant ainsi l'absence de Thorium.

Fig. 1 - Titanomagnétite (?) du granite à amphibole. L. N. $\times 140$.

Fig. 2 - Autoradiographie montrant la faible activité α de ces minéraux opaques. ($\times 140$. Temps de pose : 21 jours).

Fig. 3 - Oxydes de fer du granite porphyroïde à amphibole. L. N. $\times 140$.

Fig. 4 - Autoradiographie révélant l'activité α de ces oxydes. ($\times 140$. Temps de pose ; 21 jours).



1



2



3



4

L'activité α correspond à une teneur en Uranium d'environ 60 %. Seule la pechblende étant connue comme ayant une semblable activité et ne présentant pas de forme nette, c'est à cette dernière qu'a été rapportée le minéral découvert.

L'analyse a montré un déséquilibre de la famille de l'Uranium et il existe des circulations d'eaux uranifères dans l'aire du prélèvement (Cf p.242).

F - COMPARAISON AVEC D'AUTRES FAITS CONNUS.

Ayant passé en revue, sinon complètement, du moins le plus synthétiquement, les divers minéraux actifs des roches granitoïdes de la région étudiée, nous avons remarqué la constance avec laquelle les minéraux radioactifs sont associés aux minéraux caractéristiques magnésiens : biotite ou calco-magnésiens : amphibole.

C'est surtout cette dernière association qui est la plus frappante. En effet, le granite à amphibole montre la plus haute activité γ sur le terrain et le potassium n'a qu'une part infime dans cette activité. Par la suite, des teneurs en uranium et une activité α significativement plus élevée que dans le granite gris porphyroïde ont été observées. Enfin, une corrélation teneur CaO + mgO et activité α , ainsi que teneur en uranium, pour l'un et l'autre granite a été mise en évidence. Une question s'est alors posée : un même phénomène a-t-il été déjà observé et décrit. Larsen (1956) note pour trois batholites des USA une teneur en Uranium plus élevée dans des monzonites quartzifères.

Tableau 53

Teneur en Uranium des roches de trois batholites d'Amérique d'après Larsen, 1956.

	Californie du Sud	Sierra Nevada	Idaho
Gabbro	0,31 ppm	0,60 ppm	-
Diorite quartzifère	1,41	1,2	1,8 ppm
Granodiorite	2,03	2,4	2,3
Monzonite quartzifère	4,2	3,4	3,1
Granite à muscovite	2,3	3,0	1,6

Le même auteur trace le tableau suivant pour des roches des White Mountains ;

Tableau 54

Teneur en Uranium des roches des White Mountains d'après Larsen.

	Teneur en Uranium	
	Valeurs extrêmes	Teneurs moyennes
Granite à biotite	4,3 - 19,5	11,7
Granite à amphibole	2,3 - 23,0	8,8
Porphyre granitique	6,4 - 9,4	8,1
Syénite quartzifère	4,5 - 7,2	5,9
Syénite	1,2 - 20,0	5,7
Monzonite quartzifère	1,8 - 7,6	4,7

Enfin, on peut recueillir le tableau et le commentaire suivant à propos de l'Uranium dans le batholite précambrien de Boulder Creek - Colorado.

Fig. 1 - Minéral opaque à la limite d'un feldspath et d'une biotite décolorée. Granite porphyroïde à amphibole. L.N. $\times 110$.

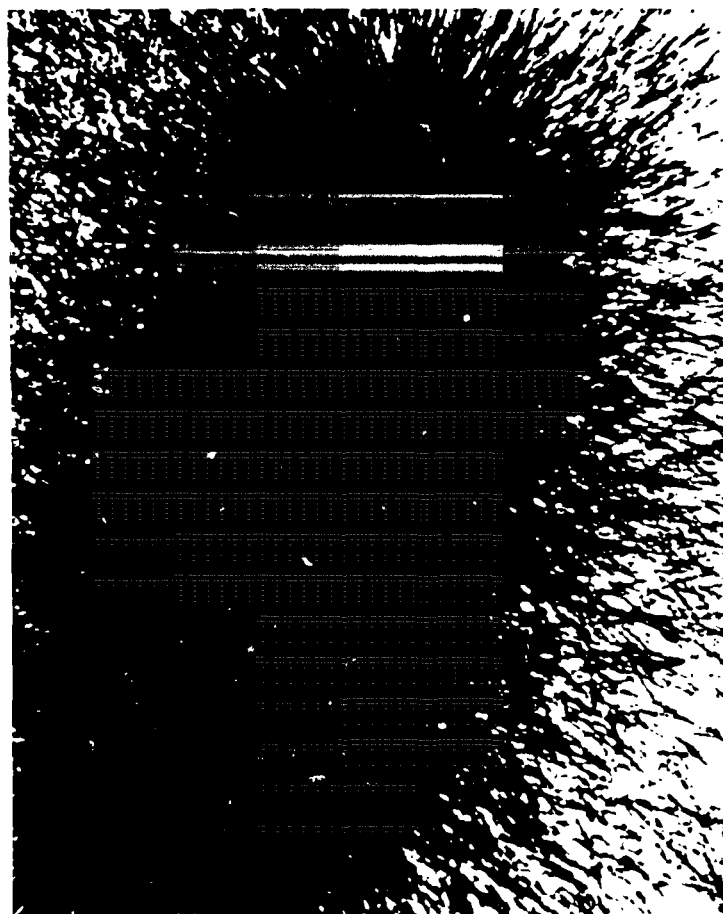
Fig. 2 - Autoradiographie de ce minéral où l'uranium n'est pas en équilibre avec ses produits de filiation. Le pourcentage d'uranium est de 60 %. Il s'agirait donc de "pechblende". ($\times 110$. Temps de pose : 21 jours).

Fig. 3 - Autoradiographie révélant l'activité diffuse des oxydes de manganèse de Saphoz. ($\times 140$. Temps de pose : 10 jours).

Fig. 4 - Autoradiographie révélant l'activité concentrée en certains points. Oxydes de manganèse de Saphoz. ($\times 140$. Temps de pose : 10 jours).



1



2



3



4

Tableau 55

Teneur en Uranium des roches de Boulder Creek d'après Larsen.

	Teneur en U	
	Valeurs extrêmes	moyennes ppm
Roches de la bordure		
Gneiss dioritique à biotite et quartz	14,5 - 14,5	14,5
Gneiss dioritique à biotite et quartz	8,1 - 7,3	7,7
Diorite quartzifère à biotite et hornblende	5,5 - 5,9	5,7
Roches de la zone intermédiaire		
Granodiorite porphyrique à biotite et hornblende	5,5 - 5,1	5,3
Monzonite quartzifère à biotite et hornblende	3,8 - 3,4	3,6
Monzonite quartzifère à biotite et hornblende (altérée)	7,3 - 6,4	7,8
Diorite quartzifère à biotite et hornblende	5,5 - 5,5	5,5
Diorite quartzifère à biotite et hornblende	5,9 - 6,4	6,1
Roches de la zone intérieure		
Granodiorite à biotite et hornblende	3,0 - 3,4	3,2
Monzonite quartzifère à biotite et hornblende	4,0	4,0
Gneiss dioritique quartzifère à biotite et hornblende	1,4	1,4
Gneiss dioritique quartzifère à biotite et hornblende	1,7	1,7
Monzonite quartzifère porphyrique	1,7	1,7

"Dans ce batholite précambrien de Boulder Creek (Colorado), le phénomène d'enrichissement en Uranium s'est fait à l'inverse des règles habituelles. La teneur en Uranium est élevée (8 à 14 ppm) dans les diorites quartzifères de la bordure, moyenne dans les roches moins ferromagnésiennes de la zone médiane et faible dans les monzonites quartzifères et les granites qui forment le soubassement de la plus grande partie de l'intérieur du batholite. Comparé aux intrusions plus récentes déjà décrites, ce batholite a une histoire très complexe ; il a été écrasé, feuilleté et en partie recristallisé le long de sa bordure occidentale. Les roches ferromagnésiennes en bordure passent vers l'Est à des roches plus massives, à l'intérieur desquelles se retrouvent souvent des structures fluidales, planes et linéaires. Des réapparitions mineures de roches ferromagnésiennes sont fréquentes en tous les affleurements, mais elles ne sont pas enrichies en Uranium à l'intérieur du batholite.

Les différences de composition des roches encaissantes aux points de contacts primitifs se retrouvent, croit-on, dans la composition des roches batholitiques adjacentes. A ces différences peuvent correspondre aussi des différences de teneur en Uranium. Les diorites quartzifères se sont formées au voisinage de gneiss et de schistes ferromagnésien, enfin les monzonites et granites quartzifères au voisinage des gneiss, de granites et de quartzites plus anciens. Des phénomènes d'assimilation et, ou, de métasomatose en profondeur sont probablement à l'origine de la différenciation avec cristallisation partielle".

Un peu plus tard, Butler A.P. (1957) étudiant les granites de Conway et du Mont Oscéola, note que les teneurs en Uranium croissent avec les teneurs croissantes en TiO_2 et décroissent avec des teneurs croissantes en fer pour le granite à biotite de Conway ; mais, par contre, ces relations ne sont pas "bien marquées" dans les granites à biotite-amphibole ou amphibole-biotite du granite d'Osceola.

Si l'hypothèse élaborée à partir des faits observés dans le granite à amphibole (série calc-magnésienne ayant subi un endomorphisme puis une métasomatose potassique conduisant à la biotitisation, à la mobilisation de l'Uranium et à la néoformation de minéraux hôtes de l'Uranium) est valable, nous devons trouver de semblables faits dans des formations ayant subi un métamorphisme régional.

L'exemple en est trouvé dans les gneiss centraux des Hohe Tauern (Exner Ch. et Pohl E., 1951, région de Badgastein - Autriche). Ces auteurs ont décrit une relation entre la nature du gneiss et la radioactivité α globale.

Une activité supérieure à la normale n'apparaît que dans les gneiss granosyenitiques du Roma-

tedecke avec un équivalent Uranium de 88 ppm, c'est-à-dire environ quatre fois plus élevé que la valeur moyenne (1) (2).

En résumé, on peut dire que seuls les gneiss granosyenitiques comportent une teneur anormalement élevée en substances radioactives alors que les autres roches ne s'écartent que de peu de la valeur moyenne (3).

De plus, la métasomatose sodique conduit à la néoformation de minéraux hôtes de l'Uranium :

"Dans les lames minces de cette série (zone de passage diffus entre gneiss granodioritique et granosyenitique à albitisation en échiquier) la transformation des phénocristaux de Hornblende de la granodiorite gneissique dans les agrégats de biotite et d'épidote du gneiss granosyenitique peut être observée de façon continue avec tous les stades intermédiaires. La biotite, l'épidote, le sphène, la magnétite et l'hématite se développent au dépens de la hornblende primitive et forment des pseudo-morphoses d'après la hornblende (4).

Le parallèle est plus frappant encore si l'on sait que dans cette région des traces d'Uranium sont transportées par les eaux thermales et que les remplissages de petites failles contiennent jusqu'à 207×10^{-6} g/g d'équivalent Uranium.

G - ESSAI DE SYNTHÈSE.

Le massif de granite à amphibole de la région Est du secteur étudié (Ballon de Servance), résultant d'endomorphisme de séries calco-magnésiennes, semble pouvoir être pris comme un exemple de l'évolution des concentrations de l'Uranium.

Les séries sédimentaires dévoniennes (schistes et calcaires marneux) contenant des quantités non négligeables d'Uranium ont été digérées au cours de la montée d'un batholite granitique tard tectonique, envahissant une zone plissée (Read 1955 - Raguin 1957).

Très tôt, des éléments comme le tungstène, le titane, le cuivre, l'arsenic, le molybdène sont expulsés, plutôt concentrés dans des pegmatites précoces. La preuve peut en être trouvée dans les associations minérales du complexe métamorphisé de Raon-l'Etape où Geffroy (1953) a reconnu dans les cornéennes : molybdénite, chalcopryrite, galène, fluorine, calcite, scheelite, pyrite ; tandis que molybdénite, fluorine, béryl se trouvent dans le granite.

L'Uranium présent dans le milieu réducteur (schistes) pourrait s'exprimer sous forme d'uraninite ou de titanate : brannerite.

Le reste de l'Uranium et des autres éléments est alors drainé par des minéraux dont la structure est hospitalière. Ce sont surtout les minéraux calco-magnésiens : plus particulièrement les amphiboles.

Un peu plus tard, une métasomatose potassique conduit à la formation de biotite aux dépens des amphiboles (ce phénomène a été observé à plusieurs reprises) Pl. III fig. 4, Pl. IV fig. 1 et 2, Pl. IX fig. 3. Cette transformation hornblende-biotite provoque la rupture de la structure et donne naissance à de nouveaux minéraux se formant à l'aide des matériaux non admis dans la structure nouvelle.

La conversion hornblende-biotite est accompagnée de libération de grande quantité de calcium. Les minéraux qui peuvent se former avec ce calcium sont le sphène et l'épidote (Rosenzweig A. et Watson E. M., 1954).

L'Uranium et le Thorium qui ne peuvent pas demeurer dans la biotite (en outre le sphène ne recueille pas tout le molybdène) sont alors accueillis par les minéraux néoformés (sphène, épidote) ou s'individualisent en petits cristaux restant enclavés dans la biotite. Ce processus apparaît conforme au comportement géochimique du potassium (ion de grosse taille $1,33 \text{ \AA}$ pouvant déplacer des ions plus petits : calcium, titane, magnésium ... (Sullivan, 1948-1949).

(1) Jusqu'à 104×10^{-6} g équivalent Uranium par gramme de roche.

(2) "Eine überdurchschnittliche Aktivität zeigt nur der granosyenitische Gneis der Romatdecke mit einem durchschnittlichen Uran Äquivalent von 88×10^{-6} g/g d.i. rund das Vierfache des Durchschnittwertes".

(3) "Zusammenfassend kann gesagt werden dass nur der granosyenitische Gneis einen abnormal hohen Gehalt an radioaktiven Substanzen aufweist, während die übrigen Gesteine vom Durchschnitt nur wenig abweichen ?".

(4) "In den Dünnschliffen dieser Serie (Diffuse Uebergangszone zwischen granodioritischem und granosyenitischem Gneis mit Schachbrettalbitisation) ist die Umwandlung der Grosshornblende des Gneissgranodiorites in die Biotit, Epidot, Aggregate des granosyenitischen Gneiss mit sämtlich Zwischenstadien kontinuierlich zu verfolgen. Biotit, Epidot, Titanit, Magnetit und Eisenglanz breiten sich auf kosten der älteren Hornblende aus und bauen Pseudo-morphosen nach Hornblende auf".

Ceci expliquerait alors la radioactivité γ élevée de certains granites à biotite. Par exemple, en Vendée, le granite de Moulins montre une activité élevée (environ 2,5 fois l'activité de la granulite). Une bande de granite à biotite et muscovite (la biotite dominant très largement la muscovite) (Sanselme H., Gerstner A., 1958) considérée comme un résidu d'endomorphisme du granite à biotite de Moulins possède une radioactivité γ double de celle de la granulite.

Tous ces faits convergent. Ils conduisent à admettre un camouflage de l'uranium dans les minéraux ferro-magnésiens. La formation de gisements est la conséquence de la libération de cet uranium des structures minérales.

La conversion de la biotite en muscovite pourrait libérer à son tour le fer et l'Uranium ; ce dernier mobilisé pourrait être concentré dans des endroits où les conditions physico-chimiques permettent un tel phénomène (Roubault M. et Coppens R., 1959 (a)).

Cette conversion de la biotite ne semble pas avoir fait l'objet de description, mais les remarques faites dans deux massifs renfermant des minéralisations autorisent à penser que ce phénomène est plausible :

a) Vendée.

Mathieu (1950) démontre la granitisation d'un bassin siluro-dévonien. Des enclaves ("résidu d'endomorphisme") n'ayant pas évoluées complètement ont une radioactivité plus élevée que la granulite, tel le granite de Moulins (cf. plus haut). Les gisements uranifères, par contre, sont situés dans ou à proximité de la granulite. La présence de muscovite est une condition nécessaire, mais non suffisante, à la présence des gisements (Pinaud C., 1961).

b) Limousin.

La granulite, renfermant les gisements, est caractérisée par la perthitisation et l'albitisation de microcline, par le développement de micas blancs, puis verdâtres, aux dépens de la biotite et des feldspaths. (Sarcia J., 1958). Des enclaves, non entièrement granulitisées, riches en biotite sont deux à trois fois plus radioactives que la granulite.

Une conséquence importante, du moins sur le plan pratique, se dégage des faits et de leur interprétation : il est inutile de prospecter pour l'Uranium les granites d'endomorphisme dont l'évolution est incomplète. En effet, l'Uranium restant engagé dans des structures minérales (camouflage, isomorphisme) n'a pas pu migrer et se concentrer en gisement.

En corrolaire :

1) les granites d'endomorphisme pourront être le siège d'une minéralisation uranifère et thorifère non industrielle avec des minéraux tels que : uraninite, brannérite. Ces granites, aux teneurs parfois élevées en Uranium, peuvent être considérés comme des ressources potentielles, au même titre que certains schistes noirs (Brown, 1955).

2) Ces faits et leur tentative d'explication conduisent également à une règle de prospection; il est préférable de rechercher les formations granitiques pauvres en Ca et Mg, à faible radioactivité γ , recelant des taches de forte activité plutôt que des formations à haute activité. Ceci d'ailleurs confirme un des principes directeurs de la prospection des gisements d'Uranium. En effet, il a toujours été recommandé d'exécuter les prospections dans les massifs les plus acides et dans lesquels existent des variations d'activité γ .

Cependant, avant d'en terminer avec le problème de la teneur en uranium des roches granitoïdes des Vosges méridionales, une remarque s'impose. Elle concerne plus particulièrement les sphènes du granite à amphibole. Frédérickson (1948) a signalé, au cours d'une étude sur la présence du titane dans les bauxites et les latérites, l'extrême sensibilité du sphène à l'action dissolvante des eaux météoriques, l'action destructrice conduisant à un transport du titane sous forme de gel.

Mais une question se pose : Au cours de cette action, quel est le sort de l'Uranium mis en solution ? Il peut être transporté au loin ou adsorbé par des oxydes de fer, précipité par des sulfures, mais de toute façon il y a rupture de l'équilibre radioactif. Le fluor et le calcium libéré peuvent former la fluorine (1).

Les roches effusives.

Les formations extrusives du secteur ne nous retiendront pas longtemps. Les roches basiques ne présentent pas une activité α élevée. L'étude chimique des teneurs en Uranium vient confirmer ces faibles valeurs. Quand aux roches effusives acides, dont la radioactivité α est élevée, il a été reconnu des teneurs en Uranium, de même ordre que celles du granite gris porphyroïde. Etant donné le nombre restreint d'échantillons, il n'a pas été possible de faire d'étude statistique.

C'est à ce phénomène, ou à un phénomène de même nature, que peuvent être attribuées les légères concentrations non en équilibre constatées dans la zone du granite à amphibole. Les teneurs particulièrement élevées d'Uranium dans les eaux de cours d'eau pyrénéens (région d'Argelès-Gazost). (Grimbert A, communication orale), ont là leur explication.

4) Conclusion.

L'étude des roches granitoïdes des Vosges méridionales nous conduit à admettre une liaison constante uranium et calcium-magnésium. Cette liaison explique l'activité α et γ élevée du granite à amphibole.

Elle étend le champ du comportement géochimique de l'Uranium et du Thorium, surtout dans le cas d'endomorphisme granitique, et généralise les observations déjà faites au sujet des minéralisations d'urano-thorianite : toujours liées au calcium et magnésium - (pyroxénites) dans le Sud de Madagascar - (Moreau 1958).

Les mésatomatoses alcalines peuvent intervenir ultérieurement : La conséquence, par suite, est la rupture de l'architecture des minéraux hôtes de l'Uranium ; ce dernier, libéré, migre et s'accumule dans des milieux favorables à sa concentration.

Le tableau ci-contre tente une schématisation du comportement géochimique de l'Uranium dans les séries calco-magnésiennes. (Tableau 56).

III - LES CONCENTRATIONS D'URANIUM DANS LE CAS D'EQUILIBRE RADIOACTIF.

Les concentrations d'Uranium, en équilibre avec ses produits de filiation, ont été découvertes en premier lieu dans les minéralisations manganésifères. Dans ces concentrations, faibles au demeurant, il n'a jamais été possible de déterminer des minéraux uranifères, s'opposant ainsi aux concentrations uranifères où l'Uranium minéralogiquement exprimé a été reconnu : autunite au lieu dit "les Granges" (Val d'Ajol), uraninite et brannérite dans les haldes de la pegmatite à molybdénite de Château-Lambert.

1) Concentrations uranifères dans les minéralisations manganésifères.

1-1) Lieu-dit Hamanxard - Val d'Ajol.

Rappelons qu'il s'agit d'un filon de quartz blanc broyé et cimenté par de la calcédoine rouge recoupant granite et grès (p. 51).

La minéralisation est constituée par des oxydes de manganèse : acerdèse, psilomélane vers le SE et oligiste au NO.

Les teneurs en Uranium des oxydes de manganèse sont de l'ordre de 50 ppm.

Tableau 57

Teneur en Uranium des minéralisations à Manganèse du Hamanxard.

Echantillons	U (fluorimétrie)	U (radiométrie)
Psilomélane	43,5 ppm	42 ppm
Calcédoine rouge	23 ppm	25 ppm
Quartz blanchâtre	57 ppm	59 ppm
Oligiste	5 ppm	5 ppm

Ces teneurs, bien que faibles, n'en sont pas pour autant négligeables. L'équilibre radioactif est établi.

1-2) Lieu-dit Saphoz, près Faucogney.

Il s'agit d'un stockwerk dans un puissant filon de quartz. La minéralisation essentiellement

(1) C'est à un phénomène semblable que l'on peut attribuer l'origine des masses importantes de fluorine dans les gisements uranifères du Morvan.

Tableau 56

Comportement géochimique de l'Uranium dans les séries calco-magnésiennes.

Série calco-magnésienne		Séries lithologiques	Minéralisation Uranifère et Thorifère	Minéralisation associée	Age	Association remarquable
Métamorphisme général profond Faciès granulite d'Eskola. de la Roche. H (1958) Moresau M. (1958)	Sud-Est de Madagascar	Pyroxénites, granite calco-alkalin, grani- te charnockitique Leptinite Gneiss à grenat et cordiérite	Uranothorianite Monazite	Calcite Fluorine Phlogopite Apatite	500 M.A. Cambrien	Th > U
Métamorphisme général probablement profond (faciès granulite). Roubault M. (1958)	Tête, Mozambique	Gabbro Charnockite basique (Pyroxénite)	Davidite	Pyrite Pyrrhotine Chalcoppyrite Molybdénite Rutile, Ilménite Tourmaline	565M. A. Cambrien	U et Ti
Métamorphisme général faciès à albite épidote- amphibole. Exner C. (1951)	Hohe Tauern Autriche	Gneiss granodiori- tique et granosyé- nitique. Enclave d'amphibolite (albite, épidote)	Ortite (Allanite) Sphène			Ti (U. Th)
Métamorphisme de contact Pyrométasomatisme Endomorphisme. Roubault M. (1958) Heinrich E. Wm (1958)	Mary Kathleen Australie	Granite Granulite à diopside Complexe calcique	Uraninite Allanite	Grenat Pyrite Chalcoppyrite Pyrrhotine Molybdénite Galène Borosilicate de Terres Rares	Cambrien	U > Th
Raguin E. (1957) Roubault M. (1958)	Azegour (Maroc)	Granite calco- alkalin, Grenatite Formation de Quartz et diopside	Brannérite Uraninite Pechblende (postérieure)	Grenat Molybdénite Scheelite Fluorine Calcite Magnétite Barytine	Hercynien	
	Bou Azzer (Maroc)	Diorite	Brannérite	Molybdénite Or natif Pyrite et Chalcoppyrite Quartz	Hercynien	U et Ti
Bizard C. (1955) Ziegler V.	Tichka (Maroc)	Granite calco-alkalin Diorite Grenatite	Brannérite	Molybdénite Scheelite Or natif Mispickel Pyrite Pyrrhotine Chalcoppyrite	Hercynien	U et Ti
Raguin E. (1957) Roubault M. (1958)	Quérigut (Pyrénées)	Granite calco-alkalin Diorite	Uraninite (Pechblende ?)	Molybdénite		
Geffroy J. (1953)	Raon-l'Etape (Vosges)	Cornéennes Grenatite Granite à 2 micas	?	Pyrite, Chalco- pyrite, Molyb- dénite, Scheelite Fluorine (Galène, Blende)	Hercynien	
Geffroy J. (1953) Roubault M. (1958) Présent travail (1961)	Chateau- Lambert (Hte-Saône) Ramonchamp (Vosges)	Diorite Granite calco-alkalin Granite calco-alkalin (Cornéennes)	(Uraninite Brannérite Uranothorite Sphène)	Molybdénite Chalcoppyrite Pyrite Mispickel Or natif Scheelite Fluorine Baritine, Calcite	Hercynien	U et Ti U., Th, Ti
Stussi J. M. (1960)	Senones (Vosges)	Cornéennes Granite calco-alkalin	Uranothorite(1) Sphène		Hercynien	U, Th, Ti

(1) Minéral thorifère indéterminé.

oxydée (psilomélane, acerdèse, manganite, hématite, oligiste), est accompagnée d'une gangue siliceuse : quartz et calcédoine avec barytine.

La calcédoine est fluorescente aux rayons ultra-violet.

Tableau 58

Teneur en Uranium des minéralisations à Manganèse de Saphoz.

Echantillons	U (fluorimétrie)	U (radiométrie α)
<u>Mineral</u>		
Psilomélane n° 41	64,5 ppm	61 ppm
Psilomélane n° 41a	57 ppm	58 ppm
Oligiste n° 50	46 ppm	44 ppm
Arcédèse n° 47	58 ppm	53 ppm
<u>Gangue</u>		
Quartz, calcédoine opale n° 46 (fluorescente aux U. V.)	192 ppm	188 ppm
Quartz, Jaspe (légère fluorescence n° 48)	22 ppm	25 ppm
Calcédoine, Quartz n° 43 jaspe (légère fluorescence aux U. V.)	5 ppm	5 ppm
<u>Carbonates complexes</u>		
Ankérinite manganésifère n° 54	0,5 ppm	1 ppm
Ankérinite et sidérose n° 60 a	1,5 ppm	2 ppm

Ces chiffres démontrent dès l'abord l'état d'équilibre de l'Uranium avec ses produits de filiation et la concentration très élevée dans la calcédoine. Celle-ci montre une fluorescence aux U. V.

Il semble que l'on puisse attribuer cette fluorescence au cation uranyle qui, en milieu acide, présente toujours une vive fluorescence.

1-3) Lieu-dit La Fonderie (Commune du Haut du Them).

Il s'agit d'un filon de barytine encaissé en plein granite à amphibole. La minéralisation est essentiellement oxydée ("Wad" en surface, psilomélane, acerdèse) avec gangue barytique très développée et présence de fluorine souvent dissoute (Boxwork cubique).

Tableau 59

Teneur en Uranium des minéralisations à Manganèse de la Fonderie.

Echantillons	U (fluorimétrie)	U (radiométrie α)
Wad n° 61	75 ppm	70 ppm
Psilomélane n° 61a	47 ppm	45 ppm
Calcédoine et quartz, Boxwork fluorine n° 65	16 ppm	19 ppm
Calcédoine et quartz	0,6 ppm	1 ppm
Barytine n° 63	2 ppm	2 ppm
Diallogite n° 66	1 ppm	1 ppm
Ankérinite n° 66 a	1 ppm	1 ppm

Comme précédemment, la famille de l'Uranium est en équilibre. Les carbonates complexes, comme dans le cas de Saphoz, montrent des teneurs en Uranium très faibles.

1-4) Essais d'interprétation.

Dans le cas de Saphoz, les deux méthodes analytiques ont prouvé la teneur élevée en Uranium de la calcédoine. Le minerai de manganèse montre chaque fois des teneurs en uranium assez élevées, de l'ordre de 50 à 80 ppm.

Lorsque le minerai amorphe est non cristallisé, l'autoradiographie α a révélé une dispersion des centres émetteurs, tandis que les minerais bien cristallisés montrent des inclusions assez actives. (Pl.XV, fig.3 et 4).

Ces observations conduisent à imaginer, au moins pour les deux derniers gîtes, le processus suivant : la forme profonde des gîtes est essentiellement constituée par des carbonates complexes du type ankérite manganésifère, diallogite, associés à du quartz filonien. Un remaniement provoque alors la formation de gels d'oxyde de manganèse et de silice. Ces gels ont un pouvoir adsorbant très élevé vis-à-vis de métaux lourds et plus particulièrement de l'Uranium en solution acide ou carbonatée. (Barton, 1956).

Les gels d'oxyde de manganèse peuvent ensuite évoluer, cristalliser et exsuder l'Uranium qui forme de petites inclusions (Wimmenauer - 1955).

Des faits analogues ont été décrits en Forêt-Noire par Kirchmeimer. Les teneurs en Uranium y sont du même ordre que dans les Vosges méridionales (le cas de Rappenloch près de Eisenbach excepté : 800 ppm, où l'autunite a été signalée par Faisi (1953).

A propos des gîtes de Forêt-Noire, Wimmenauer a remarqué la constance de l'association U-Cryptomélane (psilomélane potassique).

2) Concentrations uranifères dans les autres types de minéralisations.

2-1) L'autunite des Granges (Val d'Ajol)

L'autunite a été découverte à environ 400 m. au S.E. de la Feuillée-Dorothée par M.Romary. La présence en a été confirmée par la mission préliminaire des Vosges - C.E.A. - Cette autunite se trouve dans le conglomérat permien, rougeâtre, interstratifié dans les argilites. Il est probable que les cassures N.E.-S.O. (prolongement de la faille dite de Conflans) ont joué un rôle dans la mise en place de la minéralisation.

L'autunite se présente en cristaux microscopiques, seulement visibles à la loupe. Ils forment un enduit et tapissent les interstices des éléments du conglomérat. La lumière ultraviolette permet de découvrir la totalité de la minéralisation.

La radioactivité sur l'affleurement est de 150 C/S AVP. Quelques pierres volantes minéralisées ont été trouvées par nous à 70 mètres au N.E. de l'affleurement.

L'analyse radiométrique et l'analyse chimique concordent, indiquant l'équilibre de la famille.

L'origine de la minéralisation est assez obscure (Kervella F., 1959). Il est probable qu'elle s'est mise en place dans une région fortement tectonisée.

2-2) Uraninite et brannérite de Château-Lambert.

L'uraninite et la brannérite ont été découvertes à la suite de la mission C.E.A. dans les Vosges.

L'uraninite forme une minéralisation très peu importante. Ce sont de petits cristaux bien formés cubo-octaédriques, de 1/2 mm d'arête. L'uraninite accompagne les minéraux du cuivre.

La brannérite, en aiguilles prismatiques longues de 1 à 2 cm et de 0,1 mm de large, semble associer la molybdénite.

La radioactivité et les teneurs en Uranium indiquent l'équilibre des produits de filiation de la famille.

L'origine de la minéralisation a été discutée dans les pages précédentes (p.178).

3) Conclusion.

Les filons manganésifères des Vosges méridionales présentent des concentrations non négligeables d'Uranium. La famille y est en équilibre et il semble que, dans le processus de fixation, les phénomènes colloïdaux ont joué un rôle prépondérant.

L'équilibre existe également dans les minéralisations uranifères, autunite du Val d'Ajol et uraninite-brannérite de Château-Lambert.

IV - LES CAS DE DESEQUILIBRE DANS LA FAMILLE DE L'URANIUM.

Il a été possible d'étudier quelques cas de déséquilibre dans la famille de l'Uranium.

Tous ces cas ont en commun un déficit dans les produits de filiation naissants à partir de l'Uranium. Autrement dit, nous nous sommes trouvés en présence de teneurs en uranium non négligeables, souvent élevées, non discernables en général avec les appareils de terrain. Seule la chimie a permis de les mettre en évidence avec sûreté.

Ces cas ont été rencontrés dans la région de Bains-les-Bains, dans le Val d'Ajol et dans un secteur du flanc du Ballon de Servance.

1) Région de Bains-les-Bains.

Cette région a plus particulièrement retenu notre attention, du fait de la mise en évidence de transport actuel d'Uranium par les eaux thermales de Bains-les-Bains (Jurain, 1955. a).

1-1) Zone thermale de Bains-les-Bains.

Nous avons eu la chance de retrouver dans les combles de l'établissement thermal des carottes d'un sondage exécuté en 1937, pour le compte de la Société des Eaux Thermales de Bains-les-Bains. Ce forage a été exécuté sur l'ancienne émergence de la source Saint-Colomban. Ce captage porte actuellement le nom de Source Artéria et alimente le Bain Romain. Les échantillons provenant de ce sondage, fort heureusement bien repérés, ont été étudiés à la fois par plaques nucléaires et par fluorimétrie. Le tableau suivant (cf. également p. 61) (G. Jurain, 1957) rassemble les données consignées dans le carnet de sondage tenu au cours de l'exécution de l'ouvrage.

Tableau 60

Teneur en Uranium et Radiométrie α des carottes du sondage
Artéria - Bains-les-Bains

PROFONDEUR	NOTES DU CARNET DE SONDAGE	TENEUR EN U Fluorimétrie en ppm ± 10%	TENEURS U Radiométrie ±10 %	REMARQUES
11 m 20	Poudingue de grès	0,8	4,3	Traces de cuivre
12 m 40	Poudingue	0,8	6,4	
12 m 55	Poudingue	1,1	4,25	
13 m 10	Poudingue	0,6	3,8	
15 m 45	Silex rouge très dur non aggloméré	1,2	3,5	Traces de cuivre
15 m 75	Quartz rouge très dur avec rognons	3,4	4,25	
16 m 35	Quartz rouge, vert non aggloméré avec des silex	1,6	2,4	Grès à barytine crétée, fluorine mauve et pyrite, quartz enfumé et silice cryptocristalline. Carotte diaclasée
16 m 75	Silex rouge et grès	1,2	2,5	
18 m 05	Grès rouge et poudingue de quartz	96	15	
19 m 55	Grès rouge plus abondant	5	7	
19 m 60	Grès rouge " "	2,2	7,2	Traces de cuivre
19 m 76	Grès rouge " "	1,8	3,8	
19 m 85	Grès blanc - Poudingue	0,7	3,2	
22 m	Poudingue sur 30cm. Traces de granite en fin de carotte	2	3,5	
32 m A	Traces de granite décomposé	{ 2,8	8,25	Granite altéré diaclasé
32 m B		{ 107	15	
33 m	Granite de plus en plus abondant et de plus en plus dur	{ 3,8	2,3	
33 m A		{ 5,7		
33 m B		{ 5		

Les niveaux 18,05 m et 32 m présentent des teneurs anormalement élevées par rapport à la moyenne de la région.

La très faible activité γ des carottes de ces niveaux conduit à penser à un déséquilibre, d'autant plus plausible étant donné la possibilité d'un lessivage par les eaux chaudes.

La technique des plaques nucléaires a permis, en outre, de confirmer la présence de l'Uranium dans les deux niveaux, de le localiser et d'étudier son état d'équilibre avec ses produits de filiation.

1-a) Localisation de l'Uranium.

Les lames minces, taillées dans les carottes provenant des deux niveaux, non recouvertes de couvre-objet, ont été posées pendant trois semaines contre la couche sensible des plaques nucléaires

- 18,05 m.

L'Uranium se localise au niveau des plages de sulfure de fer concrétionné qui englobe les cristaux de fluorine. La figure 1 Pl. XVI, montre le sulfure englobant la fluorine et la figure 2 Pl. XVI montre la répartition des traces α sur les plages claires (correspondant aux plages sombres du sulfure concrétionné).

- 32 m.

Dans ce niveau, nous avons remarqué la constance avec laquelle l'Uranium se concentre au niveau de formations ferrugineuses provenant de l'altération des micas ferro-magnésiens (biotite). Ces altérations sont constituées par des amas d'hydroxyde de fer. La photo montre de tels amas d'oxyde et la plaque nucléaire révèle les traces α dues à l'Uranium. (Pl. XVII, fig. 1, 2, 3 et 4).

1-b) Etat d'équilibre de l'Uranium dans ces niveaux.

L'Uranium, dans ces niveaux, n'est pas en équilibre avec ses produits de filiation. En effet, des mesures statistiques de longueur de traces α ont été effectuées sur 275 traces d'un échantillon du niveau 18,05 m. La répartition est donnée par la figure 47. L'histogramme fait apparaître deux

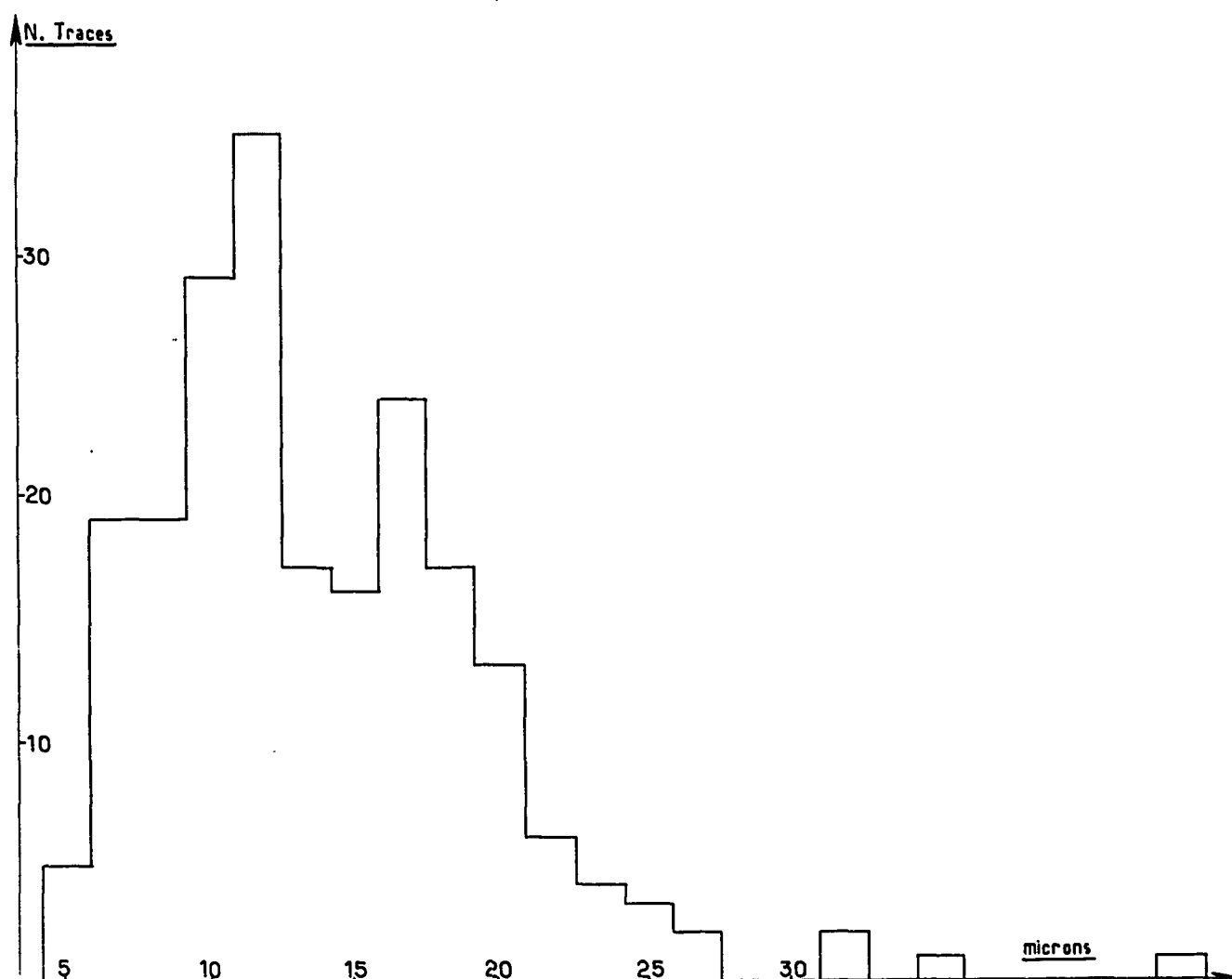
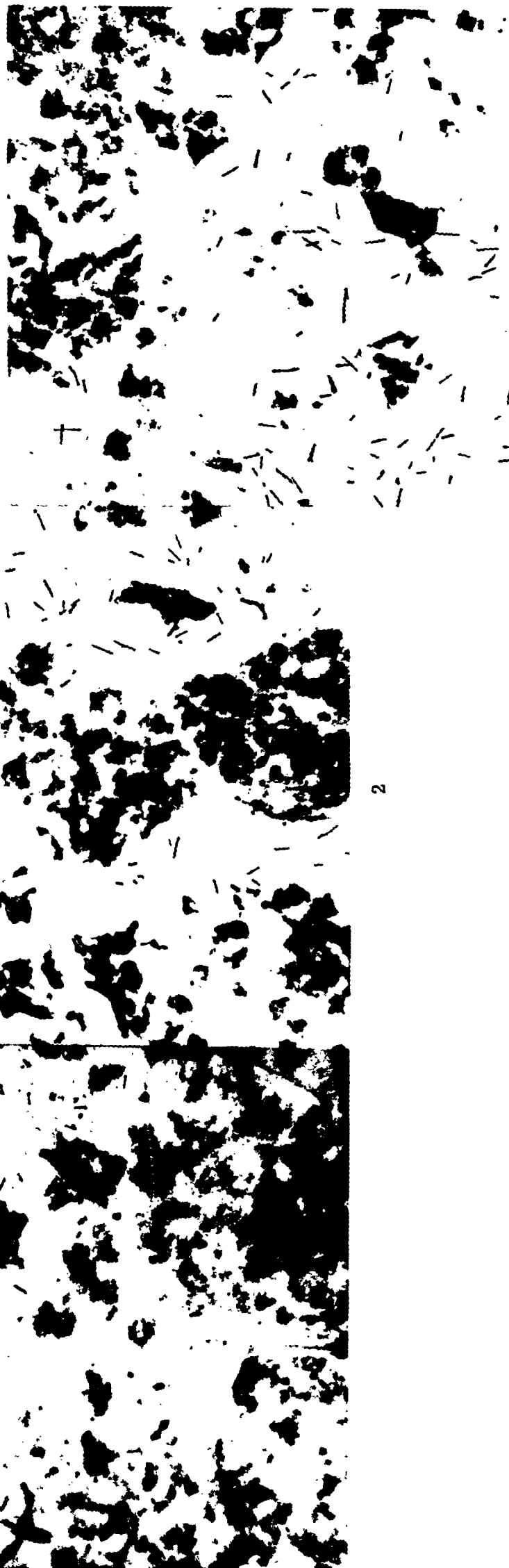


Fig. 47 - Répartition des longueurs des traces α : lame mince niveau 18,05 m - Bains-les-Bains. Remarquer les deux pics correspondants aux isotopes U_I et U_{II} .

Fig.1 - Sulfure de fer (opaque) noyant la fluorine (section carrée ou triangulaire). (Lame mince carotte de sondage de Bains-les-Bains 18 m.05), L.N. $\times$ 170 .

Fig.2 - Autoradiographie de la lame mince indiquant la répartition de l'activité α dans le sulfure ($\times$ 170. Temps de pose : 21 jours).



populations de traces dont les énergies d'émission sont inférieures à 5,2 Mev correspondant à des traces courtes. (Une seule trace de 41,5 microns (Radium C') a été notée sur les 275 traces mesurées). Ce déséquilibre a été contrôlé par l'analyse fluorimétrique et les mesures des teneurs effectuées par la technique des plaques nucléaires.

Les teneurs sont respectivement pour les deux niveaux considérés :

	<u>FLUORIMETRIE</u>	<u>PLAQUES NUCLEAIRES</u>
18,05 m	96 ppm	15 ppm
32 m	107 ppm	15 ppm

En faisant les rapports des teneurs, on trouve les valeurs :

$$\frac{15}{96} = \frac{1}{6,5} \quad \text{et} \quad \frac{15}{107} = \frac{1}{7}$$

Or, l'équilibre théorique est 1 et la présence de l'Uranium seul donne une valeur 2/8 : 8 émetteurs α dans la famille de l'Uranium et deux isotopes de l'Uranium émetteur α (p. 85).

Ceci conduit à admettre que seul l'Uranium est présent dans ces deux niveaux.

Cependant, avant de tenter un essai d'interprétation, il semble nécessaire d'exposer ici un certain nombre d'autres faits observés.

Ce qui frappe le plus, en étudiant les carottes, est la très intense silicification. Les grès sont transformés en véritables quartzites.

La présence des sulfates attire ensuite l'attention : développement de barytine crétée un peu partout, surtout dans les diaclases des carottes (Pl. XVIII, fig. 2).

L'observation directe permet encore de reconnaître le quartz très bien cristallisé et enfumé, souvent recouvert d'une fine pellicule de silice cryptocristalline (Pl. XVIII, fig. 1).

La fluorine mauve et violette littéralement emballée par un sulfure concrétionné (pyrite en minuscules cristaux ou melnicovite) est observable à la loupe (Pl. XIV, fig. 3 et 4).

Une lame mince taillée dans la carotte du niveau 18,05 m permet de déterminer des feldspaths (orthoses) altérés, rares et en gros cristaux. Le quartz forme avec l'orthose une association pegmatitique. La biotite est très fortement altérée en chlorite. Une pâte de quartz microcristallin englobe tous ces minéraux.

L'hématisation est très importante, accompagnant les minéraux opaques (sulfures). La fluorine est abondante, associée aux sulfures. Elle peut former quelquefois des filonets.

Il s'agit donc d'un microgranite dont la pâte est à texture micropegmatitique ou d'une rhyolithe dévitrifiée, "métamorphisée" par les circulations hydro-thermales.

Les échantillons du niveau 32 m montrent un granite à biotite très fortement altéré. Les orthoses, très grandes, automorphes, sont bordées par des plaques de quartz myrmékitiques. Il semble que cela soit une conséquence de la circulation des eaux thermales. Les biotites sont totalement chloritisées, exsudant les oxydes de fer.

1-c) Essai d'interprétation.

Les observations macroscopiques ou microscopiques ont donc permis de reconnaître le quartz automorphe légèrement enfumé, emballé dans la silice cryptocristalline (calcédoine, opale).

La fluorine, en petits cristaux mauves, est associée à la barytine crétée. La pyrite est abondante, microcristalline, elle enrobe souvent la fluorine (Pl. XVI fig. 1).

Du point de vue chimique, la teneur en K_2O du granite de la carotte extraite à 32 m est remarquablement élevée : 9,4 %.

Enfin, a été découvert dans cette même région de Bains-les-Bains, un plaçage de barytine crétée - semblable en tout point à celle du sondage - contenant de la galène bien cristallisée.

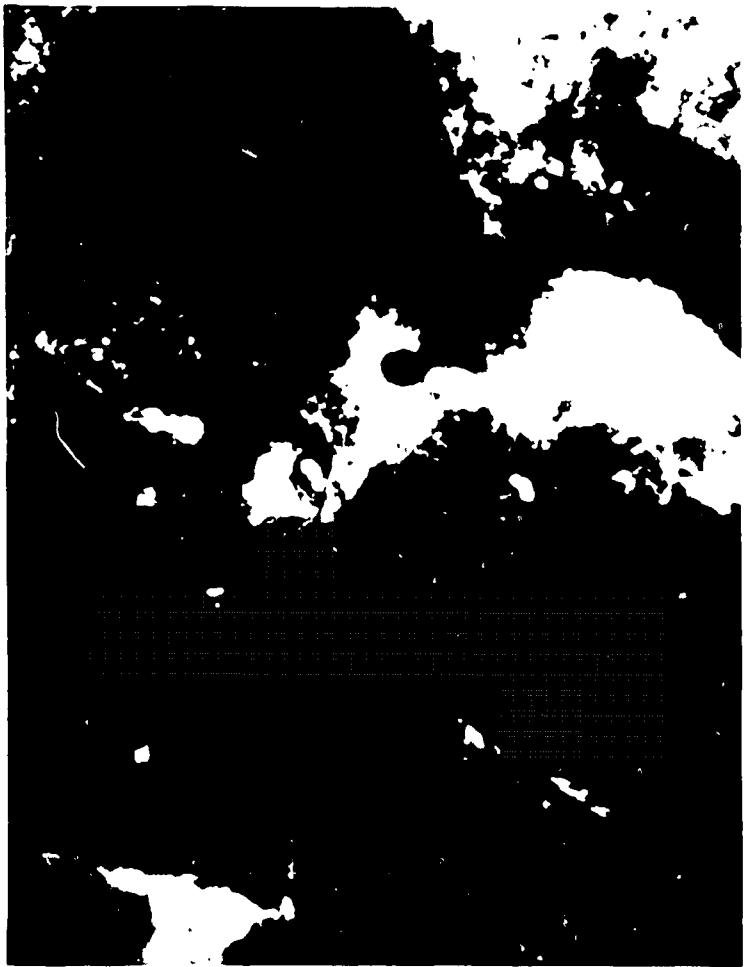
Tout ceci converge et vient confirmer les hypothèses de Lindgren (1933), et de White (1955), concernant la liaison eaux thermales et gisements épithermaux. En effet, sont rassemblés là tous les caractères d'une paragenèse filonienne épithermale (Schwartz - 1955 - Schmitt - 1950).

Fig.1 - Amas d'hydroxyde de fer dans le microgranite de Bains-les-Bains (Sondage 32 m.). L.N. $\times$ 170.

Fig.2 - Autoradiographie α montrant la répartition de l'activité sur ces hydroxydes de fer. ($\times$ 170. Temps de pose : 21 jours).

Fig.3 - Biotite altérée libérant les oxydes de fer : microgranite du sondage de Bains-les-Bains, 32 m. L.N. $\times$ 170.

Fig.4 - Autoradiographie révélant la concentration de l'activité α sur les oxydes. ($\times$ 170. Temps de pose : 21 jours).



Quant à l'Uranium, il est manifestement en déséquilibre avec déficit en produits de filiation de la fin de la famille. Il y a donc remaniement actuel ou subactuel. Mais le rapport $\frac{U(\alpha)}{U(f)}$ est plus petit que 1/4 pour les niveaux 18,05 et 32 m respectivement 1/6,5 et 1/7. Ceci conduit à admettre que l'isotope U_{11} est présent, mais pas encore en équilibre (confirmation obtenue par l'histogramme de longueur des traces α). Pour des raisons chimiques, il est difficile d'accepter une séparation isotopique dans une telle proportion. Il est alors sage d'admettre un transport et un dépôt actuel d'uranium et non un remaniement d'une minéralisation uranifère profonde, comme nous avons tenté de l'expliquer (Jurain, 1955).

Les eaux thermales sont l'agent de transport de l'Uranium : en effet, les teneurs en sont relativement élevées : en moyenne 7 $\mu\text{g/litre}$ (7 mg/m^3). L'Uranium est précipité de ces eaux légèrement basiques (p. 62) au niveau des sulfures (potentiel d'oxydo-réduction négatif) et adsorbé ou précipité (p. 87) au niveau des oxydes de fer.

Le transport de l'Uranium par les eaux thermales ne semble pas un fait extraordinaire. Au contraire, il apparaît comme banal. Hoffmann (1941) à Franzensbad, trouve une teneur de 48 μg d'uranium par litre, à la source du Docteur Cartellieri (12° C) et 2 μg à la source de l'Empereur. Le même auteur, à Carlsbad (Karlovy-Vary), obtient 10 et 12 $\mu\text{g/litre}$ respectivement au Sprudel (75° C) et à la source du Moulin (52° C).

En Autriche, à Badgastein, les teneurs en uranium des eaux thermales (71° C) ne sont pas connues, mais on a observé de petits nodules calcaires, formés par des Chroococcales, dont la teneur en U peut atteindre 1000 ppm en total déséquilibre (Schemnitzky F. et Grabherr W., 1951).

Plus près de nous, Kircheimer (1959) a reconnu des sédiments uranifères d'eaux thermales à Baden-Baden (67° C).

Une convergence curieuse, importante semble-t-il à souligner, est la fréquence de minéralisations uranifères sises à proximité de ces sources thermales : Franzensbad et Carlsbad sont à peu de distance de Joachimsthal.

Dans la région de Badgastein, on a trouvé des minéralisations secondaires de l'uranium (Haberlandt et Schiener, 1951) et même de la "pechblende" dans les gneiss (Kircheimer, 1959).

Dans les environs de Baden-Baden, ce dernier auteur (1951) décrit autunite et chalcopite au Fremesberg, uranopilite au Liesberg.

Cependant, tous ces faits ne semblent pas assez nombreux pour en tirer une règle, on doit malgré tout noter une réelle convergence entre eaux thermales et minéralisations uranifères actuelles ou subactuelles.

Rappelons, dans un ordre d'idée semblable, l'hypothèse de minéralisation uranifère et circulation hydrominérale élaborée par Moreau M. et Poughon A. (1955), sur la genèse du gisement à parsonsite de Lachaux (Puy-de-Dôme). D'après ces auteurs, l'uranium aurait pu être transporté par les eaux froides bicarbonatées uranifères nombreuses dans le secteur minéralisé. (Source de la Montagne : 5 $\mu\text{g/litre}$).

1-2) Filon de quartz de Trémeures.

L'existence d'un filon de quartz situé à 4 km au Sud de Bains-les-Bains a été signalée plus haut (p. 42). Il est orienté N60° E, son pendage est de 80-85° Ouest. Son extension horizontale visible est de 200 m environ.

Il est encaissé dans le grès bigarré (grès à Voltzia). Ce dernier est affecté par la tectonique locale : grande faille de direction N120° et failles secondaires sensiblement orthogonales à la précédente.

Il présente une symétrie parfaite par rapport au plan de direction N60° E. De l'extérieur vers l'intérieur, se rencontre le grès bigarré silicifié ; puis une éponte de quartz saccharoïde ou rubanée. De grands cristaux de quartz enfumé se développent ensuite. Ils ont leurs formes bien nettes et l'observation à la loupe décèle une pellicule très fine d'oxyde de fer. L'axe est rempli d'argile blanche, de nodules manganésifères et de quartz carié. En fait, ce quartz correspond aux reliques de silice ayant enveloppé de la fluorine. Les vides, cubiques, correspondent à la place occupée par les cristaux de fluorine, (Pl. V, fig. 4) qui ont été dissouts par l'action d'eaux acides provenant de l'altération des minéraux sulfurés du filon.

Les minéraux métalliques rencontrés sont la pyromorphite et la limonite. Les traces de cuivre et la couleur brune de la limonite, laissent supposer en profondeur la présence de sulfure de

Fig. 1 - Quartz enfumé zoné recouvert de silice cryptocristalline. Carotte de sondage de Bains-les-Bains. 18 m.05. × 7.

Fig. 2 - Barytine crétée associée au quartz, à la fluorine et à la pyrite dans le même niveau. × 7.

Fig. 3 - Fluorine mauve géodique (remarquer la macle p) (même lieu), × 7.

Fig. 4 - Pyrite en enduit sur la fluorine. Même lieu. × 7.



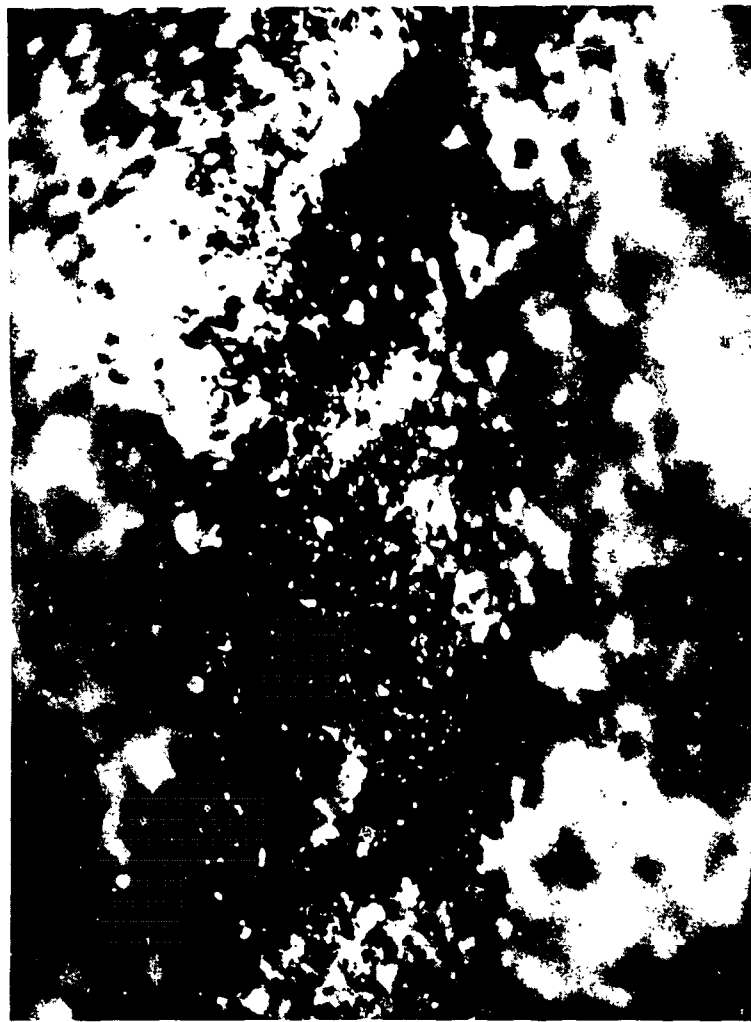
1



2



3



4

cuiivre (chalcoppyrite). Une seconde venue de silice s'est effectuée après la disparition de la fluorine. En effet, les vides cubiques sont souvent tapissés de quartz pyramidé. La silice remplace les lames de barytine. Dès 1955, l'Uranium est reconnu dans la pyromorphite accompagnant le quartz enfumé (G. Jurain). Tous les échantillons recueillis ne sont pas étudiés par radiométrie, mais tous ont subi l'analyse chimique.

Les résultats obtenus par les deux techniques sont résumés dans le tableau 61 :

Tableau 61
Teneur en Uranium et Radiométrie α des échantillons
du filon des Trémeures.

N° ordre	Echantillon	Plaques nucléaires $10^{-3}\alpha / \text{cm}^2/\text{s}$	Equivalent Uranium(ppm) (A)	Fluorimétrie (F)	A/F
T ₁	Quartz légèrement enfumé oxyde de manganèse et de fer, Pyromorphite bien cristallisée, Boxworks de fluorine	26,25	143	130	1,1
T ₄	Quartz saccharoïde (faible proportion) pyromorphite jaune verte avec sphérolites d'oxyde de manganèse.	23,56	128	140	0,91
T ₆	Quartz, oxyde de fer et de manganèse, pyromorphite, quartz pyramidé enfumé	33,73	183	187	1
T ₁₀	Quartz, oxyde de fer et de manganèse, très peu de pyromorphite, un peu d'argile.	3,36	23,5	34,7	0,67
T ₁₁	Quartz carié, boxworks cubiques, argile, pyromorphite, oxydes de fer et de manganèse.	8,5	48	54	0,9
T ₁₃	Echantillon très dense : Pyromorphite très abondante, un peu d'argile et d'oxyde de fer et de manganèse.	52	282	230	1,22
T ₁₄	Quartz, oxyde de manganèse boxworks cubiques de fluorine. Quelques rares cristaux de pyromorphite.	3,3	18	11,5	0,71
T ₁₅	Quartz, pyromorphite, Oxyde de manganèse	10,9	59	77,5	0,76
T ₁₉	Boxworks de fluorine, pyromorphite, quartz pyramidé enfumé	6,15	33,5	68,5	0,5
T ₃₀	Pyromorphite sur quartz cristallisé, quelquefois saccharoïde, limonite	12,8	70	68	1
T ₃₇	Quartz saccharoïde cryptocristallin concrétation d'oxyde de fer et de manganèse.	5	27	34	0,8

Fig. 1 - Cristaux de vanadinite géodique dans un nodule. Travers banc du Prieuré d'Hérival. $\times 10$.

Fig. 2 - Géode tapissée de vanadinite dans la fluorine. Vieux travaux de Rovillers-St Bresson. $\times 10$.

Fig. 3 - lame mince taillée dans un nodule de Vanadinite (prieuré d'Hérival). Remarquer au centre de la photographie les sections hexagonales. (L.N. $\times 110$).

Fig. 4 - Autoradiographie révélant la localisation des émetteurs α au niveau du minéral plombifère. ($\times 110$. Temps de pose : 3 jours).



1



2



3



4

N° ordre	Echantillon	Plaques nucléaires $10^{-3}\alpha/\text{cm}^2/\text{s}$	Equivalent Uranium(ppm) (A)	Fluorimétrie (F)	A/F
T ₃₈	Quartz avec oxyde de fer et de manganèse avec un peu de pyromorphite	4,6	25	32	0,78
T ₃₉	Oxyde de fer et de manganèse, avec pyromorphite	10	55	58,5	0,94
T ₄₀	Nodules manganésifères et ferrifères se rencontrant dans les fissures du grès silicifié. Pyromorphite rare	12,8	70	92	0,76
T ₄₁	Argile avec calcédoine	11	60	63	0,95
T ₄₂	Nodules manganésifères et ferrifères. Un peu de silice colloïdale, pas de pyromorphite	20,2	110	159	0,69
T ₄₃	Argile avec nodule d'oxyde de manganèse	7	38	47	0,8
T ₄₄	Limonite avec oxyde de manganèse et pyromorphite	7,7	40	43	0,93
T ₄₅	Nodule d'oxyde de manganèse avec un peu d'argile	17,8	97	114	0,85
T ₄₈	Pyromorphite. Limonite, un peu de quartz	23	125	110	1,15

Signalons enfin qu'un nodule de manganèse a donné par fluorimétrie 832 ppm d'Uranium, tandis que la section polie correspondante permettait de dénombrer $118 \times 10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{s}$ équivalent à 640 ppm d'Uranium.

Il reste encore à noter que la pyromorphite isolée (90 % de l'échantillon était constitué par le minéral de plomb, le restant étant quartz et argile), avait donné par fluorimétrie une teneur de 725 ppm d'Uranium, tandis que l'activité α était de $118 \times 10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{s}$, soit un équivalent d'uranium de 640 ppm.

Une autre mesure sur un échantillon différent de pyromorphite isolée a donné une activité α de $44 \times 10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{s}$ soit un équivalent uranium de $240 \times 10^{-6} \text{ g/g}$ d'Uranium. L'analyse fluorimétrique a alors donné une teneur de 630 ppm.

Ce tableau fait donc apparaître la pyromorphite et les oxydes de manganèse comme étant les minéraux hôtes de l'Uranium. Il est remarquable que l'état d'équilibre est sensiblement atteint pour un certain nombre d'échantillons. Lorsque la pyromorphite prédomine, il y a déficit d'Uranium ou gain de Radium dans certains cas et là où dominent les oxydes de manganèse ou de fer, il y a déficit de Radium.

Essai d'interprétation.

La présence d'Uranium dans ce secteur n'est pas en soi surprenante, car la circulation des eaux thermales, qui sont uranifères, a pu être à l'origine de cette concentration. Rarement l'équilibre de la famille Uranium est atteint. Il n'est pas étonnant de trouver un excès de Radium par rapport aux teneurs en Uranium dans les pyromorphites. Ce radium est probablement en position de remplacement isomorphique du plomb (rayon ionique du $\text{Ra}^{2+} = 1,43 \text{ \AA}$; du $\text{Pb} = 1,20 \text{ \AA}$ = coordination 6). Danne (1905) a signalé de la pyromorphite et de la cérusite radifères à Issy-l'Evêque (Morvan). Plus tard, Bamberger et Weissenberger (1914 et 1915) signalent le radium dans les pyromorphites de Johanngeorgenstadt ($1,3 \times 10^{-9} \text{ g/g Ra}$) et du Brisgau ($4,65 \times 10^{-12} \text{ g/g Ra}$). Ces pyromorphites sont absolument sans Uranium.

Se basant sur les travaux de Niggli (1925), Frondel et Fleischer (1952) ont admis que l'Uranium peut se rencontrer dans les pyromorphites du fait de l'analogie de ces phosphates avec l'apatite (qui, la plupart du temps est uranifère).

Plus récemment, Kirchheimer (1957) en étudiant les minéraux supergènes du filon de quartz de Badenweiler (Bade-Forêt-Noire), a découvert des croûtes de pyromorphite pure qui contient environ 1 % d'Uranium. Mais il ne semble pas que ces auteurs se soient intéressés à l'état de l'équilibre de la famille de l'Uranium.

Dans le cas présent, il y a manifestement destruction de l'équilibre. Pour l'expliquer, il semble plausible que l'Uranium et le Radium puissent être libérés, ensuite migrer, être adsorbés ou engagés dans une combinaison minérale suivant leur comportement chimique.

Cette hypothèse permet d'expliquer l'enrichissement préférentiel de l'Uranium dans les oxydes de fer et de manganèse qui fixent volontiers l'ion uranyle (Barton, 1956) et l'enrichissement en Radium de la pyromorphite qui, dans certaines conditions, pourrait fixer plus d'Uranium (1).

1-3) Filon de quartz du Clerjus.

A la lisière Nord du village du Clerjus (6 km au S.E. de Bains-les-Bains) nous avons observé une fracture minéralisée.

Il s'agit d'un filon de quartz de très faible extension (20 m) de direction N 45° E ; encaissé dans le grès bigarré (p. 47) (Pl. VI fig. 1-2).

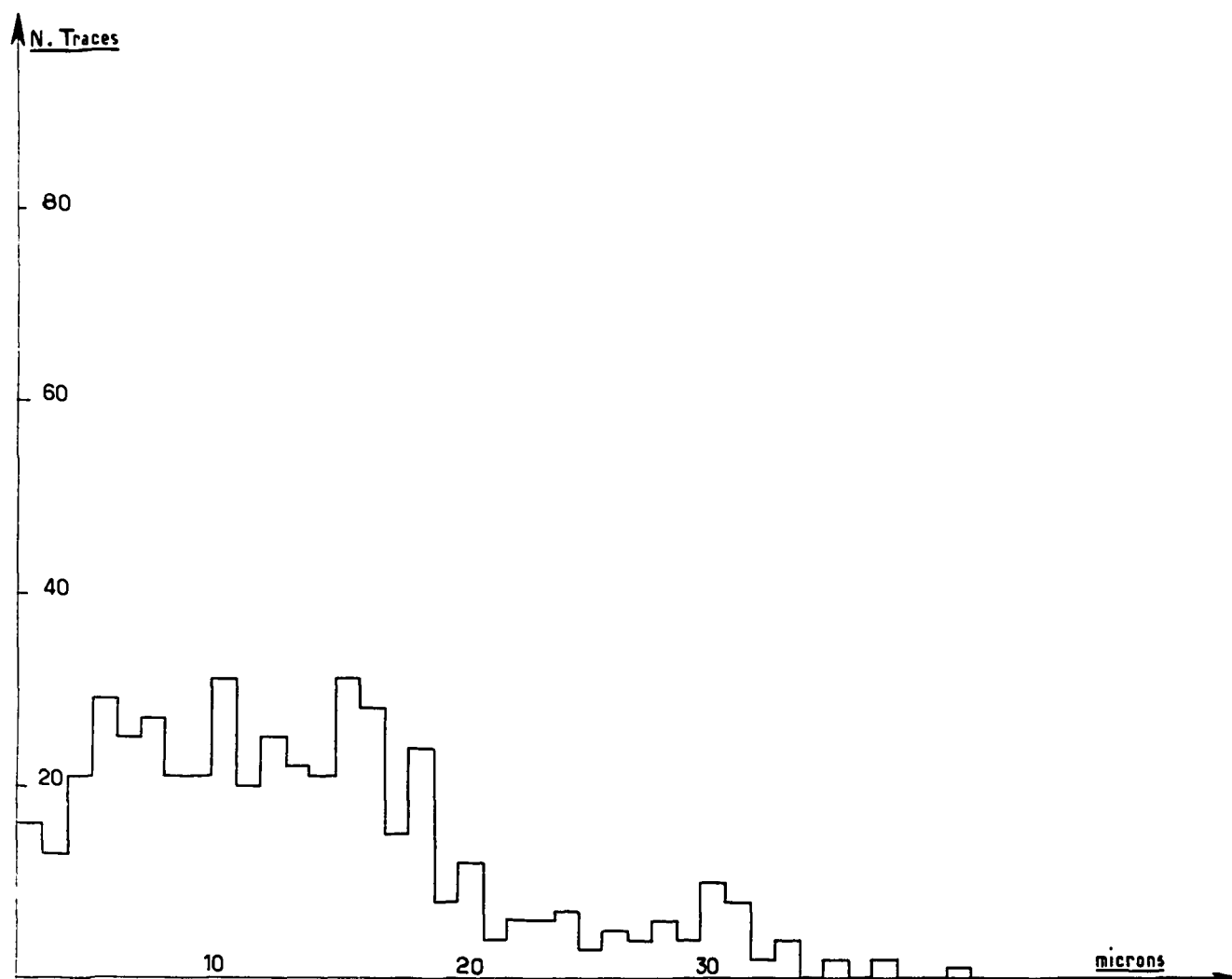


Fig. 48 - Répartition des longueurs des traces α issues d'un nodule de manganèse = (filon des Trémeures) près Bains-les-Bains. (Nombre de traces comptées = 505).

(1) Un cas de déséquilibre dans la famille de l'Uranium au profit de l'Uranium est connu dans le minéral supergène du plomb (mimétèse) du gisement d'Anozel, près Saint-Dié (Vosges). L'analyse chimique donne une teneur de 140 ppm tandis que la radioactivité α est de $12,8 \times 10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{s}$, soit un équivalent uranium de 70 ppm. Un autre échantillon du même gisement donne respectivement pour la fluorimétrie et la radiométrie α , 74 ppm, et $3,6 \times 10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{s}$ soit un équivalent uranium de 20 ppm.

Des boxworks cubiques de fluorine sont fréquents. La barytine et la pyromorphite forment l'essentiel de la minéralisation. La pyromorphite jaune-verte tapisse le quartz. Elle a une activité de $6,5 \times 10^{-3} \alpha/\text{cm}^2/\text{s}$ correspondant à un équivalent en Uranium de 35 ppm. La fluorimétrie donne une teneur de 50 ppm. Ici encore existe un déséquilibre de la famille de l'Uranium au profit de l'Uranium. De plus, ce déséquilibre est du même ordre que celui des minéralisations des Trémeures. L'extension très faible du filon n'a pas permis de recueillir un assez grand nombre d'échantillons. Cependant, la convergence, tant dans le type de minéralisation que dans le déséquilibre, autorise à penser à une similitude des deux cas : filon de quartz des Trémeures et filon de quartz du Clerjus.

2) Région du Val d'Ajol et St Bresson.

Des cas de déséquilibre ont encore été observés dans des minéralisations filoniennes de la région du Val d'Ajol et de St Bresson.

2-1) Travers banc du prieuré d'Hérival.

Il s'agit d'une fracture N.S. de pendage 70-75° E, dans un granite à biotite à tendance granulitique (p. 51). Cette fracture est minéralisée en galène et minéraux oxydés du plomb : pyromorphite, vanadinite (Pl. XIX fig. 1) mimétèse. Ces minéraux emballent littéralement des nodules de galène. Les gangues sont essentiellement fluorine violette, antozonitique, et quartz pyramidé enfumé, souvent noir. Des argiles sont dispersées partout dans le filon. Elles auraient joué un rôle important dans la genèse des minéraux supergènes (Durand, G 1957).

Les équipes de prospection du C.E.A. avaient reconnu une activité γ sensiblement plus élevée que le mouvement propre moyen du secteur, tant sur le filon que sur les haldes (p.).

1-a) Les teneurs en Uranium.

Les échantillons ont été prélevés sur la roche encaissante, à une certaine distance du filon, ainsi qu'aux abords immédiats. Les minéralisations ont été recueillies dans le filon et également triées soigneusement sur les haldes. Les résultats sont les suivants :

Tableau 62

Teneur en Uranium et Radiométrie α des échantillons du filon d'Hérival.

N° d'ordre	Echantillons	10 ⁻³ $\alpha/\text{cm}^2/\text{s}$		Equivalent Uranium ppm		Fluorimétrie ppm	A/F	
		Plaques nucléaires	Scintillation					
H ₁	Granite apparemment sain. 20m. Ouest du filon.	3,23	7,7	23,3	55,5	5,5	4,2	11
H ₃	Granite encaissant le filon	16,22	23,6	117	170	90	1,3	1,9
H ₆	Vanadinite en filonnet sur un nodule	80		435		570		0,76
H ₁₁	Vanadinite isolée par triage	104,5		590		840		0,7

En considérant le tableau, on se rend compte aisément qu'un déséquilibre existe dans les deux sens, c'est-à-dire, soit déficit en Uranium (ou gain en Radium) soit déficit en Radium (ou gain en Uranium). La signification de ce double déséquilibre sera dégagée un peu plus loin.

1-b) Répartition des éléments radioactifs.

L'observation des autoradiographies de lames minces du granite permet de constater que l'activité α est concentrée au niveau des biotites chloritisées et des oxydes de fer. Les interstices entre les minéraux montrent également une certaine concentration d' α .

Quant aux minéraux (nodules de galène emballés par la vanadinite), les autoradiographies montrent une activité α concentrée surtout au niveau du minéral vanadifère et non dans les autres portions des nodules (Pl. XIX fig. 3 et 4).

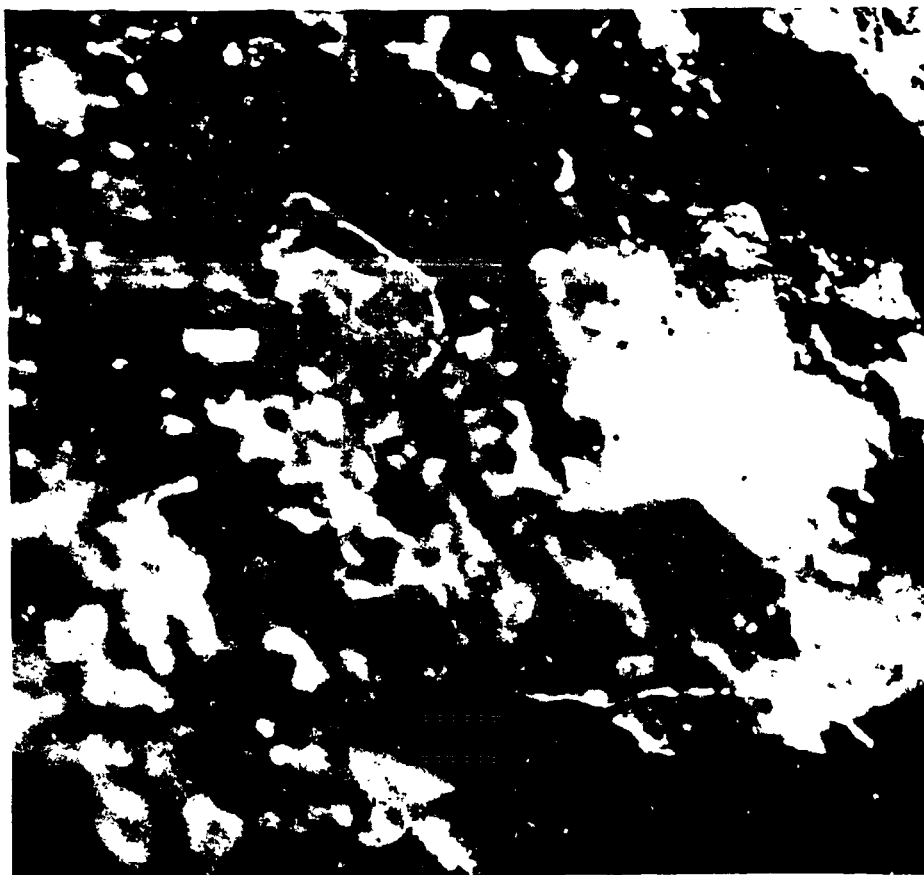
Fig. 1 - Cristaux tabulaires de chalcopite (travers banc du prieuré d'Hérival). $\times 25$.

Fig. 2 - Cristal de chalcopite avec sommet tronqué. (Travers banc du prieuré d'Hérival) $\times 25$.

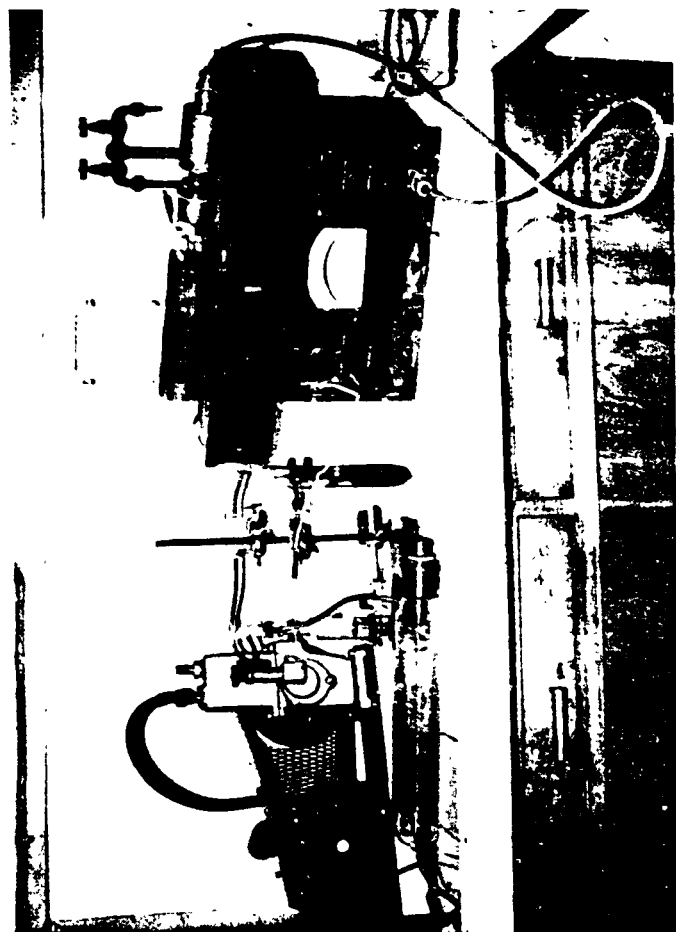
Fig. 3 - Electroscope Chèneveau-Laborde avec la chambre d'ionisation de trois litres.

Fig. 4 - Montage d'utilisation au laboratoire de l'électroscope Chèneveau-Laborde.

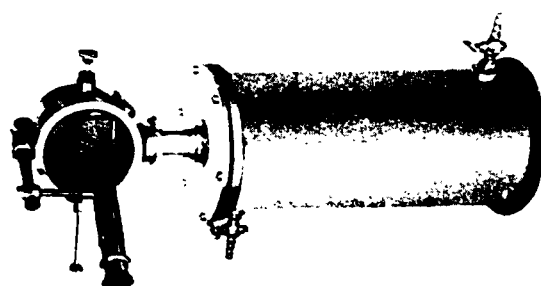
Fig. 5 - Chambre d'ionisation type C.E.A. et l'amplificateur à courant continu ACC₂ .



2



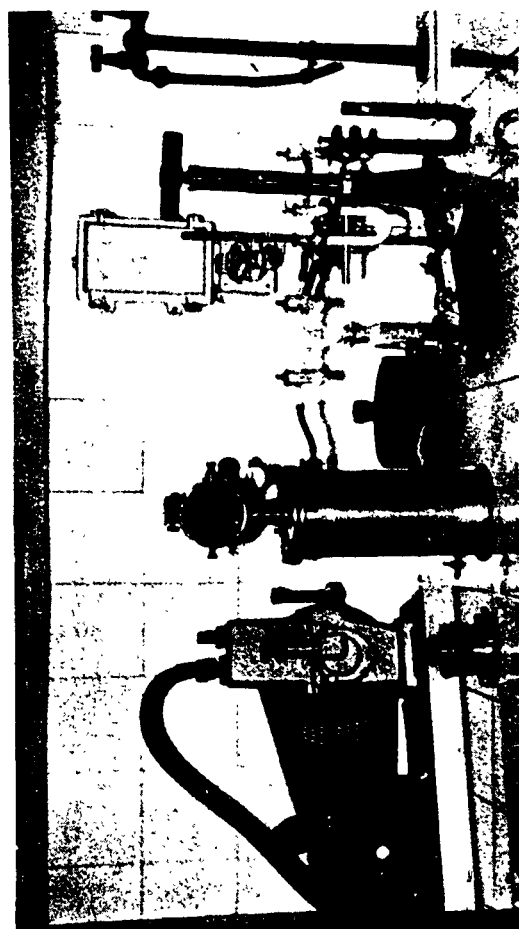
5



3



1



4

La densité des traces α permet de reconnaître le trajet des filonnets de vanadinite (Pl. XIX, fig. 4). Ces minéraux ne sont pas fluorescents en lumière ultra-violette.

1-c) Essai d'interprétation.

En considérant les chiffres concernant le premier échantillon du tableau (H_1), on est tenté de penser que ce granite pourrait être particulièrement thorifère. Si cela était, le rapport Th/U serait voisin de 11,5 et correspondrait à une teneur en Thorium de 62 ppm environ. Ce Thorium aurait une activité γ équivalente à 31 ppm d'Uranium. Le granite aurait donc une activité γ voisine de 40-42 c/s AVP (cf. p. 103) ; c'est-à-dire, avec un mouvement propre de 20 c/s AVP, une activité γ brute de 60 c/s. Or, l'activité γ mesurée sur le granite oscille de 40 à 45 c/s, la participation du potassium étant d'environ 6 c/s. Il est donc nécessaire d'admettre que l'écart d'activité γ est bien dû aux éléments de la fin de la famille de l'Uranium. Cette explication semble se justifier si l'on considère les chiffres relatifs au second échantillon (H_2).

Si le déficit d'Uranium (ou le gain de radium) est démontré pour les premiers échantillons, il semble en être tout autrement pour les derniers, où manifestement l'Uranium est en excès à moins qu'il y ait déficit de Radium).

Il est possible qu'il s'agisse du même phénomène que celui décrit à propos du filon de quartz -des Trémeures (p. 202).

Une hypothèse génétique élaborée à partir de ces faits peut être proposée :

Il semble que le transport de l'Uranium se fasse à l'état d'ion uranyle. La preuve en est : quartz noir et enfumé, fluorine violette. De plus, le milieu sulfuré est situé dans la zone d'oxydation. Il peut donc y avoir libération d'ions SO_4^{--} . Ces ions peuvent réagir sur les minéraux hôtes de l'Uranium : biotites, minéraux microscopiques des granites. L'uranium migre alors à l'état de sulfate d'uranyle alors que le sulfate de radium (radium provenant des minéraux uranifères), insoluble, demeure sur place par précipitation. Les ions SO_4^{--} agissant sur la biotite provoquent la libération du vanadium. En milieu oxydé, l'augmentation de la valence permet la formation d'ions V_2O_5 . Ces ions peuvent alors rentrer à leur tour, par le jeu d'une double réaction, dans un complexe minéral. Cette hypothèse permet donc d'expliquer d'une part, le déficit en uranium (ou le gain en radium) et, d'autre part, le gain en Uranium d'autres échantillons.

Une autre hypothèse est également plausible et établit une liaison avec la vanadinite : pour ce gisement, Durand (1957) montre le rôle important d'une action simultanée des constituants des argiles et des acides humiques. Or, à la conférence de Genève, en 1958, Szalay A. et Vine J. D. et al. prouvent le rôle important que jouent les acides humiques dans la géochimie de l'Uranium. S'il en est ainsi dans le filon de vanadinite d'Hérival, un même processus géochimique explique la genèse de cette "vanadinite uranifère".

Mais, il a été possible de recueillir un minéral d'uranium. Il a été récolté sur la paroi Ouest du travers banc, à environ 15 mètres de l'entrée.

Il s'agit d'amas de cristaux bien formés et clivables, tapissant un petit filon de quartz recoupant le filon principal. Des tablettes quadratiques aplaties suivant (001) avec biseau (101) ont été observées. Ces tablettes ont les sommets tronqués.

La couleur des cristaux est le plus fréquemment vert foncé, avec quelquefois des cristaux vert pâle.

Ce minéral n'est pas fluorescent en lumière ultra-violet. Il présente nettement les réactions de l'Uranium, du cuivre et de l'ion phosphate.

Ces caractères permettent donc d'identifier ce minéral comme étant la chalcocite. (Pl. XX, fig. 1 et 2).

2-2) Gisement de fluorine de St-Bresson-Rovillers.

Les échantillons de fluorine de ce gisement renferment des géodes tapissées par des cristaux de fluorine noire autozonitique, et des cristaux de vanadinite (1), de pyromorphite, de cérusite, etc...

La vanadinite s'est également révélée uranifère, bien qu'aucune activité γ correspondant aux teneurs non négligeables d'Uranium n'ait été décelée. Trop peu d'échantillons ont été recueillis, mais

(1) La présence de vanadinite avait déjà été signalée par Longchambon en 1935. (Documents inédits du Service des Mines de Belfort).

les plus caractéristiques ont permis de déterminer fluorimétriquement, respectivement 1008 et 1190×10^{-6} g/g, tandis que la radiométrie donnait un équivalent uranium de 750 et 850×10^{-6} g/g.

Ici, également, le déséquilibre est manifeste et les teneurs en Uranium très élevées.

2-3) Conclusion.

Il existe une liaison Vanadium-Uranium dans les minéraux supergènes du plomb, dans les Vosges méridionales. Ce fait semble banal, puisque des teneurs de l'ordre de 0,12 % d' U_3O_8 ont été déterminées dans la vanadinite de Souleiman Safsky (Kazakstan) : Thiébaud L. (1928) et Kirikov A. (1928) cite des teneurs de 0,06 % U_3O_8 dans le minerai de vanadium du Kuzgun.

Mais il importe de noter qu'il était admis jusqu'à présent que les minéralisations supergènes du Vanadium ne pouvaient se former qu'en climat semi-désertique. Cette genèse est plus générale puisque la présence de l'Uranium en déséquilibre prouve une formation actuelle des minéraux dans un climat tempéré humide.

3) Région du Ballon de Servance.

Pour achever cette étude des cas de déséquilibre de la famille Uranium, il faut faire état d'un certain nombre d'observations réalisées sur différents échantillons de roches granitoïdes (granite porphyroïde à amphibole). Le tableau suivant a permis de rassembler tous ces résultats :

Tableau 63

Teneur en Uranium et Radiométrie α de roches granitoïdes
de la région du Ballon de Servance.

N° d'ordre	Localisation géographique	Activité $10^{-3}\alpha/\text{cm}^2/\text{s}$	Equivalent Uranium (A)	Fluorimétrie (F)	A/F
416-122	416 040-122 060 Lambert	0,985	7	14,5	0,48
416-128	415 920-127 920 Lambert	0,848	6	10,30	0,58
418-121	418 020-120 810 Lambert	0,77	5,5	10,25	0,54
421-120	421 020-120 040 Lambert	0,632	4,5	14,3	0,31
425-114	424 940-114 100 Lambert	1,192	8,5	16,5	0,51
426-116	426 320-116 000 Lambert	3,118	22	84	0,38
426-117	426 360-116 880 Lambert	2,372	17	24	0,71
430-116	430 060-116 020 Lambert	1,420	10	20	0,5

En parcourant ces chiffres, il est aisé de remarquer que le déséquilibre est certain (d'autant plus que le Thorium est présent dans ces roches granitoïdes). Mais il n'est pas sans intérêt de noter que, c'est précisément dans l'aire de répartition géographique de ces échantillons, qu'ont été découvertes des migrations actuelles d'Uranium dans les eaux superficielles (cf. p. 220).

Une hypothèse génétique quant à ces migrations actuelles d'uranium et à leur déséquilibre est proposée (p. 179).

4) Conclusion.

Des concentrations d'uranium (concentration au sens géochimique, c'est-à-dire, abondance très élevée par rapport au "clarke" de la région), ont été mises en évidence. Elles sont différentes de celles connues par les travaux antérieurs. Ces localisations sont liées à des minéralisations de manganèse.

Un certain nombre de cas de déséquilibre a été observé par ailleurs. Ce déséquilibre peut se faire au bénéfice soit de la tête, soit de la fin de la famille uranium.

Ultérieurement, nous espérons tirer parti de ces déséquilibres, afin de déterminer l'âge de ces minéraux uranifères. En effet, par étude radiométrique, les rapports des teneurs $\frac{\text{Pa } 231}{\text{U}}$, $\frac{\text{Th } 230}{\text{U}}$, $\frac{\text{Ra } 226}{\text{U}}$, peuvent être formés et permettent d'évaluer l'âge du minéral. Par exemple, il peut être déjà affirmé que la minéralisation de Bains-les-Bains a un âge inférieur à 20 000 années.

V - CONCLUSIONS GENERALES.

Il a été possible de mettre en évidence des teneurs élevées en Uranium et en Thorium dans les roches granitoïdes dans le secteur étudié. Ces teneurs sont significativement plus élevées dans le granite à amphibole que dans le granite gris porphyroïde.

Les minéraux hôtes de l'Uranium et du Thorium sont surtout les minéraux accessoires. Les teneurs en uranium et en thorium de ces minéraux sont variables et les rapports Th/U sont les suivants : zircon : $\approx 0,5$, monazite : ≈ 20 , sphène : ≈ 2 , épidote : ≈ 5 , apatite : ≈ 1 , oxydes de fer et pyrite: ∞ . Mais ils sont entachés d'une certaine erreur du fait de leur variation en fonction de la taille des cristaux. Le rapport Th/U croît lorsque la taille des cristaux diminue.

Il a été observé également une constante association des minéraux magnésiens et calciques (biotite et amphibole) avec les minéraux hôtes de l'Uranium et du Thorium (plus spécialement le sphène). Cette association a été confirmée par une corrélation positive des teneurs en calcium et magnésium et les teneurs en uranium (et en thorium).

L'Uranium et le Thorium seraient camouflés dans les structures cristallines expliquant ainsi la forte activité γ et la rareté de gisements uranifères exploitables.

Quelques rares concentrations de l'ordre de 150 à 200 ppm existent dans des minéralisations manganésifères. En général, la silice non cristallisée est uranifère. Les minerais de manganèse uranifères sont ceux qui, également, ne sont pas nettement cristallisés.

Enfin, les cas de déséquilibre de la famille Uranium sont nombreux.

L'un des plus remarquables est celui du sondage de Bains-les-Bains, où seul l'Uranium est présent et l'isotope U_I n'est pas en équilibre. Or, ce point présente tous les caractères paragénetiques des gisements épithermaux. Ces observations sont alors d'un intérêt métallogénique certain.

D'autres cas de déséquilibre ont été encore observés : il s'agit, la plupart du temps, de minéraux supergènes du plomb, pyromorphite, vanadinite, qui peuvent être soit radifères, soit uranifères. En tous cas le déséquilibre est démontré.

Enfin, quelques localisations d'uranium ont été rencontrées dans les roches granitoïdes du Balon de Servance. Il semble bien qu'ici aussi nous soyons en présence de migrations et de concentrations actuelles d'uranium.

CHAPITRE IV

RECHERCHES SUR LA TENEUR EN URANIUM, RADON ET RADIUM DANS LES EAUX DU SECTEUR ÉTUDIÉ

Ces recherches ont pour but de mettre en évidence l'existence d'un lien entre la radioactivité des roches et le transport de l'Uranium et du Radon. A priori, on peut penser qu'un tel transport ait lieu, cependant, jusqu'à présent, il n'y avait pas eu de travail exécuté à l'échelle d'une région, simultanément conduit avec l'étude de la radioactivité des roches.

I - TENEURS EN URANIUM.

1) But poursuivi.

Recueillir le plus grand nombre d'informations possible sur les teneurs en Uranium des eaux du secteur. Ceci pour deux raisons : l'une, du fait de la reconnaissance d'Uranium en déséquilibre (afin de tenter de mettre en évidence l'origine de l'Uranium), l'autre, du fait que les eaux thermales ont fait l'objet d'investigations sur la radioactivité due au Radon, sans que jamais il n'ait été fait d'études semblables sur l'Uranium. Enfin, les résultats obtenus doivent être comparés dans ces cas particuliers à ceux obtenus sur des eaux recueillies partout dans le secteur d'étude.

Les teneurs en Uranium dans les eaux sont faibles. D'après Nakanishi (1950-1952) l'eau de mer en contient environ $2,8 \mu\text{g}$ par litre - Hoffmann (1940-1941-1942) pour des eaux douces, donne les valeurs de $1,6$ à $470 \times 10^{-10} \text{ g/cm}^3$ alors qu'Holland et Kulp : $0,9$ à $11 \times 10^{-10} \text{ g/cm}^3$. Ces valeurs inaccessibles directement par l'analyse contraignent à une concentration. Elle peut s'accomplir par évaporation de l'eau dans des capsules de platine ou d'acier inoxydable, sous un "épiradiateur" à Infra-Rouge (il est bon d'éviter le Pyrex et la porcelaine, certaines eaux contenant du fluor qui attaque les silicates), ou bien en faisant percoler l'eau sur des résines échangeuses d'ions.

2) Technique d'analyse :

2-1) Evaporation.

a) Mode opératoire :

Un volume connu d'eau (500 cm^3) acidifiée par l'acide nitrique (2 cm^3 de $\text{NO}_3 \text{ H}$ concentré par litre) au moment du prélèvement est mis dans une capsule de platine de 275 cm^3 . Cette capsule est placée sur un appareil de chauffage et un "épiradiateur" de 300 W hâte l'évaporation. L'eau est ajoutée au fur et à mesure de la concentration.

Le résidu sec est repris par le minimum d'acide nitrique 5N . Cette solution nitrique subit ensuite les mêmes opérations que la solution nitrique des roches (p.119) ; c'est-à-dire : extraction au tributyl-phosphate, extraction au carbonate d'ammonium à 20% puis fluorimétrie.

b) Résultats.

Cette technique a donné d'excellents résultats. Le tableau suivant en illustre le bon rendement.

Cependant, si le rendement est bon, cette méthode est très lente. En effet, les essais sont effectués en utilisant deux capsules de platine et l'évaporation de 500 cm^3 d'eau dure environ 2 heures 30 minutes. Utilisée quelquefois en guise de contrôle, cette méthode a été assez rapidement abandonnée au profit de la séparation par résines échangeuses d'ions.

Tableau 64

Etude du taux de récupération de l'Uranium des eaux par évaporation.

Essai	Uranium ajouté	Uranium récupéré	Rendement
Eau distillée	7,5 γ /100 cm^3	7,2 γ	96 %
Eau distillée	10 γ /100 cm^3	9,8 γ	98 %
Eau distillée	1 γ /100 cm^3	1 γ	100 %
Eau de Moselle	7,5 γ /100 cm^3	7 γ	93 %
Eau de Moselle	10 γ /100 cm^3	9,7 γ	97 %
Eau de Moselle	1 γ /100 cm^3	0,9 γ	90 %

2-2) Utilisation de résines échangeuses d'ions.

Ce sont surtout les travaux de Day et al (1954) qui ont guidé les recherches vers cette technique reprise un peu plus tard par Ostle. (1954)

a) Préparation (*)

Les résines employées sont les Amberlites IR 120 et IRA 400. La première est échangeuse de cations à caractéristique d'acide sulfonique, la seconde échangeuse d'anions à caractéristique d'ammonium quaternaire.

Avant leur utilisation, ces résines ont subi les préparations suivantes :

1) Résine acide (**).

L'amberlite IR 120 est employée soit, sous sa forme H , soit sous sa forme NH_4^+ .

La résine est placée dans un récipient avec 10 fois son équivalent en volume (densité de la résine IR 120 = 0,75 g/cm^3) d'acide chlorhydrique 6N. La résine est agitée pendant 5 minutes avec une baguette en verre ; puis lavée avec 2 fois l'équivalent en volume d'eau distillée. L'opération acide-lavage est répétée 2 fois. Un rinçage est alors effectué avec 10 fois l'équivalent en volume d'eau distillée. La forme H^+ de la résine est ainsi obtenue. Cette forme est le plus souvent utilisée.

Quelquefois cependant nous avons utilisé la forme NH_4^+ . Il faut traiter la forme H , par 10 fois l'équivalent en volume d'une solution de chlorure d'ammonium à 20 % contenant 10 % d'ammoniaque.

2) Résine basique.

La résine IRA 400 est placée dans 10 fois l'équivalent en volume d'une solution de soude 6N. Un rinçage à l'eau distillée est suivi d'un traitement par 5 fois l'équivalent en volume d'une solution de chlorure de sodium à 20%, un nouveau passage dans l'eau distillée est suivi d'un bain dans la solution de soude 6N. Un dernier lavage est effectué, la résine est obtenue sous sa forme OH .

b) Utilisation.

La résine est placée dans un tube de verre de 10 mm de diamètre intérieur et de 130 mm de long. La partie inférieure est étirée. Une petite boule de papier filtre retient les grains dans cette partie effilée. Un disque de papier filtre les arrête à la partie supérieure. Le poids de résine est de l'ordre de 7 grammes. Ainsi préparés, les tubes seront maintenus dans un endroit frais et la résine devra en tous cas demeurer humide.

Sur le terrain, les tubes seront adaptés à des entonnoirs de polyéthylène de 500 cm^3 de capacité. Une pince de Mohr règle le débit de telle sorte que 250 cm^3 d'eau passe en 1 heure sur la colonne de résine. Le taux d'extraction est proportionnel à la concentration en ion Uranium dans

Coprécipitation -

La précipitation des traces d'Uranium à l'état de phosphate d'uranyle a été utilisée. Le phosphate d'alumine joue le rôle d'entraîneur suivant la technique de Grimaldi, May et Fletcher (1953). La concentration des traces est suivie d'une extraction à l'écétate d'éthyle. Aux faibles teneurs (10 μg d'Uranium par litre) le rendement de l'extraction est bon = 92 % environ. Cette méthode très lente a été abandonnée.

(*) Les travaux de Day et al. (1954) montrent le peu d'importance que l'on peut attacher à la préparation de la résine échangeuse d'ions.

Ostle lave la résine (IRA 400) dans une solution de soude diluée puis rince à l'eau distillée.

(**) Ont la même fonction respectivement : les résines Dowex 30 et 50, Duolite C_1 et C_2 ACFI - CP. Permutite ZEO Rex ; Q (acides) et Dowex N° 1 et 2 Duolite A_2 , A_3 , ACFI - ADMB et Permutite De Acidite (basiques).

l'eau, mais dans les teneurs rencontrées on obtient aisément un pourcentage comparable si la colonne de résine est suffisamment longue et le temps de circulation de l'eau sensiblement le même.

1) Contrôle de la fixation de l'Uranium.

Le contrôle de la fixation de l'Uranium et la recherche des inhibiteurs sont effectués. Les résultats se groupent dans le tableau 65 (résine IR 120).

Tableau 65

Etude du taux de récupération de l'Uranium des eaux à l'aide de résines échangeuses d'ions.

Essais:Quantité d'Uranium ajoutée	Calcination de résine	Reprise nitrique des cendres	Extraction au Tributylphosphate	Reprise au carbonate	Uranium récupéré	Rendement
Eau distillée 75 γ/100cm ³	+	+	-	-	70 γ /100cm ³	93%
Eau distillée 10 γ/100cm ³	+	+	-	-	10 γ /100cm ³	100%
Eau distillée 100 γ/100cm ³	+	+	-	-	98 γ /100cm ³	98%
Eau distillée 1 γ/100 cm ³	+	+	-	-	0,95 γ/100cm ³	95%
Eau de Moselle 7,5 γ/100cm ³	+	+	-	-	4 γ/100cm ³	53% Inhibition
Eau de Moselle 100 γ/100cm ³	+	+	-	-	43,7 γ/100cm ³	44% Inhibition
Eau de Moselle 10 γ/100cm ³	+	+	+	+	9 γ/100cm ³	90%
Eau de Moselle 1 γ/100cm ³	+	+	+	+	0,9 γ/100cm ³	90%
Eau de Moselle 10 γ/100cm ³	+	+	+	+	9,2 γ/100cm ³	92%
+ : opération exécutée ; - : opération non exécutée.						

Les résultats après extraction au tributylphosphate sont donc plus faibles que par évaporation. Ils peuvent être affectés d'un coefficient $\frac{10}{9}$.

La comparaison entre les différentes techniques a été également effectuée.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau 66.

Tableau 66

Comparaison des résultats obtenus au cours de dosage d'Uranium par diverses techniques sur des eaux naturelles.

Essais sur des eaux naturelles	IR 120 (cationiques)	IRA 400 (anioniques)	Evaporation
1	7,72 γ /litre	7 γ/litre	7,68 γ/litre
2	3,46 γ /litre	3,06 γ/litre	4,44 γ/litre
3	5,2 γ /litre	7,2 γ/litre	4,48 γ/litre
4	6,2 γ /litre	6,32 γ/litre	7,6 γ/litre
5	7,04 γ /litre	6,12 γ/litre	7,2 γ/litre

On peut sur ce petit nombre d'analyses appliquer le test de Student-Fischer (p.125). Les différences observées ne sont pas significatives et entraînent une concordance à moins de 10 %.

Résultats.

Les résultats obtenus au cours de l'étude sont séparés en groupes correspondant aux diverses conditions de gisement. Ces groupes seront les suivants :

1) Sources à température ambiante avec distinction entre sources des grès et sources du massif cristallin.

2) Les sources thermales.

3) Rivières et ruisseaux.

4) Etangs.

1) Sources.

a) Sources des grès du Trias inférieur et du Permien.

Les 64 résultats obtenus (p.308) permettent de dresser le tableau de répartition suivant :

Tableau 67

Distribution des teneurs en Uranium des eaux de sources issues du Trias inférieur et du permien.

Classe Teneur en 10^{-6} g/l	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée
0,2	10	-	-
0,4	5	7,8	84,7
0,6	8	12,5	76,9
0,8	19	30	64,4
1	11	17,2	34,4
1,2	6	9,4	17,2
	5	7,8	7,8
	64	100	

La distribution de ces valeurs correspond à une distribution arithmético-gaussienne. La droite obtenue permet de calculer graphiquement la moyenne. Elle se situe à $0,65 \times 10^{-6}$ g/l ; l'écart-type est de 1,1. Il semble donc que la distribution des teneurs en Uranium dans les eaux des grès se fasse suivant une loi normale.

b) Sources en massif cristallin.

Une trentaine de résultats a été recueillie. Ils sont beaucoup plus dispersés et leur nombre trop peu important pour être étudié par les moyens de la statistique. De toute façon, il n'est guère possible d'ajuster la distribution des teneurs, ni à la loi normale, ni à la loi logarithmique normale.

Ceci ne doit pas nous surprendre, si l'on considère les gisements des eaux étudiées. En effet, sont rassemblées dans le tableau 68 (p.216) les teneurs en Uranium d'eau de source d'un massif cristallin où des minéralisations uranifères sont connues. Les teneurs en Uranium des eaux provenant des aires où ces points sont connus tranchent nettement sur leurs voisins. Par exemple, les eaux recueillies, dans le secteur d'Hérival (Val d'Ajol) ainsi que les eaux du secteur de Château-Lambert, montrent des teneurs élevées de l'ordre de 3 à 12×10^{-6} g/l. Ces eaux proviennent soit des travers bancs de recherches soit de sources voisines.

Il semble nécessaire d'attirer l'attention sur le fait que les précipitations météoriques de longue durée tendent à effacer les anomalies de teneurs par dilution. Ainsi, deux prélèvements exécutés dans le travers banc de Château-Lambert ont donné respectivement $12,2$ et $2,25 \mu$ g/l. Le premier a été exécuté pendant la période de beau temps ; le second après une durée de trois semaines de pluies continues.

2) Eaux thermales.

Nous avons vu dans les pages précédentes combien ces eaux ont fait l'objet de recherches sur leur "radioactivité". Cependant, dans tous les travaux antérieurs ne figurent pas d'étude sur les teneurs en Uranium. Celles concernant les eaux thermales rencontrées dans l'aire étudiée sont rassemblées (p.). Nous y avons joint aux fins de comparaison les résultats obtenus sur les eaux de Bourbonne (Hte-Marne).

a) Bains-les-Bains.

Les teneurs en Uranium des eaux thermales de cette localité sont élevées. Elles atteignent $7 \mu\text{g/l}$ en moyenne. Ces eaux uranifères ont pu jouer un rôle important dans la localisation d'Uranium non en équilibre. Nous rapprochons de ces teneurs celles observées à Chateldon (source de la Montagne). Rappelons que ces eaux semblent avoir joué un rôle primordial dans la mise en place des phosphates uranifères et plombifères - paronsite de Lachaux (Moreau et Poughon 1955).

b) Plombières.

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux ont été décrites antérieurement et il est nécessaire de dissocier les eaux provenant de la galerie des Savonneuses, susceptibles d'être mêlées à des eaux de surface, des eaux thermales proprement dites.

Les teneurs en Uranium sont plus faibles qu'à Bains-les-Bains et les teneurs atteignent au maximum $3,5 \mu\text{g/l}$ pour les eaux thermales. Elles sont du même ordre de grandeur pour les eaux tempérées de la galerie des Savonneuses, mais on assiste à une augmentation de la teneur en fonction de la température. Ce phénomène serait dû au fait que la dilution par les eaux de surface est moins importante pour les eaux les plus chaudes.

c) Luxeuil-les-Bains.

Les conditions de gisement sont décrites antérieurement (p. 66). Comme pour les eaux de Plombières, il est nécessaire de considérer d'une part les eaux thermales, d'autre part, les eaux tempérées.

La teneur en Uranium des eaux thermales est de l'ordre de $4 \mu\text{g/l}$. Celle des eaux tempérées est du même ordre, sauf les teneurs plus faibles des sources dites "Ferrugineuses" ; or, ces dernières sont issues des grès.

d) Bourbonne-les-Bains.

Les teneurs en Uranium sont plus faibles que pour les eaux thermales des autres localités des Vosges. De l'ordre de 2 à $3 \mu\text{g/l}$, elles varient très peu d'un sondage à un autre.

e) Comparaison avec des faits connus.

Le précédent exposé fait apparaître clairement les valeurs élevées déterminées dans les eaux de Bains-les-Bains : Une localisation d'uranium se produit dans ce lieu dans les conditions similaires à celle d'un gîte épithermal (p.189).

Dès lors se pose une question :

Des teneurs du même ordre ont-elles été rencontrées ailleurs ?

En France, les analyses sont encore trop peu nombreuses pour tenter une comparaison. La source de la Montagne à Chateldon a été signalée. Il importe de citer encore la source de St Aré à Decize où la teneur serait de $19 \mu\text{g/l}$. Les diverses eaux de Vichy ont une teneur de $0,1 \mu\text{g/l}$. teneur que révèlent d'ailleurs d'autres eaux minérales = Pougues, St Honoré, Bourbon-Lancy, St Léger (Saône et Loire), La Preste (Pyrénées Orientales). (Documentation inédite - Commissariat à l'Energie Atomique).

D'autres sources verraient leur teneur se situer entre 0,5 et $0,9 \mu\text{g/l}$ (Contrexéville, Vittel...). Il n'apparaît donc guère de point de comparaison entre ces eaux minérales ou thermales d'origine géologique d'ailleurs différente.

C'est l'Europe Centrale qui donnera les exemples les plus frappants d'eaux thermales uranifères. Hoffmann (1939 - 1940 - 1941) a obtenu les teneurs suivantes :

Tableau 68

Teneur en Uranium de diverses eaux thermales d'Europe Centrale
d'après Hoffmann.

Lieux	Sources	Température	Teneur en $\mu\text{g/l}$
Franzensbad (Frantiskovy Lázně) (Tchécoslovaquie)	Dr Cartelliéri	11° 6	48
Prosauer	Sauerbrunn		16
Karlsbad (Karlovy-Vary) (Tchécoslovaquie)	{ Sprudel Mühlbrunn	70° 52° 2	10 12
Baden Wien (Autriche)	Marie	35°	3,76
Teplitz	Schöna	45°	0,4

Les teneurs sont particulièrement élevées pour les trois premières localités. Hoffmann (1941) voit une liaison avec un filon de quartz (Pfahlquartz) situé entre les deux fractures thermales de direction N.O. passant par Franzensbad (Frantiskovy Lázně) et Karlsbad (Karlovy-Vary).

Une comparaison fructueuse pourrait être établie avec les eaux thermales de Forêt Noire, mais jusqu'à présent les teneurs en Uranium des eaux thermales n'ont pas fait l'objet d'investigations poussées. Les teneurs en Uranium des eaux sont peut-être déterminées mais non publiées. Les seuls renseignements connus à l'heure actuelle concernent les teneurs en Uranium des sédiments des eaux thermales. (Kircheimer F. 1959).

Encore en Europe, signalons enfin les concrétions calcaires (provenant de Chroococcales : Algues bleues) contenant jusqu'à 1000 $\mu\text{g/g}$ d'Uranium en total déséquilibre rencontrées dans les eaux thermales de Badgastein (Autriche). Malheureusement, les teneurs en Uranium de ces eaux thermales ne sont pas connues. (Scheminzky F. - Grabherr W. 1951 - J. Rulling - F. Scheminzky 1950).

La littérature hors d'Europe n'apporte guère de données. Fix (1955) cite dans la Montana U.S.A. une source thermale contenant 7 μg d'Uranium par litre. Rien n'est explicité quant à la géologie ou aux minéralisations d'alentour.

Au terme de cette brève revue, il importe donc de noter à Bains-les-Bains une localisation d'Uranium en total déséquilibre et un transport actuel d'Uranium par l'eau thermale en quantité non négligeable. (1)

3) Teneurs en Uranium des rivières et des ruisseaux.

Cette étude a été effectuée dans l'espoir de tirer quelques renseignements sur la dispersion dans les eaux de surface et d'établir une comparaison avec les résultats des eaux de sources. Au total, 75 prélèvements ont été exécutés sur les rivières et les ruisseaux qui circulent tous sur les roches granitoïdes.

Ces résultats obtenus ont permis de dresser le tableau de distribution suivant des classes logarithmiques. (tableau 69).

La distribution des teneurs dans les classes arithmétiques ne permet pas un bon ajustement à la loi normale. Une cassure se manifeste pour la classe correspondant à 20 % (fig. 51 et 52).

(1) Le débit moyen est d'environ 680 m³/jour. Si ce débit était le même pendant 2000 ans, la quantité d'Uranium transporté correspondrait à 3,4 tonnes de métal.

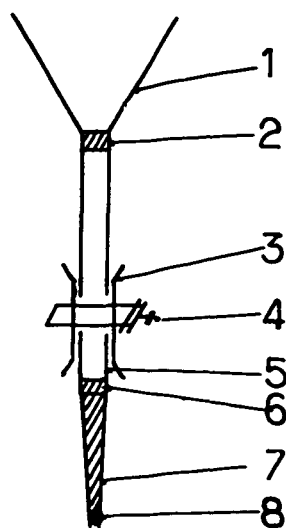


Fig. 49 - Dispositif de percolation des eaux sur résines échangeuses d'ions.

- 1 - Entonnoir de 500 cm³ de capacité
- 2 - Filtre
- 3 - Raccord de caoutchouc
- 4 - Pince de Mohr
- 5 - Tube de verre
- 6 - Tampon de laine de verre
- 7 - Résine échangeuse d'ion
- 8 - Tampon de laine de verre

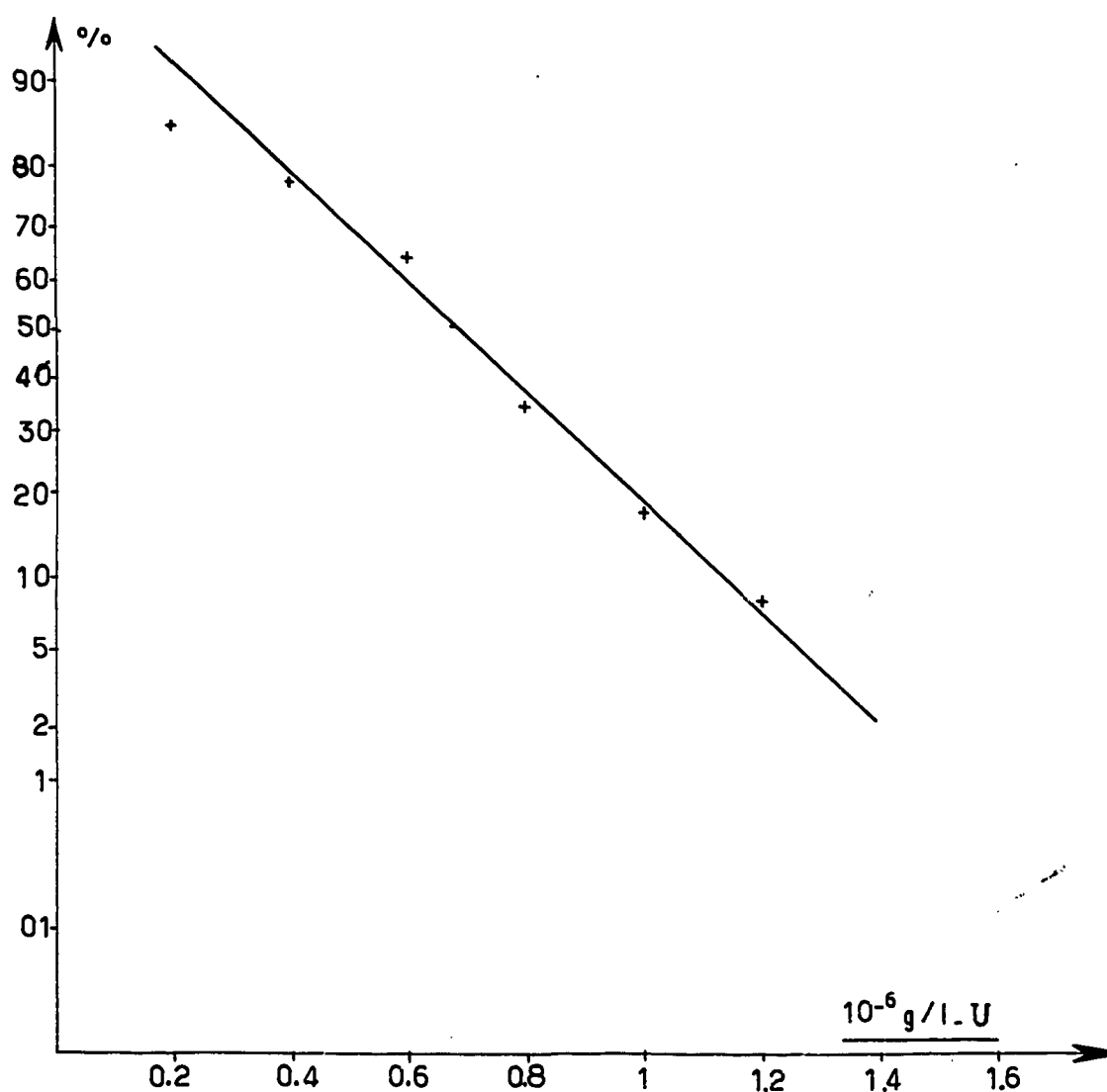


Fig. 50 - Ajustement graphique à la loi arithmétique normale des teneurs en Uranium des eaux des grès.

Tableau 69

Distribution des teneurs en Uranium de l'eau des rivières et
des ruisseaux des Vosges

Teneur en 10^{-6} g/l	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée	Fréquence cumulée X 100
0,16	7	9,3	-	-
0,2	-	-	-	-
0,25	1	1,33	90,46	9046
0,32	1	1,33	89,13	8913
0,4	-	-	-	-
0,5	3	4	87,80	8780
0,63	14	18,7	83,80	8380
0,8	10	13,3	65,10	6510
1	7	9,3	51,80	5180
1,26	15	20	42,56	4256
1,6	3	4	22,56	2256
2	1	1,33	18,56	1856
2,5	3	4	17,23	1723
3,2	1	1,33	13,23	1323
4	3	4	11,9	1190
5	1	1,33	7,98	798
	5	6,65	6,65	665
	75	100		

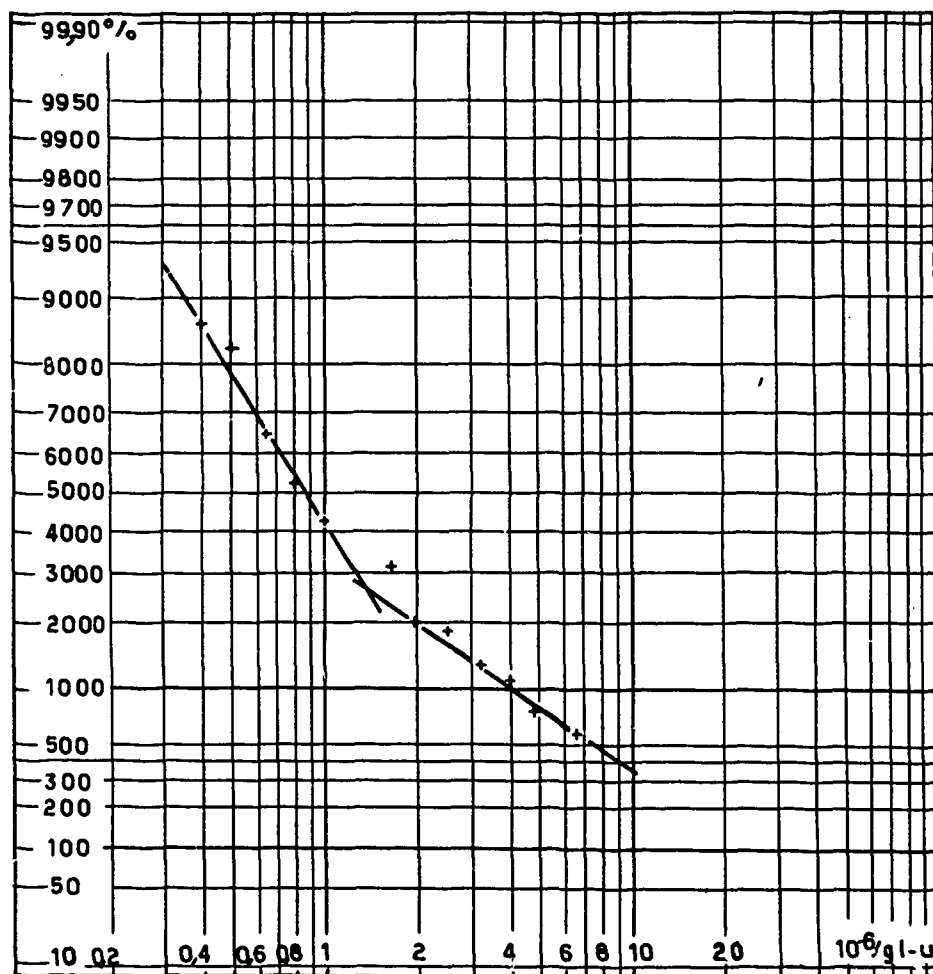


Fig. 51 - Tentative d'ajustement à la loi logarithmique normale de la distribution des teneurs en Uranium des rivières et ruisseaux des Vosges méridionales. Une cassure se marque pour 25% de la population.

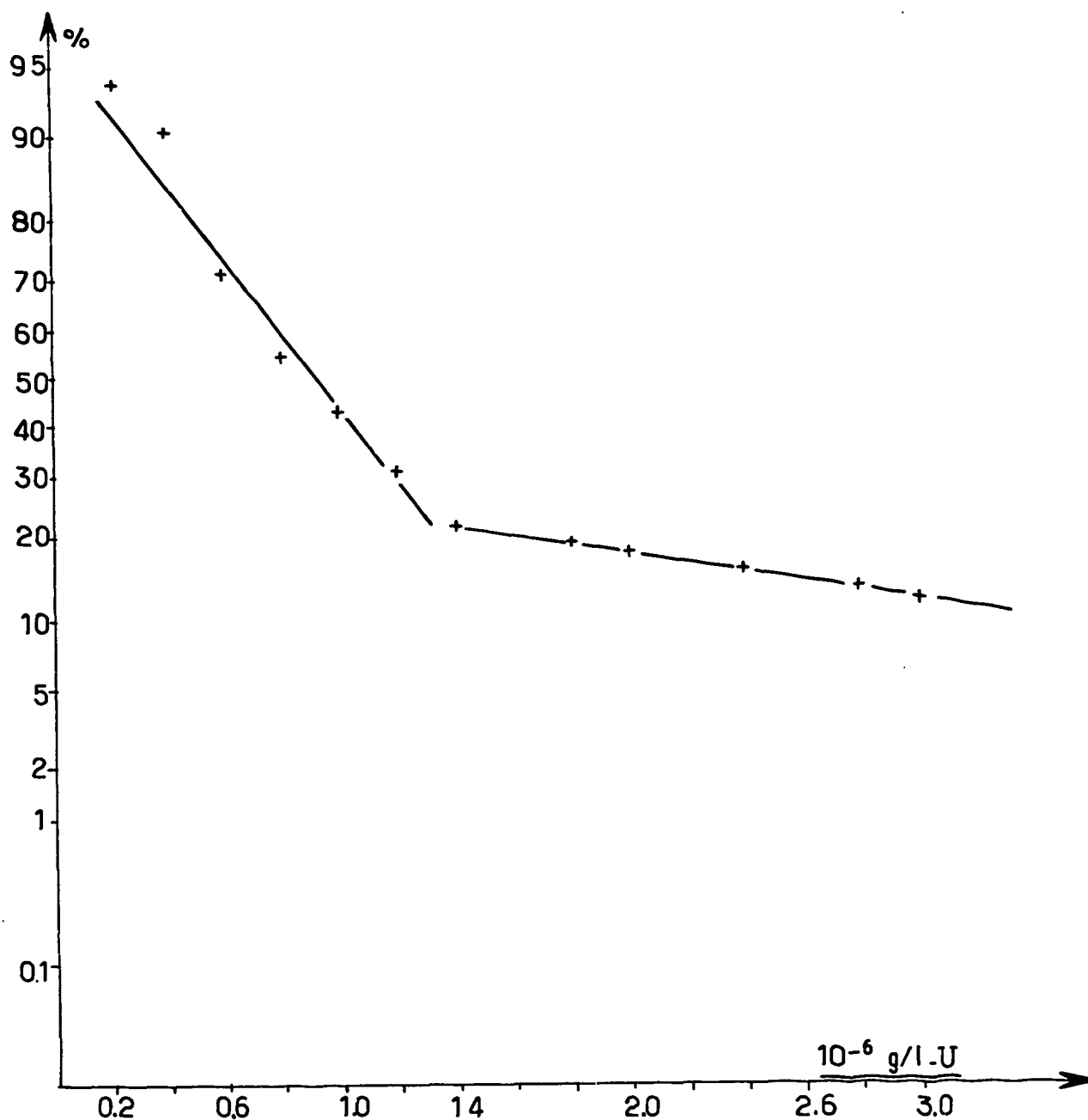


Fig. 52 - Ajustement graphique à la loi arithmétique normale des teneurs en Uranium, des rivières et ruisseaux.

Les valeurs élevées de la seconde distribution sont géographiquement les suivantes :

	<u>$\mu \text{ g/l}$</u>
- Aval de Bains-les-Bains (Baignerot)	2,9
- Ruiscelet à 60m à l'Est du Travers Banc d'Hérival	4,5
- Ruisseau de Méreille	3,96
- Ruisseau des Chazeaux 200m au Sud de l'ancien tunnel du chemin de fer d'intérêt local (Lure au Thillot)	3,25
- Ruisseau de Château-Lambert	3,5

	<u>μ g/l</u>
- Ruisseau de Château-Lambert après sa confluence avec le ruisselet provenant du Travers Banc	6,25 et 6,9
- Ruisseau (1183)	6,25
- Ruisseau (429-116)	7,8

Or, chacun de ces cours d'eau traverse des zones plus ou moins minéralisées où ils subissent des apports d'Uranium.

Par exemple, le Baignerot, reçoit les eaux thermales de Bains-les-Bains qui sont uranifères.

Le ruisselet circulant près du travers-banc d'Hérival voit son eau transporter de l'Uranium dans une région où les dépôts d'Uranium sont récents (p.207).

Quant au ruisseau de Méreille, il faudrait en rechercher la teneur élevée dans des circulations qui se manifestent près de Clairegoutte (quartz enfumé). Les eaux de Château Lambert se chargent évidemment d'Uranium au cours de leur trajet à proximité des minéralisations à uraninite et brannérite.

Quant aux dernières, des anomalies importantes de Radon (p.242) ont été observées dans des eaux de sources voisines et les équipes C.E.A. ont pu remarquer au cours d'une campagne hydro-géochimique en 1957 de fortes teneurs d'Uranium dans les alluvions du ruisseau ainsi qu'une anomalie de teneur en Uranium dans l'eau. C'est aux environs de ce point que nous avons pu reconnaître une concentration d'Uranium en déséquilibre (p.208).

4) Etangs.

L'eau de quelques étangs a fait également l'objet d'analyse d'Uranium.

Les résultats au nombre de 21, sont trop peu nombreux pour faire l'objet d'une étude statistique. Il est toutefois intéressant de noter les faibles teneurs (de l'ordre de 0,2 μ g/l) par rapport à celles obtenues sur les eaux de sources, de ruisseaux ou de rivières. Il semblerait que l'origine de ce déficit réside dans le fait que ces étangs ont leur propre milieu de sédimentation dont le potentiel d'oxydo-réduction est inférieur à zéro (réducteur) : vase et tourbe. Dans ces conditions, l'Uranium pourrait être précipité, sinon absorbé par les acides humiques qui ne manquent pas de se former dans le fond de ces étangs.

5) Conclusion.

Les teneurs en Uranium des eaux du secteur étudié sont donc très variables de 0,1 jusqu'à 12 μ g/l. Les teneurs les plus élevées sont rencontrées dans des eaux de sources froides et dans des eaux de ruissellement d'une zone minéralisée. Des teneurs élevées ont été également rencontrées dans une zone où la minéralisation uranifère est possible, puisque des anomalies de teneurs en Uranium ont été également reconnues dans les roches granitoïdes des environs. Les eaux thermales montrent des teneurs voisines de la moyenne des eaux de sources en pays granitique.

Cependant, les eaux thermales de Bains-les-Bains font exception. Leurs teneurs élevées - bien que faibles par rapport à celles rencontrées dans des eaux thermales d'Europe Centrale -, la présence d'Uranium non en équilibre dans un sondage effectué dans la zone thermale, les minéraux associés à l'Uranium, permettent de conclure à un transport et à une localisation actuelle de l'Uranium. Il semblerait que les conditions du dépôt reproduisent les faits bien connus dans les gîtes épithermaux.

Sur le plan biologique, aucune des eaux rencontrées n'a donné des teneurs dépassant la dose permise pour les eaux de consommation. Rappelons que cette dose est fixée à $2 \times 10^{-6} \mu\text{Ci}$ par cm^3 correspondant à une teneur de 6 mg/litre.

II - TENEUR EN RADON.

1) But poursuivi.

La radioactivité due au Radon n'avait pas jusqu'à présent fait l'objet d'étude systématique régionale. Seules les eaux thermales et quelques eaux froides (p.) avaient retenues l'attention des chercheurs. De plus, il nous semblait d'un intérêt théorique, de réaliser cette étude sur le terrain où un grand nombre de mesures de traces d'Uranium avaient été effectuées. La corrélation, si elle apparaissait, prendrait une signification particulière pour la prospection des gîtes uranifères. Enfin, les résultats obtenus pourraient être confrontés avec les valeurs fixées par les biologistes (dose de tolérance des produits radioactifs).

2) Considérations générales.

Les facteurs pouvant jouer sur la concentration du Radon dans l'eau de source ont été sommairement exposés (G. Jurain - 1958 -). Il semble nécessaire de reprendre en détail les éléments fondamentaux de la distribution du Radon dans les eaux souterraines.

La quantité de Radon d'une eau souterraine dépend de la concentration en Radium de la roche (Ra), du coefficient d'émanation ou pouvoir d'émanation (ke); le temps de contact entre la roche et l'eau (débit) et la porosité jouent un rôle important. Dans ces conditions on peut écrire l'équation suivante :

$$QR_n = \frac{Ra \cdot ke (1-p) d}{Dh} \left(1 - e^{-\lambda \frac{l}{v}}\right) \quad (1)$$

où QR_n = quantité de Radon (Curie par cm³)
Ra = concentration du Radium en gramme par gramme
ke = coefficient d'émanation
p = porosité
d = densité de la roche
Dh = degré d'humidité de la roche en pourcentage
λ = probabilité de désintégration du Radon
l = parcours de l'eau en centimètres
v = vitesse de filtration de l'eau en centimètres par seconde.

Cette équation va permettre de calculer l'ordre de grandeur des quantités du Radon à mesurer. La teneur moyenne en Uranium d'un granite est estimée à environ 5×10^{-6} g/g (Coppens-1950-Piccioto-1950). Cette quantité d'Uranium correspond à l'équilibre à $1,66 \times 10^{-12}$ g/g de Radium donnant naissance à $1,66 \times 10^{-12}$ Curie de Radon. Ce radon s'échappe par diffusion et pour des minéraux tel le zircon, cette diffusion est de 1,5 à 7% (Giletti et Kulp - 1955). D'autre part, la porosité d'un granite est de 0,5 à 1% (en volume, Schoeller 1955). Si ce volume est occupé par de l'eau remplacée au fur et à mesure de la dissolution, la teneur en Radon sera dans le cas d'un volume V cm³ de densité 2,5.

$$R_n = \frac{\frac{1,66 \times 10^{-12} \times V \times 2,5 \times 1,5}{100}}{\frac{V \times 0,5}{100}} = 12 \times 10^{-12} \text{ curie/cm}^3 \text{ d'eau}$$

soit 120×10^{-10} Curie par litre. Ce calcul approché par rapport à l'équation précédente permet cependant de connaître l'ordre de grandeur des teneurs à mesurer.

3) Recherches préliminaires sur le dosage du Radon dans l'eau.

Ces recherches avaient pour but, de sélectionner une méthode permettant le dosage du Radon avec une précision assez grande tout en ne faisant que des prélèvements de volume restreint.

Diverses méthodes ont été employées au laboratoire et sur le terrain mais une seule en définitive a été conservée du fait de ses qualités : sensibilité, rapidité et volume d'eau échantillonné très faible. Cependant, les méthodes qui ont fait l'objet de certaines recherches sont brièvement exposées.

(1) Cette équation est à rapprocher de celle que Mache (1942) a établi pour tenter d'expliquer la formation des eaux radioactives.

3-1) Electroscope et chambre d'ionisation.

Un appareil Chéneveau-Laborde a servi pour les mesures, au laboratoire. Les quelques manipulations effectuées ont montré les graves défauts de cette technique de mesure. En effet, le nombre d'analyses : 3 par jour au maximum et le volume du prélèvement : 1 litre, étaient incompatibles avec l'objet de nos recherches (Pl. XX fig. 3 et 4).

3-2) Chambre d'ionisation et amplificateur à courant continu.

L'appareillage utilisé construit sous licence C.E.A. comprend deux chambres d'ionisation et amplificateur à courant continu avec son préamplificateur.

a) Chambre d'ionisation (Pl. XX fig. 5 et fig. 53).

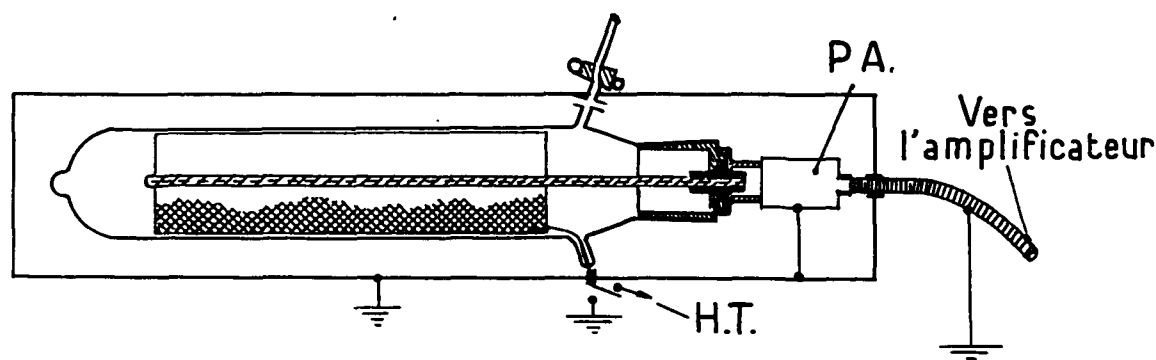


Fig. 53 - Chambre d'ionisation CEA de 2 litres pour la mesure du Radon. Le préamplificateur (PA) est constitué par une résistance Victoreen de 10^{13} ohms et d'une lampe électromètre (Mullard 1401). L'amplificateur à courant continu type CEA : A.C.C. 2.

La chambre d'ionisation est en verre pyrex à cathode intérieure constituée par un grillage d'acier inoxydable 18/8. L'électrode centrale est une tige en duralumin de 4 mm de diamètre, le volume utile de la chambre est d'environ 2 litres. L'isolement central est assuré par un anneau de pléxiglass.

b) mesure du courant d'ionisation.

La chambre est suivie d'un préamplificateur équipé d'une résistance de très haute valeur : 10^{13} ohms et une lampe électromètre (Mullard ME 1401) mesure la différence de potentiel aux bornes de la résistance. Un amplificateur à courant continu de gain égal à 4 000 et à contre-réaction totale (Weill - 1953) permet l'amplification et la mesure de cette différence de potentiel. L'électrode centrale est reliée à la grille de la lampe électromètre, tandis que la cathode est portée à 200 V prélevés sur l'alimentation de l'amplificateur.

L'étalonnage de la chambre a été exécuté en utilisant des solutions de Radium de teneurs connues. Le remplissage de la chambre se fait par barbotage, le vide ayant été préalablement exécuté dans la chambre d'ionisation. Les mesures de courant ont été effectuées 3 heures 15 minutes après le remplissage (mise en équilibre du Radon avec les produits de filiation de période courte).

La courbe d'étalonnage présente une bonne linéarité et pour des teneurs inférieures à 10^{-10} Curie, la précision est de 10% environ (fig. 54).

Cette méthode de mesure a été utilisée sur le terrain. L'appareil de mesure déposé en un point fixe permettait d'exécuter 6 mesures par jour et nécessitait des prélèvements de 500 cm^3 .

Bien que le nombre des mesures ait été augmenté et le volume de prélèvement diminué, la méthode a été abandonnée. L'appareillage de mesure est d'une sensibilité extrême aux chocs et les mesures électrométriques sont toujours délicates à réaliser (blindage de la chambre, répétition des mesures, etc ...) si l'on ne veut pas obtenir des résultats pratiquement inexploitable.

3-3) Fixation sur charbon activé et mesure de l'activité β .

Le Radon se fixe très volontiers sur le charbon activé. En étudiant ensuite le rayonnement des produits de filiation à période courte - le RaC émet un rayonnement bêta de 3,15 MeV - il est possible de doser le Radon (p. 85).

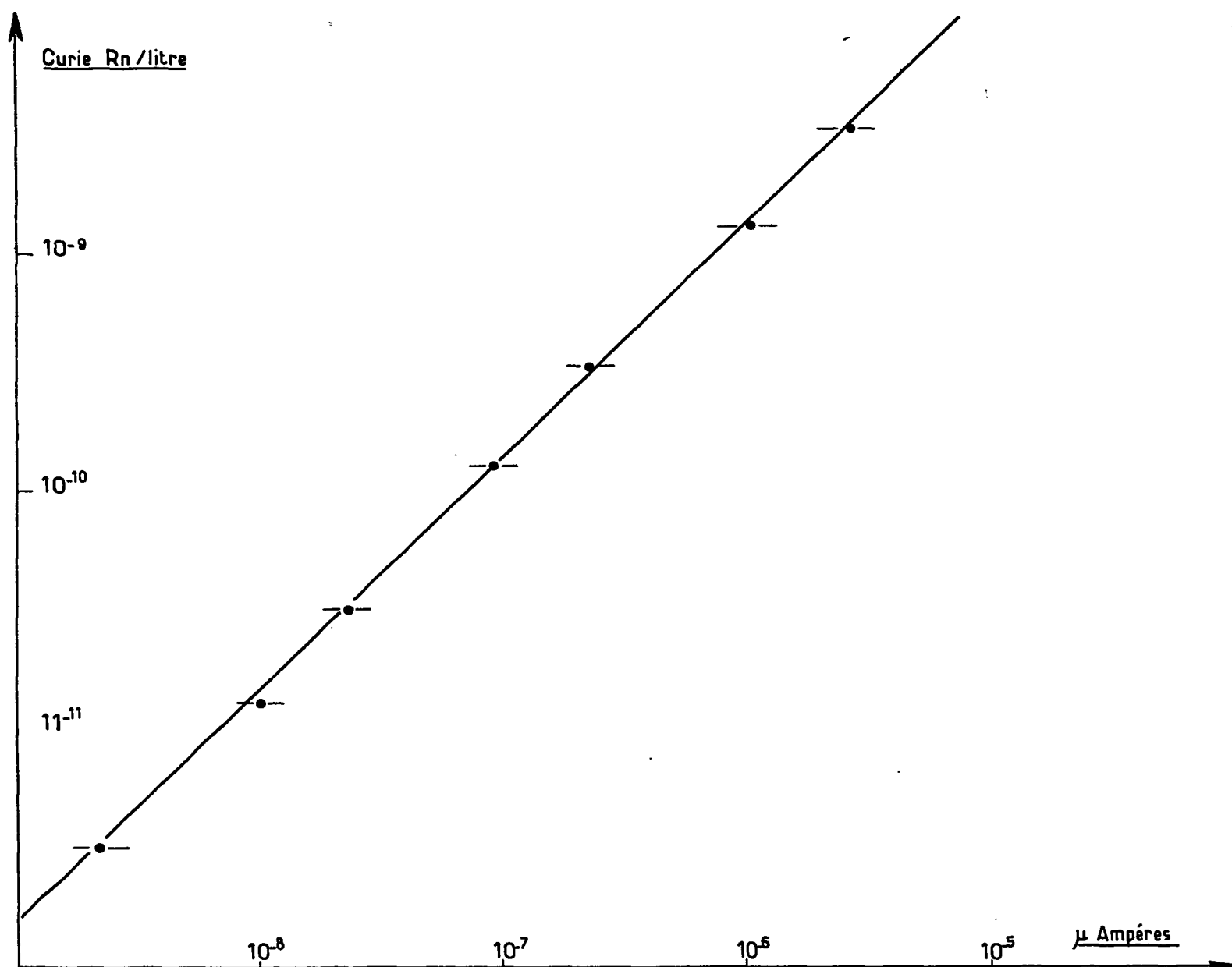


Fig. 54 - Courbe d'étalonnage de l'ensemble chambre d'ionisation-amplificateur à courant continu.

a) Etude théorique.

Le compteur utilisé pour cette manipulation est un compteur β (10 B 12). Son mouvement propre est de 17 coups/minute sous 6 centimètres de plomb. Le compteur est entouré d'une couche cylindrique de charbon activé sur lequel a circulé l'air chargé de Radon.

Dans ces conditions géométriques, le compteur a un rendement de 15 % et le montage utilisé permet de mesurer environ 3500 c/minute pour 10^{-8} Curie de Radon en équilibre. Les teneurs en Radon des eaux étant environ 10^{-9} Curie, on obtiendra environ 350 coups minute. La précision relative est bonne étant donné le faible mouvement propre (voir p. 95).

b) Réalisation.

Un essai d'utilisation sur le terrain a été tenté. Le prélèvement est fait dans des flacons à barbotage de 1 litre de capacité. Le dégazage de l'eau se fait sur place suivant le schéma ci-contre (fig. 55). La cartouche de charbon constituée par un fort tube de verre de 10 mm de diamètre et de 100 mm de long, était préparée à l'avance. L'expérience a montré qu'un passage d'environ 2 litres d'air permettait de désorber la quasi-totalité du Radon de l'eau.

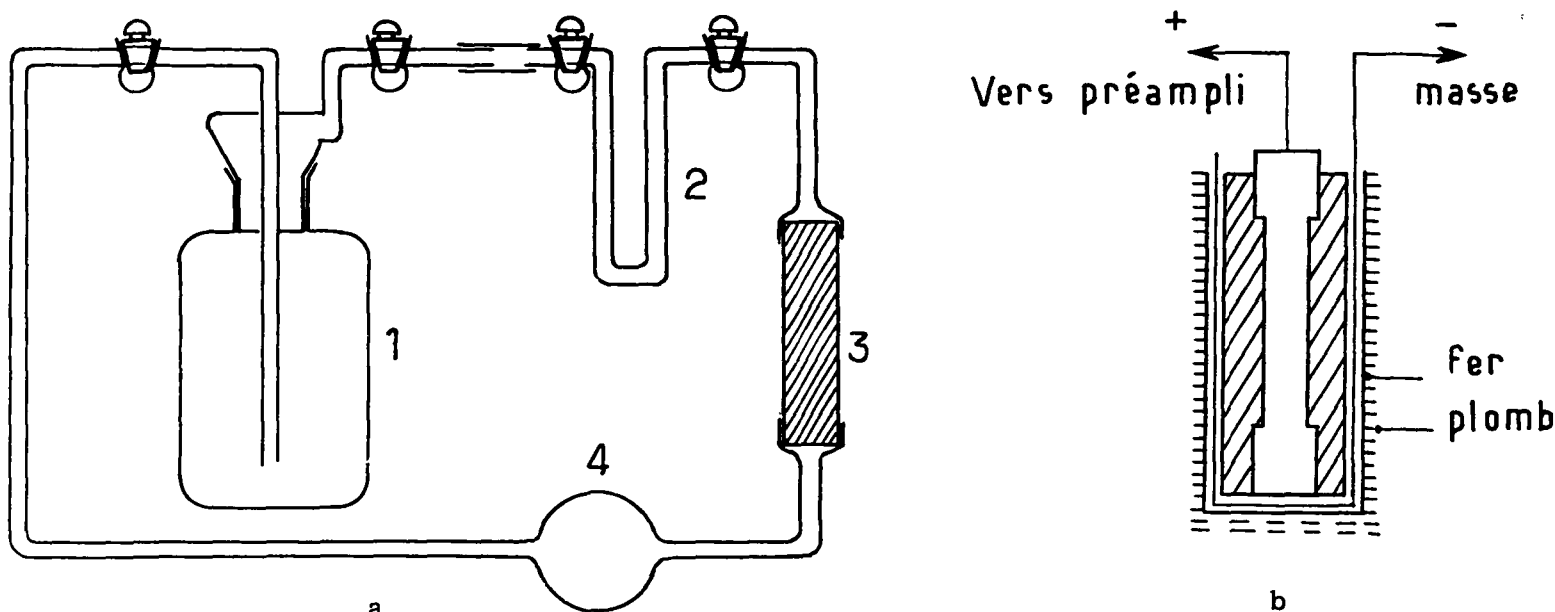


Fig. 55 - a) Dispositif de désorption du Radon de l'eau et de sa fixation sur charbon activé :

1) Flacon barboteur de 1 litre - 2) Desséchant (perchlorate de magnésium) - 3) Cartouche de charbon activé - 4) Poire de caoutchouc aspirante et foulante.

b) Position du compteur β (11 B 12) dans un blindage de fer et de plomb. Le charbon activé ayant retenu le radon est disposé concentriquement au compteur.

La cartouche après le barbotage est numérotée et porte l'heure de la fin de l'opération de dégazage.

De retour au point fixe, les cartouches de charbon, après une mise en équilibre de 3 heures 15 minutes, sont vidées autour du compteur β et l'activité β mesurée pendant 10 minutes sur une échelle de 1000.

Dans ces conditions, les prélèvements sont effectués le matin et les mesures exécutées dans l'après-midi. La cadence de mesure est améliorée et il est possible d'obtenir 8 à 10 résultats par jour.

Cependant, la méthode a été rapidement abandonnée car le matériel transporté est encombrant et fragile (barboteurs), de plus, l'appareillage électronique bien qu'en point fixe, ne subit pas sans dommage le transfert du laboratoire au lieu d'expérience.

A la suite de ces tentatives, nos efforts ont été orientés vers les techniques scintillométriques.

4) Comptage par scintillation α .

Nous avons été amenés à utiliser, en nous inspirant des travaux de Damon et Hyde (1952) et de Van Dilla (1955), le comptage par scintillation α en utilisant des récipients dont la paroi interne est tapissée de sulfure de zinc. Ces récipients sont en verre et constituent la chambre de mesure couplée optiquement à un détecteur de scintillation de réalisation courante, une échelle démultipliatrice complète l'ensemble.

4-1) Réalisation des Récipients.

Les ballons utilisés sont sphériques, en verre Pyrex, de 500 cm³ de capacité. Le fond en est légèrement concave. Sur ce fond est fixé un disque de plexiglas (44 mm de diamètre et 8 mm d'épaisseur) de la façon suivante : Le ballon est rempli d'eau chaude à 80° - 85° C puis bouché et retourné sur un support. On verse alors sur le fond concave 5 à 6 cm³ de baume du Canada amené par cuisson à sa limite de polymérisation. Le disque de plexiglas, poli sur ses deux faces, porté à une température voisine de 50° C, est posé sur le baume chaud. Les bulles d'air emprisonnées sont éliminées par pression. On laisse refroidir lentement. Après refroidissement complet, les ballons sont lavés à l'eau distillée puis à l'éther éthylique pour les dégraisser soigneusement. On y introduit une solution de graisse silicone pour vide (1) dans l'éther éthylique (2). Cette solution très fluide est répartie uniformément sur la paroi interne. L'excès en est soigneusement éliminé. L'éther, en s'évaporant, laisse sur la paroi une pellicule extrêmement résistante de graisse silicone. Cette pellicule sert de support au matériau scintillant. Celui-ci est constitué par du sulfure

(1) Graisse SISS, Société Industrielle des Silicones et Produits Chimiques du Silicum 1 bis, place de Saussaies, Paris.

(2) 100 g de graisse SISS dans 200 cm³ d'éther éthylique.

de zinc activé à l'argent, montrant une fluorescence bleue violette sous les impacts des α (1). Une fenêtre est ensuite ouverte en nettoyant la partie interne du ballon correspondant au disque de plexiglass. De même façon le col est nettoyé. La surface ainsi tapissée de sulfure de zinc représente 90 % de la surface interne totale.

Les ballons ainsi confectionnés sont revêtus de 2 couches de peinture blanche (émail cellulosique). Enfin, une couche de peinture noire recouvre l'ensemble. Ils sont alors munis d'un bouchon de caoutchouc (n° 9 ou n° 10 suivant la dimension du col) percé en son centre, le trou reçoit un robinet à vide en verre. Ils sont numérotés et enfermés dans un sachet de toile noire, également numéroté et enfin placés dans une caisse à casiers comportant un bourrelet anti-chocs.

4-2) Exécution des mesures.

Les mesures sont effectuées en couplant le ballon à un détecteur à scintillation(2). L'ensemble est enfermé dans une enceinte étanche à la lumière. Le détecteur à scintillation est suivi de son préamplificateur adapté à l'ensemble de comptage (3). Cette adaptation consiste en une modification des étages amplificateurs, elle conserve au préamplificateur les trois valeurs du gain : 0,15, 1, 5 15.

4-3) Recherche des conditions de travail.

Les variables, dans les conditions de travail, sont surtout liées aux ballons de mesure et à l'ensemble détecteur.

a) Ballons.

Le sulfure de zinc, après une longue exposition à la lumière, présente une excitation et l'appareil numérateur enregistre un certain nombre d'impulsions allant en décroissant avec le temps (fig. 56). Du fait de ce phénomène, les ballons ont été peints d'abord en blanc (réflecteur de lumière)

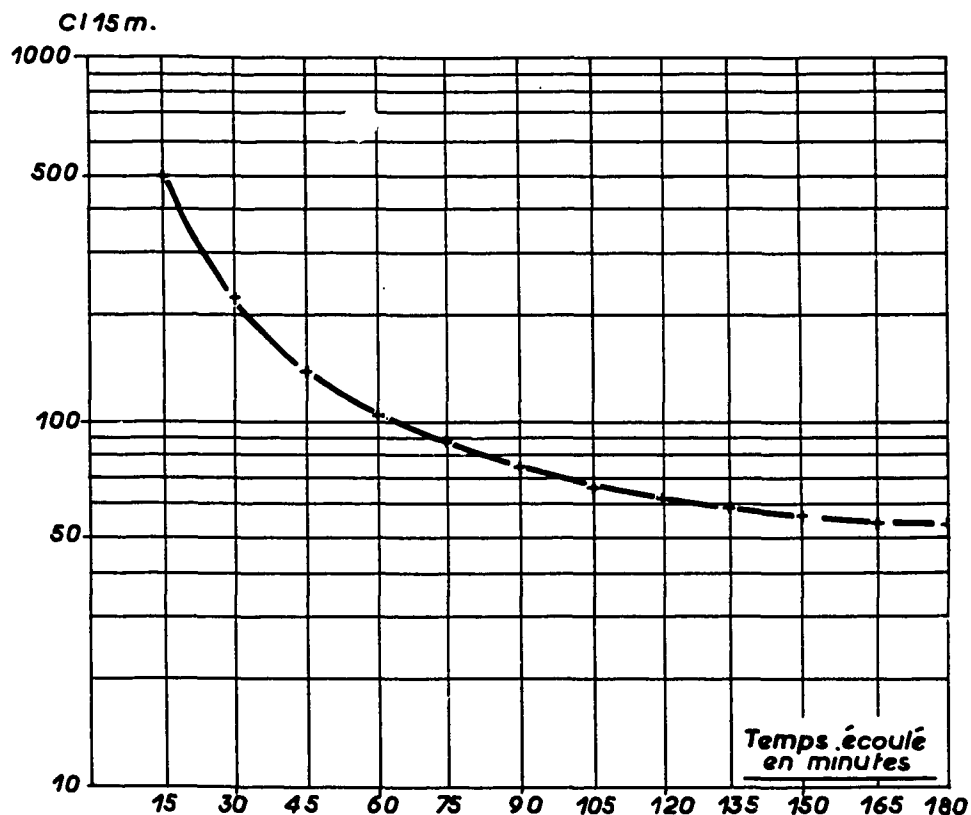


Fig. 56 - Décroissance, au cours du temps, du nombre d'impulsions enregistrées, à la suite d'une longue exposition à la lumière solaire du ballon de mesure.

(1) Poudre G 86, Massiot-Fluor, Ailly-le-Haut Clocher. (Somme).

(2) DCSl Gabon (Licence C. E. A.). Lie-Belin 296, Av. Napoléon Bonaparte, Rueil Malmaison. (S. & O.)

(3) Bloc RPN, comportant une échelle numératrice et une alimentation haute tension, Mesco. 21, Rue René Coche, Vanves, Seine.

(Koechlin - 1955) puis en noir et enfin enfermés dans un sachet noir et stockés dans une caisse fermée. Les manipulations de remplissage, de changement des ballons sont effectuées à l'obscurité presque complète.

Cependant, malgré toutes ces précautions, les ballons, même stockés longtemps à l'obscurité présentent une activité faible mais mesurable, voisine de 1,15 coup/minute, correspondant à une radioactivité du verre de $0,0037 \alpha/cm^2/s$.

b) Ensemble détecteur.

La détection des impulsions lumineuses dans le ballon est assurée par un photomultiplicateur (1) dont la photocathode est couplée optiquement au disque de plexiglas à l'aide de quelques gouttes d'huile de silicone (2). Le photomultiplicateur est suivi du préamplificateur; ce dernier travaille à son gain maximum = 15, mais le gain du photomultiplicateur lui-même est une fonction de la haute-tension, de la forme.

$$G = (K.V)^n$$

où G = gain ;
 K = constante ;
 V = tension interdynode ;
 n = nombre de dynodes.

Le gain de l'ensemble varie donc très vite avec la tension appliquée. La figure 57, traduit

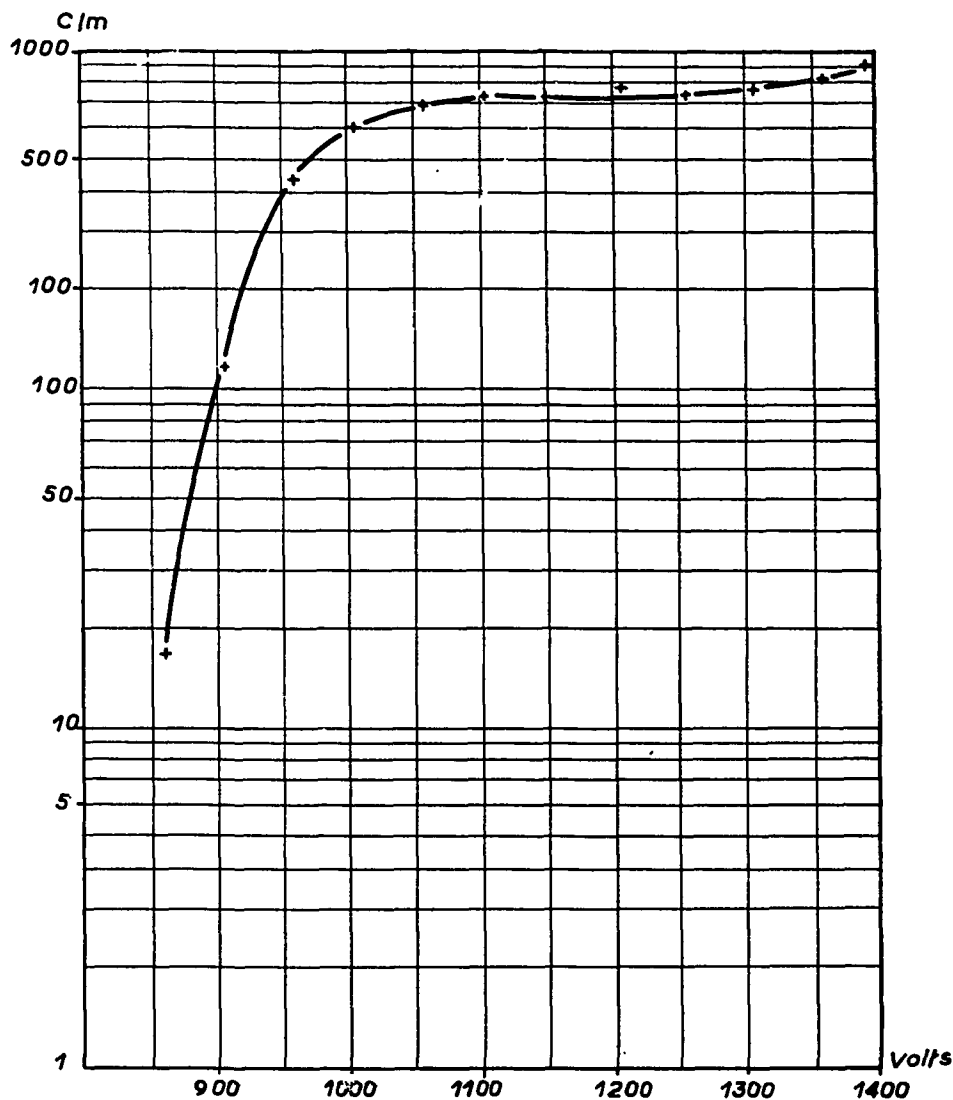


Fig. 57 - Détermination de la tension de travail appliquée au photomultiplicateur du DCS₁. Ici la tension appliquée en cours de mesure sera de 1 200 volts (photomultiplicateur 53 AVP de la Radiotechnique n° 809).

(1) Photomultiplicateur Radiotechnique 53 AVP, La Radiotechnique 130, AV. Ledru Rollin, Paris.

(2) Rhodorsil 47 V 30 000 cP, Rhône Poulenc, 21, rue J. Goujon, Paris.

cette variation dans la détection, mais à partir d'une certaine tension, apparaît un "plateau". La tension de travail est toujours choisie à environ 150 V au-dessus du seuil. Cette courbe est tracée avec une certaine quantité de radon introduite dans le ballon chaque fois que l'on entreprend une série de mesures ou que l'on utilise un photomultiplicateur neuf.

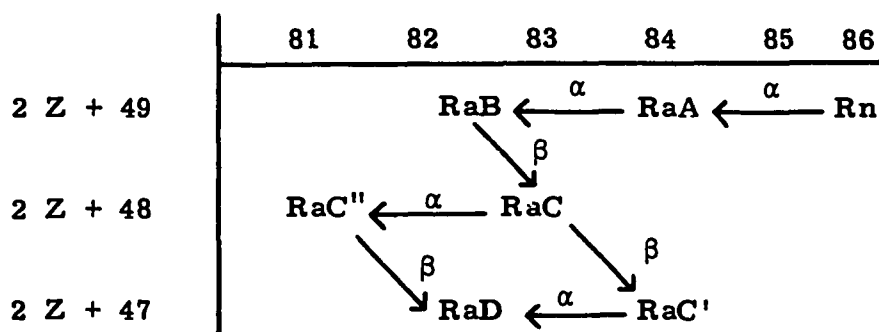
c) Etalonnage.

Quatre sources de radium ont servi à l'étalonnage de l'ensemble de mesure. Ces sources (1) contiennent :

112,9 ± 3,4	μg de radium ;
110,4 ± 3,31	μg de radium ;
0,93 ± 0,093 × 10	μg de radium ;
0,121 ± 0,012 × 10	μg de radium ;

Ces sources ont servi à faire des sources d'activité plus faibles, de l'ordre de 1×10^{-10} Ci. Le radon à doser est transféré dans le ballon, suivant un processus décrit plus loin. La mesure est effectuée pendant une durée de 15 minutes lorsque l'équilibre avec ses produits de filiation du dépôt actif est atteint c'est-à-dire au terme de 3 heures ou 3 heures 15 minutes. On peut chiffrer le nombre théorique de particules α comptées pendant la mesure, au moment de l'équilibre.

Le Radon émet alors 3 α suivant le schéma :



à 10^{-10} Ci de radon (2) correspond donc, dans une géométrie de 4π :

$$3,7 \times 3 \alpha/s$$

Dans le cas d'une surface scintillante, la géométrie est de 2π , on ne compte de ce fait que 50 % des α émis. Dans notre cas, la surface du col et la surface de la fenêtre ne sont pas sensibles. La surface revêtue de sulfure de zinc est de 90/100 de la surface totale. Le nombre des α comptés/par seconde pour 10^{-10} Ci radon à l'équilibre est alors :

$$N/sec = \frac{3,7 \times 3 \times 45}{100} = 5 \text{ coups/seconde ou } 300 \text{ coups/minute.}$$

Le tableau 70 résume les résultats d'étalonnage.

Remarques.

1) Il ne nous a pas paru nécessaire de contrôler ces deux distributions par les moyens de la statistique, la correspondance étant très nette.

2) Ceci montre également qu'il n'y a pas de perte de comptage du fait de la présence du baume du Canada entre le ballon et le disque de plexiglass. On pourrait craindre une absorption (écran jaune) des impulsions lumineuses (bleues).

3) Enfin, ce tableau prouve que le procédé de barbotage par vide et agitation désorbe complètement le radon dans la solution du sel de radium.

(1) Provenance, The Radiochemical Center (UKAEA), Amersham, Buckinghamshire, Angleterre.

(2) 1 Curie équivaut à $3,7 \times 10^{10}$ désintégrations par seconde.

Tableau 70

Etalonnage et contrôle des ballons scintillateurs pour la mesure du Radon.

Teneur (10 ⁻¹⁰ Ci)	Résultats calculés (coups/minute)	Résultats observés (*) (coups/minute)
0,1376 ± 10%	41 ± 4	38 ± 4
0,1525 ± 10%	45 ± 5	46 ± 5
0,1543 ± 10%	46 ± 5	42 ± 4
0,1534 ± 10%	46 ± 5	40 ± 4
0,1608 ± 10%	48 ± 5	42 ± 4
0,1785 ± 10%	53 ± 7	54 ± 5
0,3878 ± 10%	116 ± 12	103 ± 7
0,3943 ± 10%	118 ± 12	109 ± 7
0,4780 ± 10%	143 ± 14	120 ± 8
0,1424 ± 4%	43 ± 2	45 ± 4
0,1799 ± 4%	54 ± 2	53 ± 5
0,1832 ± 4%	55 ± 2	67 ± 6
0,3687 ± 4%	110 ± 4	103 ± 7
0,5685 ± 4%	170 ± 7	145 ± 8
0,1744 ± 3%	52 ± 1	40 ± 4
0,5282 ± 10%	158 ± 15	154 ± 8
3,328 ± 5%	998 ± 50	858 ± 20
0,2153 ± 3%	64 ± 2	55 ± 5

(*) Erreur probable établie suivant la distribution de Poisson: $0,6745 \sqrt{N}$ 4-4) Utilisation du montage en vue du dosage du Thorium par son émanation = le Thoron.Etude théorique.

Si le thorium est en équilibre radioactif - ce cas est réalisé dans une roche - il est possible de doser le Thorium d'une solution par le Thoron. Une réserve, cependant, est à faire = il est nécessaire que le traitement chimique mette en solution tous les produits de filiation de la famille. Dans ce cas, la quantité de Thoron qui naît est proportionnelle à la quantité de Thorium présente.

Etant donné la durée de vie très brève du Thoron (54,5 sec) il sera nécessaire d'introduire constamment une certaine quantité de ce gaz dans le ballon de mesure.

On peut, comme précédemment, pour le Radon (p.227) calculer le nombre d' α comptés par seconde

$$N \alpha/\text{sec} = Tn e^{-\lambda \frac{vs}{q}} - e^{-\lambda \frac{vs+vb}{q}}$$

où Tn = quantité de Tn de la solution émettant les α .

e = base des logarithmes népériens.

λ = constante de désintégration du Thoron = $1,27 \times 10^{-2}$

vs = volume stérile, c'est-à-dire le volume d'air situé au-dessus du liquide, volume des tuyauteries de raccordement, de desséchant etc ...

vb = volume du ballon de mesure

q = le débit d'air transportant le Thoron en cm^3/s

$\ln$ = logarithme népérien.

Le débit optima est facilement calculé en différenciant N par rapport au débit et en égalant à zéro :

$$q = \frac{\lambda \cdot vb}{\ln \frac{vs + vb}{vs}}$$

Dans le montage utilisé $v_s = 25 \text{ cm}^3$ et $v_b = 500 \text{ cm}^3$

$$q = \frac{1,27 \cdot 10^{-2} \cdot 500}{\ln \frac{25 + 500}{25}} = 1,75 \text{ cm}^3/\text{s} \text{ soit } 105 \text{ cm}^3/\text{mn}$$

Le nombre d' α émis par sec et pour $1 \times 10^{-6} \text{ g}$ de Thorium en équilibre est de $2,46 \times 10^{-2}$. Pour sa part, le Thoron et son descendant direct participe pour 1/3 soit : $0,82 \times 10^{-2} \alpha/\text{s}$.

Dans ce cas, le nombre des α naissant dans le volume du ballon est de :

$$N = 0,82 \cdot 10^{-2} (e^{-1,27 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{25}{1,75}} - e^{-1,27 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{525}{1,75}})$$

$$N = 0,82 \cdot 10^{-2} \left(\frac{1}{1,2} - \frac{1}{45} \right) \\ (0,833 - 0,022)$$

$$N = 0,82 \cdot 10^{-2} \cdot 0,811 = 0,665 \cdot 10^{-2}$$

Enfin, la géométrie du système est telle que l'on ne compte que 45 % des α émis dans le ballon (cf p.227).

Une partie par million ($1 \times 10^{-6} \text{ g/g}$) de Thorium correspondra donc à :

$$0,665 \cdot 0,45 \cdot 10^{-2} \alpha/\text{s}$$

soit :

$$0,3 \cdot 10^{-2} \alpha/\text{s}$$

La teneur en Thorium d'une roche granitoïde est de l'ordre de 10 à 15 ppm, une attaque de 1 gramme de roche permettra donc de compter :

$$3 \text{ à } 4,5 \cdot 10^{-2} \alpha/\text{s} \text{ soit en une minute :}$$

$$1,8 \text{ à } 2,7 \alpha/\text{minute.}$$

Cette activité est de l'ordre du mouvement propre des ballons scintillants. Il est donc nécessaire de faire des attaques sur des quantités plus importantes, 5 grammes par exemple.

L'activité est alors de 9 à 13,7 α /minute. Dans ces conditions, le rapport $\frac{\text{coups comptés}}{\text{mouvement propre}}$ est voisin de 5 à 7. L'erreur probable de comptage est alors de 7 à 6% entraînant une erreur sur la teneur de 15 à 10% (cf abaque p.95).

Le montage utilisé pour le dosage du Radon peut donc servir au dosage du Thoron d'une solution par la méthode du courant gazeux.

En utilisant une méthode d'attaque qui permette la mise en solution de tous les produits de filiation de la famille du Thorium, on peut par cette voie atteindre le dosage du Thorium lui-même. Les teneurs atteintes sont de l'ordre de 10 ppm pour une prise de 5 grammes.

La précision est voisine de 10 à 15 %.

Enfin, la méthode de dosage du Radon par scintillation peut être utilisée également dans le dosage du Radium des roches. Un four électrique fond la roche broyée ; le Radon qui se dégage est piégé par de l'azote liquide puis transféré dans un ballon de mesure.

A l'équilibre 5 ppm d'Uranium correspondent à $1,66 \times 10^{-12}$ Curie de Radon, une fusion de 5 grammes de roche est aisée. Dans ces conditions, l'activité α enregistrée à l'équilibre est de 25 coups/minute, chiffre relativement élevé par rapport au mouvement propre des ballons (1 à 3 coups/minute).

Fig.1 - Les étapes successives de la préparation d'un "ballon scintillateur".

- 1) Coulée du baume de Canada cuit.
- 2-3) Collage du disque de plexiglass sur la partie concave du fond du ballon.
- 4) Refroidissement lent après le collage.
- 5) Répartition de la graisse aux silicones, dissoute dans l'éther éthylique.
- 6) Revêtement du film de graisse par le sulfure de zinc activé à l'argent.

Fig. 2 - Disposition des deux ensembles de comptage sur le flanc gauche de la camionnette.

Fig.3 - Vue de la surface de travail aménagée à l'arrière du véhicule (Cf.2 de la figure 58). On aperçoit sous le bloc de comptage le stabilisateur de tension.

Fig.4 - Vue de l'arrière du véhicule : au fond, panneau de séparation de la cabine de conduite, sur le flanc droit le casier de rangement des ballons scintillateurs (Cf.4 de la figure 58).

Fig.5 - Vue plus générale par l'arrière du véhicule. Au premier plan surface de travail sous laquelle est aménagée un placard avec portes coulissantes.

1



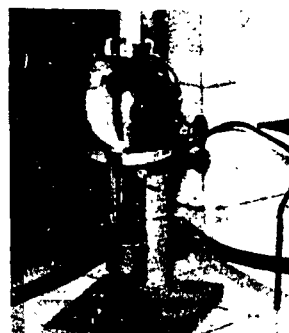
2



3



4



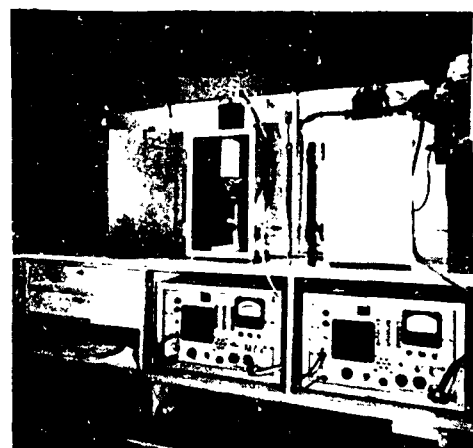
5



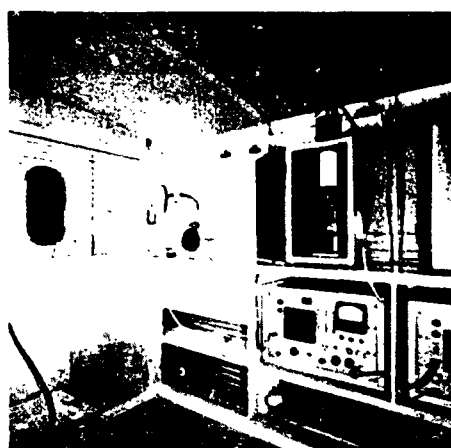
6



1



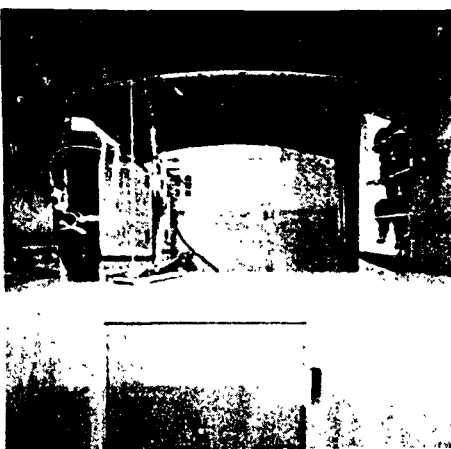
2



3



4



5

4-5) Utilisation de la méthode sur le terrain.

L'utilisation de cette méthode sur le terrain conduit à un certain nombre d'aménagements résidant surtout dans le transport et l'alimentation électrique des appareils de mesures, dans l'exécution des prélèvements d'eau et dans la désorption du radon de ces échantillons.

a) Transport du matériel.

Il est réalisé par une camionnette 1200 Kg Citroën, type H, aménagée en laboratoire (fig. 58)

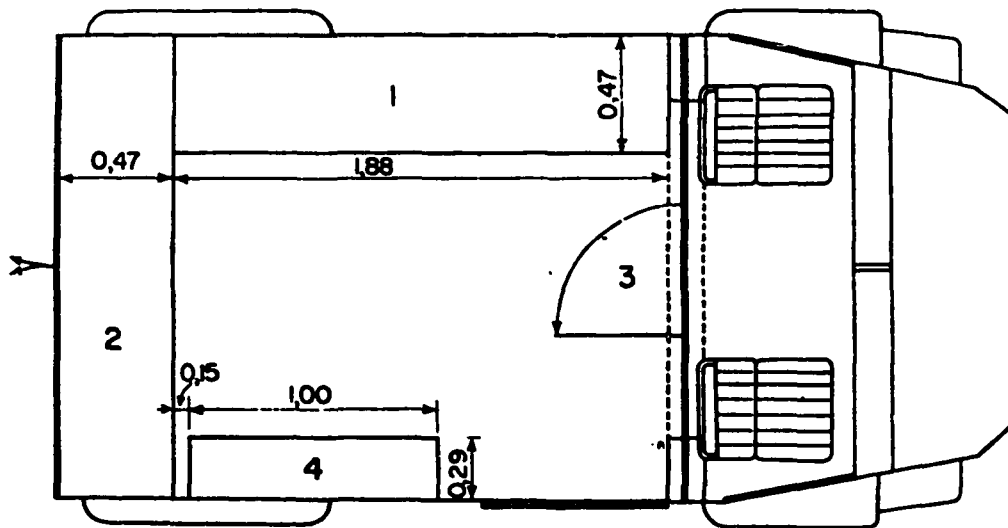


Fig. 58 - Plan Général d'Equipement.

1 - Partie supérieure du châssis de cornière recevant les supports des ballons de mesure. La partie inférieure reçoit les deux échelles de mille.

2 - Plan de travail 0,47 m x 1,80. La partie inférieure compte 4 tiroirs de 20 cm de profondeur.

3 - Panneau en isorel dur avec porte de communication avec la cabine.

4 - Casier de rangement des ballons de mesure.

Pl. XXI fig. 2 à 5). Sur un flanc de la camionnette est fixée une paillasse de 1,90 m de long et 50 cm de large. Un étage intermédiaire supporte les deux blocs RPN₃. A la partie inférieure sont logés une pompe à vide (1) et les appareils de stabilisation et de régulation du courant électrique : Alternostat et réguvolt. Sur la partie supérieure sont fixées deux petites armoires étanches à la lumière recevant le détecteur de scintillation et possédant à l'intérieur un support réglable en hauteur, permettant d'assujétir les ballons à la photocathode du photomultiplicateur. La partie arrière du véhicule est également pourvue d'une paillasse. Elle reçoit le dispositif de barbotage des échantillons. Un panneau d'isorel dur et une porte séparent la cabine de conduite et permet de réaliser, lorsque toutes les issues sont closes, la pénombre nécessaire aux manipulations. Enfin, le véhicule comprend un certain nombre de points de rangement : casiers, tiroirs, etc ... Un câble souple permet de se raccorder au réseau électrique ; d'autre part, il est prévu une mise à la terre des appareils électroniques. La solution de la génératrice n'a pas été retenue du fait de son prix de revient élevé ainsi que du fait que les points fixes sont choisis toujours en des lieux où l'on peut disposer du réseau électrique : école, hôtel, etc

b) Prélèvement des échantillons d'eau.

Les mesures anciennes (Delaby et al., 1931) effectuées sur des sources en pays granitiques ont permis de calculer le volume optima d'eau à prélever.

L'activité peut osciller de 5 à 950×10^{-10} Ci/l., soit en cm³ de 0,005 à $0,95 \times 10^{-10}$ Ci, équivalent à un nombre d' α de : 18,5 à 4275 pour 15 mn de comptage à l'équilibre. Un prélèvement de l'ordre de 25 cm³ conduit à une activité de 460 à 10 700 coups/15 mn. L'erreur introduite du fait du mouvement propre des ballons, est minime.

c) Réalisations des prélèvements.

Les prélèvements d'eau sont exécutés de la façon suivante : des tubes à essais en verre py-

(1) Groupe pompe à vide micropal A₂, Compagnie Générale de Radiologie, 34Bd de Vaugirard, Paris.

rex de 20 x 200 contenant un petit aimant enrobé, sont fermés avec un bouchon en caoutchouc bleu n° 5 ayant une forme dont la coupe est représentée ci-contre (fig. 59). A l'aide d'une aiguille hypo-

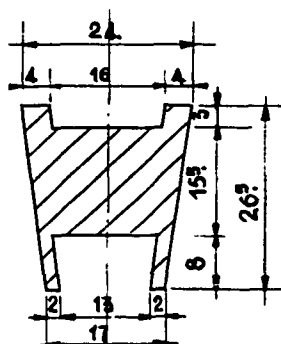


Fig. 59 - Coupe d'un bouchon utilisé pour fermer les tubes de prélèvement d'eau en vue de dosage du Radon.

dermique 35/1,5 soudée sur un mandrin de laiton de 35 mm de long et de 7 mm de diamètre, on exécute le vide dans le tube avec la pompe. L'aiguille hypodermique retirée, la plaie se referme du fait de la conformation du bouchon et la pression, à l'intérieur du tube, demeure pendant très longtemps à quelques millimètres de mercure (un tube a été conservé vidé pendant plus d'un mois).

Une seringue en verre, de 30 cm³ de capacité, munie d'une aiguille hypodermique sert à faire le prélèvement d'eau par aspiration. L'aiguille, piquée alors dans le bouchon du tube vide d'air, permet de faire le transfert de l'eau prélevée, sans perte de gaz (Arndt et Kuroda, 1953), tout en aidant la désorption du radon de l'eau. Le lieu, l'heure et la date du prélèvement sont notés sur une petite feuille de papier collée au tube par une bande adhésive. On note également sur un carnet les conditions atmosphériques du prélèvement : température de l'air, de l'eau, pression barométrique, etc ..., ainsi que le lieu en coordonnées Lambert et l'altitude. La collecte des échantillons est aisée puisque le volume d'eau prélevée est faible et l'encombrement du matériel de prélèvement restreint. On peut transporter facilement de trente à trente-cinq tubes.

De retour à la camionnette-laboratoire, les tubes sont mis dans l'ordre des prélèvements et préparés pour le dosage du radon. Le transfert du radon dans les ballons de mesure se fait suivant une technique s'inspirant des travaux de Mache et Bamberger (in Kirsch, 1928) et de Schepotjeva (1943). Une grande aiguille hypodermique 200/1,5 est enfoncée dans le bouchon d'un tube rempli d'eau et sa partie inférieure arrive à environ 1 cm du fond. Cette aiguille est reliée par un tuyau de caoutchouc à un tube en U, contenant du charbon actif en grain et en poudre. Une seconde aiguille hypodermique avec mandrin est alors piquée dans le bouchon, son orifice demeurant dans l'atmosphère au-dessus de l'eau du tube. Cette aiguille est raccordée à un tube en U contenant un desséchant (perchlorate de magnésium) lui-même en relation avec un ballon de mesure où le vide a été exécuté à l'aide de la pompe. Par le jeu des robinets on effectue un barbotage d'air se chargeant du radon au cours de son passage dans l'eau. Le débit d'air est réglé de telle sorte que le remplissage du ballon se fasse en 15 mn. L'installation est complétée par un agitateur électromagnétique provoquant le déplacement du barreau aimanté du tube parachevant ainsi la désorption du radon. Le ballon rempli d'air et de radon est alors placé dans la caisse à casiers, la mesure étant effectuée 3 h 15 mn après la fin du barbotage.

La teneur en radon est obtenue en utilisant la formule suivante (pour un temps de comptage de 15 mn et un volume d'eau de 30 cm³) :

$$Rn \ 10^{-10} \text{ c/l.} = \frac{N - n}{135 \times \tau}$$

où N est le nombre total de coups enregistrés en 15 mn.

n le nombre de coups correspondant au mouvement propre du ballon de mesure pendant le même temps.

τ un nombre plus petit que un, réalisant une correction introduite du fait qu'entre le moment du prélèvement et celui de la mesure une partie du radon de l'eau a disparu par désintégration. (1)

(1) Une table a été établie pour obtenir aisément ce nombre. L'équation de destruction du radon

$$Q = Q_0 e^{-\lambda t}$$

(où Q_0 = quantité initiale de radon ; e = base logarithme népérien ;

λ = constante de désintégration du radon ; t = temps) a servi aux calculs (table p.235)

En établissant judicieusement barbotage et mesures, il est possible d'exécuter de vingt à trente dosages par jour.

Tableau 71

Table de correction dans le calcul des teneurs en Radon.

Minutes Heures	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0	1,000	0,9994	0,9987	0,9981	0,9975	0,9968	0,9962	0,9956	0,9950	0,9943	0,9937	0,9931
1	0,9925	0,9919	0,9912	0,9906	0,99	0,9894	0,9887	0,9881	0,9875	0,9869	0,9863	0,9856
2	0,9850	0,9844	0,9838	0,9831	0,9825	0,9819	0,9813	0,9807	0,9801	0,9795	0,9788	0,9782
3	0,9776	0,9770	0,9764	0,9758	0,9752	0,9745	0,9739	0,9733	0,9728	0,9721	0,9715	0,9708
4	0,9702	0,9696	0,9690	0,9684	0,9678	0,9672	0,9666	0,966	0,9654	0,9648	0,9642	0,9635
5	0,9629	0,9623	0,9617	0,9611	0,9605	0,9599	0,9593	0,9587	0,9581	0,9575	0,9569	0,9563
6	0,9557	0,9551	0,9545	0,9539	0,9533	0,9527	0,9521	0,9515	0,9509	0,9503	0,9497	0,9491
7	0,9485	0,9479	0,9473	0,9467	0,9461	0,9455	0,9449	0,9443	0,9437	0,9431	0,9426	0,9420
8	0,9414	0,9408	0,9402	0,9396	0,939	0,9384	0,9378	0,9372	0,9366	0,936	0,9355	0,9349
9	0,9343	0,9337	0,9331	0,9325	0,9317	0,9313	0,9308	0,9302	0,9296	0,929	0,9284	0,9278
10	0,9273	0,9267	0,9261	0,9255	0,9249	0,9243	0,9237	0,9232	0,9226	0,922	0,9214	0,9208
11	0,9203	0,9197	0,9191	0,9185	0,918	0,9174	0,9168	0,9162	0,9156	0,9150	0,9145	0,9139
12	0,9133	0,9128	0,9122	0,9116	0,911	0,9105	0,9099	0,9093	0,9087	0,9082	0,9076	0,907
13	0,9065	0,9059	0,9053	0,9048	0,9042	0,9036	0,903	0,9025	0,9019	0,9013	0,9008	0,9002
14	0,8997	0,8991	0,8985	0,898	0,8974	0,8968	0,8963	0,8957	0,8951	0,8946	0,894	0,8934
15	0,8929	0,8923	0,8917	0,8912	0,8907	0,8901	0,8895	0,889	0,8884	0,8878	0,8873	0,8867
16	0,8862	0,8856	0,8850	0,8845	0,8840	0,8834	0,8828	0,8823	0,8817	0,8812	0,8806	0,88
17	0,8795	0,8790	0,8784	0,8778	0,8773	0,8767	0,8762	0,8756	0,8751	0,8745	0,874	0,8734
18	0,8729	0,8723	0,8718	0,8712	0,8707	0,8701	0,8696	0,8691	0,8685	0,8681	0,8674	0,8669
19	0,8663	0,8658	0,8652	0,8647	0,8642	0,8636	0,8631	0,8625	0,862	0,8614	0,8609	0,8603
20	0,8598	0,8593	0,8587	0,8582	0,8576	0,8571	0,8566	0,856	0,8555	0,8549	0,8544	0,8539
21	0,8533	0,8528	0,8523	0,8517	0,8512	0,8506	0,8501	0,8495	0,849	0,8485	0,848	0,8474
22	0,8469	0,8464	0,8458	0,8453	0,8448	0,8442	0,8437	0,8432	0,8427	0,8421	0,8416	0,8411
23	0,8405	0,84	0,8395	0,839	0,8384	0,8379	0,8374	0,8369	0,8363	0,8358	0,8353	0,8347
1 j + 0 h	0,8342	0,8337	0,8332	0,8326	0,8321	0,8316	0,8311	0,8306	0,83	0,8295	0,829	0,8285
+ 1 h	0,828	0,8274	0,8269	0,8264	0,8259	0,8253	0,8248	0,8243	0,8238	0,8233	0,8228	0,8222
+ 2 h	0,8217	0,8212	0,8207	0,8202	0,8197	0,8191	0,8186	0,8181	0,8176	0,8171	0,8166	0,8160
+ 3 h	0,8155	0,815	0,8145	0,814	0,8135	0,813	0,8125	0,812	0,8114	0,8109	0,8104	0,8099
+ 4 h	0,8094	0,8089	0,8084	0,8079	0,8074	0,8068	0,8063	0,8058	0,8053	0,8048	0,8043	0,8038
+ 5 h	0,8033	0,8028	0,8023	0,8018	0,8013	0,8008	0,8003	0,7998	0,7993	0,7988	0,7983	0,7978
+ 6 h	0,7973	0,7968	0,7963	0,7958	0,7953	0,7948	0,7943	0,7938	0,7933	0,7928	0,7923	0,7918
+ 7 h	0,7913	0,7908	0,7903	0,7898	0,7893	0,7888	0,7883	0,7878	0,7873	0,7868	0,7863	0,7858
+ 8 h	0,7853	0,7848	0,7843	0,7838	0,7833	0,7828	0,7823	0,7819	0,7814	0,7809	0,7804	0,7799
+ 9 h	0,7794	0,7789	0,7784	0,7779	0,7774	0,7769	0,7765	0,776	0,7755	0,775	0,7745	0,774
+10 h	0,7735	0,773	0,7725	0,7721	0,7716	0,7711	0,7706	0,7701	0,7696	0,7692	0,7687	0,7682
+11 h	0,7677	0,7672	0,7667	0,7663	0,7658	0,7653	0,7648	0,7643	0,7639	0,7634	0,7629	0,7625
+12 h	0,762	0,7615	0,761	0,7605	0,76	0,7595	0,7591	0,7586	0,7581	0,7576	0,7572	0,7567
+13 h	0,7562	0,7557	0,7552	0,7548	0,7543	0,7538	0,7534	0,7529	0,7524	0,7519	0,7515	0,751
+14 h	0,7505	0,75	0,7495	0,749	0,7485	0,748	0,7475	0,747	0,7465	0,7461	0,7456	0,7455
+15 h	0,745	0,7445	0,744	0,7435	0,743	0,7425	0,742	0,7415	0,741	0,7405	0,74	0,7395
+16 h	0,7393	0,739	0,7385	0,738	0,7375	0,737	0,7365	0,736	0,7355	0,735	0,7345	0,734
+17 h	0,7335	0,7333	0,733	0,7325	0,732	0,7315	0,731	0,7305	0,730	0,7295	0,729	0,7285
+18 h	0,728	0,7275	0,7273	0,727	0,7265	0,726	0,7255	0,725	0,7245	0,724	0,7235	0,723
+19 h	0,7227	0,7225	0,722	0,7215	0,721	0,7205	0,72	0,719	0,7185	0,7180	0,7177	0,7175
+20 h	0,717	0,7165	0,716	0,7155	0,715	0,7145	0,714	0,7135	0,7132	0,713	0,7127	0,7125
+21 h	0,712	0,7115	0,711	0,7105	0,71	0,7095	0,7092	0,7087	0,7085	0,7080	0,7075	0,7070
+22 h	0,7065	0,7060	0,7055	0,7050	0,7047	0,7042	0,7040	0,7035	0,7030	0,7025	0,7020	0,7015
+23 h	0,7012	0,7007	0,7005	0,7000	0,6995	0,6990	0,6985	0,6980	0,6975	0,6970	0,6966	0,6965
+24 h	0,6960	0,6955	0,6950	0,6945	0,6940	0,6935						

d) Organisation générale des mesures sur le terrain.

L'exécution des mesures nécessite deux opérateurs. L'un fait les prélèvements, pendant que l'autre accomplit les opérations de mesures.

1) Prélèvements.

Un véhicule léger (2CV Citroën) permet le déplacement rapide aux cours des prélèvements. Ils nécessitent une certaine connaissance géologique et hydrogéologique de la région étudiée. Avant chaque campagne les données hydrogéologiques sont recueillies afin que les mesures prennent leur véritable sens géochimique. De plus, une reconnaissance générale du secteur permet de reconnaître la fréquence des points d'eau par rapport à la topographie. Elle permet de tracer des itinéraires à accomplir à pied et devant en principe rencontrer le plus de points d'eau possible.

2) Mesures.

Les mesures sont effectuées dans la camionnette-laboratoire, qui sert de base fixe. Le choix de cette base est fonction, soit de la situation géographique par rapport au secteur, soit des facilités d'installation.

Le courant électrique est pris sur place le plus près possible du lieu de travail.

L'opérateur exécute les barbotages puis les mesures après la mise en équilibre. Une certaine habileté est nécessaire car il faut en effet prévoir, que les barbotages ont une durée de 15 minutes et que la mise en équilibre dure 3 heures 15 minutes. La durée de la mesure est également de 15 minutes. Il est donc nécessaire de désorber le Radon des tubes de prélèvements sur deux ensembles, afin d'obtenir un nombre suffisant de ballons prêts pour la mesure sans chevauchement, ni retard. En général, la matinée est consacrée au barbotage de prélèvements exécutés la veille. La "récolte" de la matinée est rapportée à la base vers 11 heures 30. Ceci permet d'exécuter encore, avant le repas, de 6 à 8 barbotages, lesquels sont arrêtés vers 15 heures 30. La cadence normale d'analyses est de 25 par jour, exceptionnellement, elle a atteint le chiffre de 45.

4-6) Résultats.

Les mesures sont exécutées en premier lieu sur les eaux des sources rencontrées dans le secteur étudié. Les investigations sont ensuite étendues aux fins de comparaison sur des régions où des concentrations uranifères exploitables existent, ainsi que sur des régions où la radioactivité des eaux avait déjà été reconnue par une méthode différente. Enfin, les résultats acquis au cours de ces travaux ayant été encourageants, une campagne de contre-épreuve a été entreprise.

Ces phases d'études nous ont donc conduits successivement dans les Vosges puis en Vendée, en Bretagne, et enfin en Limousin. Ce sont les résultats obtenus sur des régions si diverses, que nous exposons maintenant.

a) Vosges.

Les prélèvements sont exécutés dans le secteur déjà étudié sur les eaux des sources de grès, les sources de zone granitique et enfin sur les eaux thermales. Les teneurs sont rassemblées en fin d'ouvrage, et seuls les résultats de dépouillement des classes des teneurs seront présentés ici.

1) Eaux des grès - Campagne 1959.

Les résultats sont au nombre de 95, ils peuvent se distribuer dans les classes des teneurs du tableau 72.

L'ajustement graphique à la distribution lognormale est ici excellent (fig. 60). Les paramètres que l'on peut en tirer sont étudiés plus loin.

2) Eaux de sources en terrain granitique.

2-1) Campagne 1958.

La campagne s'est déroulée au flanc Sud de la Vallée de la Moselle, depuis le Ballon de Servance, jusqu'au col du Mont de Fourche. Les sources naissent toutes sur le granite. Les teneurs, rangées par classes logarithmiques, se distribuent suivant le tableau 73.

Tableau 72

Distribution des teneurs en Radon des eaux des grès (Vosges) 1959.

Teneur en 10^{-10} Ci/l	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée	F.C. $\times 100$
1,58	11	11,6	-	-
2	6	-	-	-
2,5	6	6,32	88,53	8853
3,2	11	11,6	82,21	8221
4	8	8,42	70,61	7061
5	14	14,75	62,19	6219
6,3	4	4,21	47,44	4744
8	7	7,37	43,23	4323
10	10	10,5	35,86	3586
12,6	8	8,42	25,36	2536
15,8	7	7,37	16,94	1694
19,9	3	3,16	9,57	957
25,1	3	3,16	6,41	641
31,6	0	-	-	-
39,8	2	2,10	3,25	325
50,1	1	1,15	1,15	115

	95			

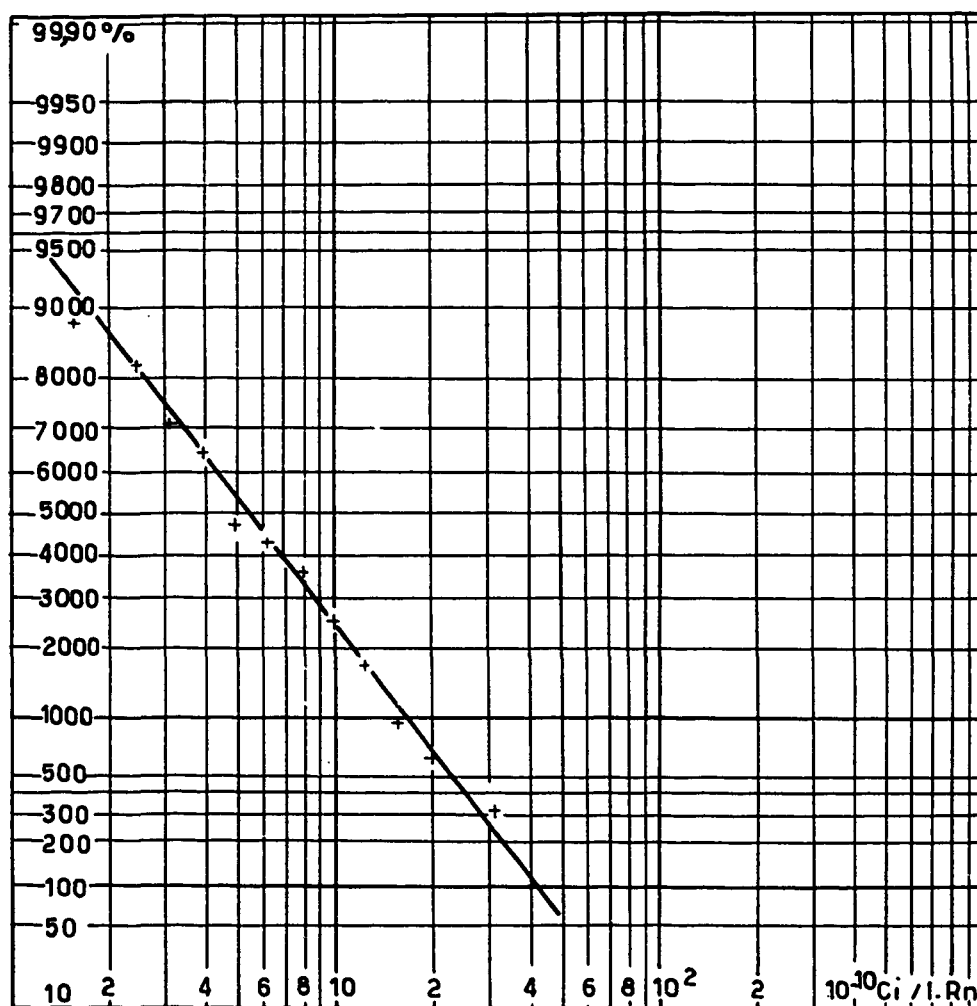


Fig.60 - Ajustement graphique à la loi logarithmique normale de la distribution des teneurs en Radon des eaux des grès (Vosges) Campagne 1959.

Médiane = $5,5 \times 10^{-10}$ Ci/l - Moyenne = 8 - Ecart type logarithmique = 0,89.

Tableau 73

Distribution des teneurs en Radon des eaux de roches granitiques (Vosges) 1958.

Teneur en 10^{-10} Ci/l	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée	F.C. × 100
1,58	9	10		
2	2	2,22	90,00	9000
2,5	0	-	-	-
3,2	4	4,45	87,76	8776
4	2	2,22	83,31	8331
5	5	5,55	81,09	8109
6,3	3	3,33	75,54	7554
8	4	4,45	72,21	7221
10	6	6,66	67,76	6776
12,6	5	5,55	61,10	6110
15,8	5	5,55	55,55	5555
19,9	9	10	50,00	5000
25,1	5	5,55	40,00	4000
31,6	4	4,44	34,45	3445
39,8	4	4,44	30,00	3000
50,1	4	4,44	25,54	2554
63,1	6	6,66	21,10	2110
79,4	2	2,22	14,44	1444
100	2	2,22	12,22	1222
126	4	4,44	10	1000
158	1	1,11	5,55	555
199	1	1,11	4,44	444
251	2	2,22	3,33	333
316	0	-	-	-
398	1	1,11	1,11	111
	90			

Ces différentes valeurs portées sur un papier logarithmique gaussien permettent d'obtenir un certain nombre de points alignés. L'ajustement graphique à la loi-log normale est excellent (fig. 61).

2-2) Campagne de 1959.

Les travaux se sont déroulés dans les Vosges au cours de l'été 1959. Les résultats provenant de sources de pays granitiques sont dissociés de ceux de la précédente campagne car les conditions météorologiques sont sensiblement différentes. De plus, les conditions géologiques de gisements ne sont pas semblables. Les résultats de cette campagne font l'objet du tableau n° 74.

L'ajustement graphique est parfait, mais la droite se brise aux environs de 95×10^{-10} C/l (fig. 62).

3) Les teneurs en Radon des eaux thermales.

Les renseignements recueillis au cours de ces mesures ont un intérêt certain. Ils permettent une comparaison avec les résultats obtenus par des méthodes différentes sur les eaux thermales et sur les eaux froides de la même région.

3-1) Bains-les-Bains.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau 75(a).

Ces valeurs au premier abord ne semblent pas fonction de la température. Cependant, pour tirer quelques conclusions valables, il est nécessaire de les comparer aux teneurs des autres eaux thermales.

3-2) Plombières.

Les résultats seront séparés selon qu'il s'agit des eaux thermales ou des eaux tempérées.

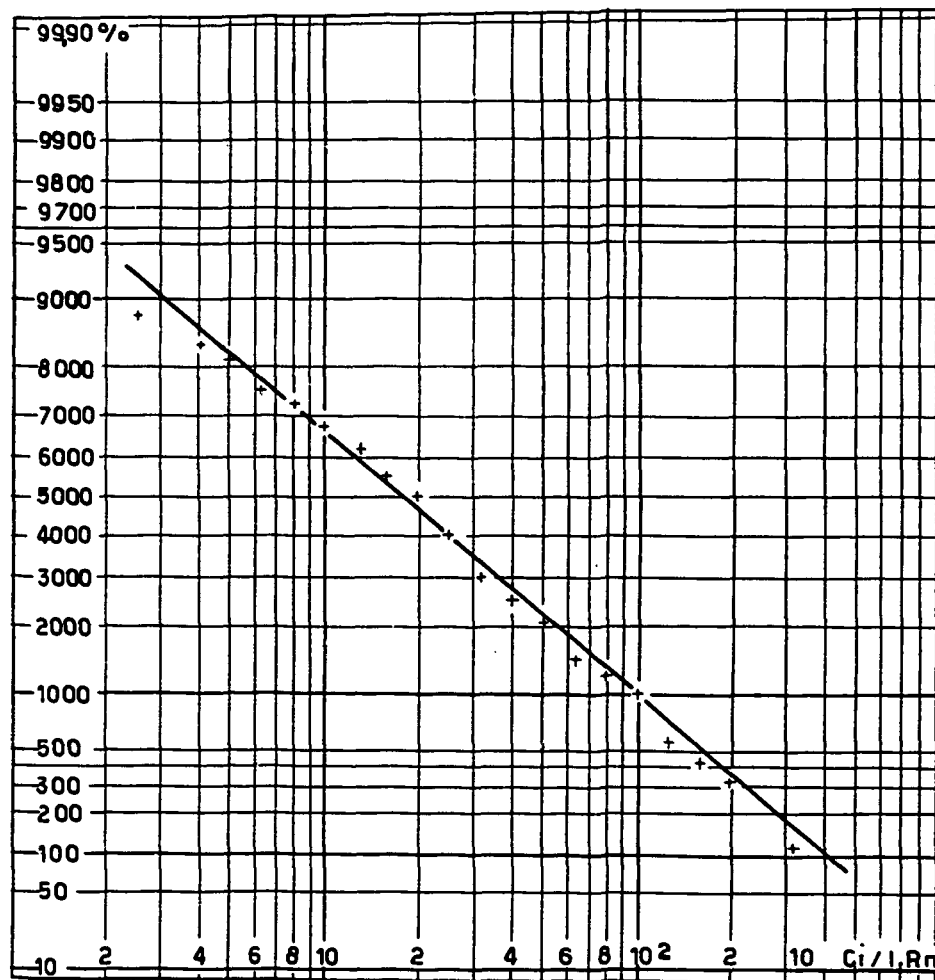


Fig. 61 - Ajustement graphique à la loi logarithmique normale de la distribution des teneurs en Radon des eaux des roches granitiques des Vosges (Campagne 1958).

Médiane = 18×10^{-10} Ci/l - Moyenne = 44×10^{-10} Ci/l - Ecart type logarithmique = 1,36.

Tableau 74

Distribution des teneurs en Radon des eaux de roches granitiques (Vosges) 1959.

Teneur en 10^{-10} C/l	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée	F.C. $\times 100$
1,58	4	5,65	-	-
2	4	5,65	94,45	9445
2,5	0	-	-	-
3,2	3	4,23	88,79	8879
4	0	-	-	-
5	1	1,41	84,56	8456
6,3	1	1,41	83,15	8315
8	3	4,23	81,74	8174
10	2	2,82	77,51	7751
12,6	6	8,45	74,69	7469
15,8	4	5,65	66,24	6624
19,9	7	9,86	60,59	6059
25,1	5	7,05	50,73	5073
31,6	3	4,23	43,68	4368
39,8	3	4,23	39,45	3945
50,1	6	8,45	35,22	3522
63,1	6	8,45	26,77	2677
79,4	7	9,86	18,32	1832
100	2	2,82	8,46	846
126	1	1,41	5,64	564
158	3	4,23	4,23	423
	71	100		

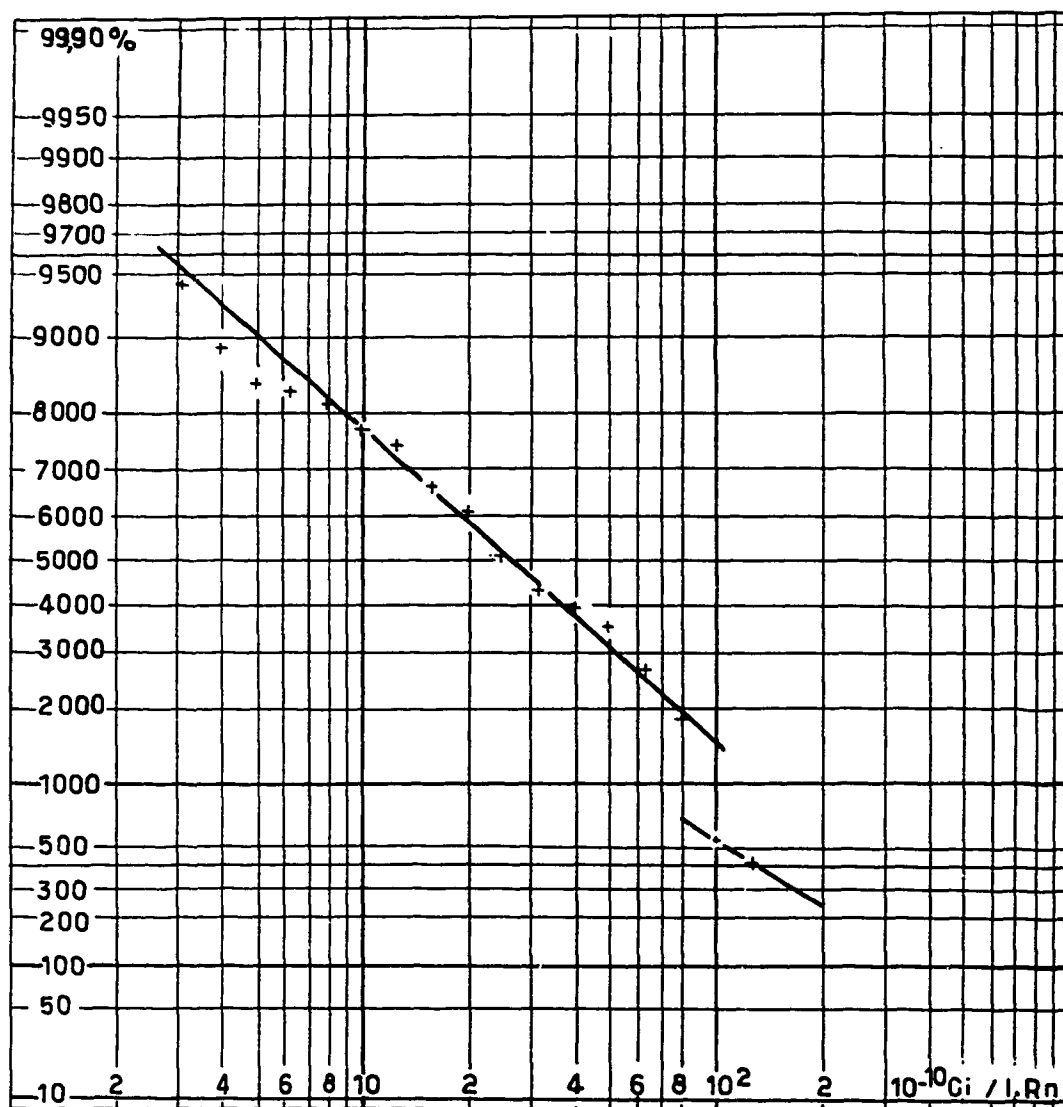


Fig. 62 - Ajustement graphique à la loi logarithmique normale de la distribution des teneurs en Radon des eaux des granites - Vosges - Campagne 1959.

Tableau 75 (a)

Teneurs en Radon des eaux thermales de Bains-les-Bains, Vosges.

	Casquin	Féconde	Artéria	Robinet de fer	Robinet romain	Réservoir Bain romain	Promenade	Parc
Température	49° C	51°	53°	48° 5	41° 5	40°	34°	10°
Teneur 10^{-10} Ci/l	110	140	60	75	60	75	72	125

Ces valeurs au premier abord ne semblent pas fonction de la température. Cependant; pour tirer quelques conclusions valables, il est nécessaire de les comparer aux teneurs des autres eaux

Tableau 75 (b)

Teneurs en Radon des eaux thermales de Plombières, Vosges.

Sources	Thalweg n°9 (soudage)	Thalweg n°10	Robinet romain	Vauquelin	Capucins	Dames	Collecteur romain
Températures	73° 5	55°	68°	69°	50°	52°	57° 8
Teneur 10^{-10} Ci/l	62	80	95	97	140	138	100

Tableau 75 (c)

Teneurs en Radon des eaux tempérées de Plombières, Vosges.

Sources "Savonneuses"	3	4	5	6	7	8	9	10
Température	18°	20°	21° 5	23°	25° 5	26°		33°
Teneur 10^{-10} Ci/l	62	97	100	79	79	20		59

3-3) Luxeuil-les-Bains.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau 75 (d)

Teneurs en Radon des eaux thermales et tempérées
de Luxeuil-les-Bains (Hte-Saône).

	Bursaux	Bénédictins	Dames	Siliceuse	Hygie	Martin	Ferrugineuse N	S
Température	63°	44°	44°	24°	22°	23°	22°	22° 5
Teneur 10^{-10} Ci/l	10	10	30	95	90	65	12	10

3-4) Bourbonne-les-Bains.

Les teneurs mesurées sur les eaux thermales ont été recueillies au cours de l'été 1958. Les résultats présentés ici peuvent être comparés avec ceux obtenus sur les eaux thermales du secteur des Vosges.

Tableau 75 (e)

Teneurs en Radon des eaux thermales de Bourbonne-les-Bains (Hte-Marne).

Captage	N° 1	N° 10	N° 11	N° 12	N° 13	N° 14
Température	56°				66°	
Teneur 10^{-10} Ci/l	92°	138	57	78	118	34

4) Essai d'interprétation.

L'ajustement graphique des distributions en classes logarithmiques permet de déduire un certain nombre de paramètres caractéristiques des distributions (Dixon et Massey 1951, Leveau 1957). D'autre part, il est possible de comparer les plus hautes valeurs des teneurs en radon avec la répartition géographique des teneurs en Uranium dans les roches et dans les eaux.

4-1) Grès.

La moyenne des teneurs ou abondance géochimique dans les formations du Trias inférieur est relativement élevée ; elle atteint 8×10^{-10} Ci/l, tandis que la médiane est de $5,5 \times 10^{-10}$ Ci/litre. La variance n'est pas très élevée, traduisant un groupement des teneurs au voisinage de la moyenne. Une seule source sur les 95 ayant fait l'objet d'analyses, atteint 40×10^{-10} Ci/l c'est-à-dire la dose de tolérance fixée par les biologistes (Combrisson - 1955).

4-2) Granite (campagne de 1958).

L'ajustement graphique à la loi lognormale est excellent. La moyenne ou abondance géochimique est de 44×10^{-10} Ci/l et la variance élevée traduit une courbe aplatie. De plus, 27% des sources visitées ont des teneurs plus élevées que 40×10^{-10} Ci/l.

Il faut aussi observer en outre que certaines sources ont des teneurs très élevées en Radon. En considérant celles dont les teneurs en Radon sont supérieures à 175×10^{-10} Ci/l, c'est-à-dire à deux fois l'écart type, on observe que leur situation géographique n'est pas quelconque :

Tableau 76

Situation géographique et teneur en Radon des eaux dont les conditions de gisements sont particulières.

Localisation Lieux-dits.	Situation géographique Lambert Zone Nord		Teneurs 10^{-10} Ci/litre
1) Source écarts du hameau de la Pile	424-550	113-920	200
2) Source de l'Ecole de la Pile	424-100	114-900	203
3) Source carrière de granite St-Blaise	426-700	112-040	218
4) Source chemin Landres à la Verrerie	426-880	113-160	330
5) Source de la Fonderie Km 7 (Route stratégique).	429-920	115-900	380

Or, dans les environs des deux sources de la Pile, les teneurs en Uranium du granite à amphibole sont les suivantes :

Situation géographique		Teneur μ g/g
424-050	113-960	10
424-940	114-100	16,5
424-200	114-940	12

Pour la source n° 3, les résultats obtenus dans les environs, sont :

426-700	112-040	8
426-010	112-060	15

La source n° 4 est intéressante du fait qu'une anomalie Uranium dans les eaux de ruissellement a été reconnue dans les environs, au cours de nos travaux du début de l'été 1957 : $3,5 \mu$ g/l au point 426-740-113-440 Lambert. Cette teneur élevée a été confirmée par une mission du C.E.A. qui a effectué une campagne hydrogéochimique (Grimbert 1957) : point de prélèvement ; 300 mètres NO de la Maison Forestière de la Verrerie : Uranium dans l'eau 2μ g/l, dans les alluvions 155μ g/g.

Enfin la dernière, (bien que les teneurs en Uranium du granite environnant soient voisines de $6,5 \mu$ g/g), doit cependant retenir l'attention. En effet, dans le voisinage, les eaux de ruissellement contiennent respectivement : $6,25 \mu$ g/litre en 429 020 - 115 340 Lambert sous la cote 1183, et $7,8 \mu$ g/litre en 428 920 - 115 900 Lambert. Ces valeurs importantes sont confirmées par la

mission hydrogéochimique. Le rapport mentionne, en effet, des teneurs élevées dans l'eau et les alluvions au prélèvement 449. (Rapport C.E.A. Inédit. Campagne hydrogéochimique. Vosges 1957).

4-3) Granite -Campagne de 1959).

L'ajustement graphique est excellent. La moyenne est élevée : 95×10^{-10} Ci/l. Le pourcentage des teneurs dépassant 40×10^{-10} Ci/litre est important : 40 %.

Enfin la droite présente une cassure et quelques valeurs se détachent nettement de la droite à partir de 95×10^{-10} Ci/litre.

Il s'agit de quelques sources tempérées utilisées par les thermes de Plombières.

Savonneuse n° 4	97×10^{-10} Ci/litre
Savonneuse n° 5	100×10^{-10} Ci/litre

et d'eaux froides de la Vallée de Plombières :

Source de la gare	131×10^{-10} Ci/litre
Source Yoccope	141×10^{-10} Ci/litre

Le granite dans lequel naissent ces sources contient jusqu'à 28μ g/g d'Uranium (p.125).

Enfin une source du flanc et de la vallée de Corravillers contient 137×10^{-10} Ci/litre de Radon. Les taux en Uranium du granite à amphibole du voisinage sont élevés également.

4-4) Eaux thermales.

Les teneurs en Radon des eaux thermales semblent ne pas s'individualiser parmi celles des eaux froides. Il est remarquable qu'elles croissent lorsque les températures diminuent. Ceci ne doit pas surprendre, si l'on sait que la solubilité du Radon dans l'eau est une fonction inverse de la température. Seules, semblent intéressantes les eaux thermales de Bains-les-Bains, dont les teneurs élevées en Radon ne subissent pas cette variation avec la température et qui sont associées à des valeurs particulièrement hautes d'Uranium.

5) Conclusion.

L'exposé des résultats obtenus au cours des travaux dans les Vosges, permet de tirer les renseignements suivants : les teneurs en Radon des eaux de sources sont le reflet de celles des éléments de la famille Uranium-Radium des roches : ceci avait été prévu par l'équation posée dans les considérations générales (p.221).

Les distributions des teneurs dans les eaux paraissent log normales dans un massif homogène. Les plus élevées semblant avoir une relation directe avec des teneurs élevées en Uranium sont situées au-delà de la valeur $m + 2\sigma$ (1) par exemple pour la campagne 1958 : $m = 44$; $2\sigma = 131$; $(m + 2\sigma) = 175 \times 10^{-10}$ Ci/litre). Cette constatation, de cause fortuite ou non, apparaît importante, car la valeur $m + 2\sigma$ pourrait devenir le seuil d'anomalie.

Enfin les eaux thermales étudiées très souvent, ne présentent qu'un intérêt mineur vis à vis des eaux froides (Roubault A. 1936). Mais dans le secteur étudié, il est nécessaire de faire mention spéciale des eaux thermales de Bains-les-Bains, dont les teneurs en Radon sont élevées et associées à de hautes valeurs en Uranium.

b) Extension à différentes régions de France.

La relation entrevue au cours de nos travaux sur le secteur d'étude des Vosges, devait être précisée et, dans la mesure du possible, il fallait trouver une loi, sinon une règle, qui permettrait d'utiliser le dosage du Radon dans les eaux en prospection des gîtes uranifères.

Pour ce faire, une vérification de nos conclusions et hypothèses obtenues et construites à partir des données de l'étude dans les Vosges s'imposait. L'étude du Radon dans les eaux a donc été étendue en Vendée et en Bretagne sur des secteurs connus pour leur minéralisation en Uranium ou leurs teneurs élevées en Radon des eaux (teneurs reconnues par des travaux antérieurs).

1) Vendée.

1-1) Situation géographique et géologique du secteur étudié.

Le secteur étudié est situé à l'est de Mortagne/Sèvre. Il représente environ une bande de 10 km de long et de 6 km de large, d'orientation sensiblement NNE, c'est-à-dire presque perpendiculaire à la structure générale du batholithe de Mortagne-sur-Sèvre.

(1) m = moyenne arithmétique, σ = écart-type.

Les mesures ont été exécutées sur le massif granitique au Sud-Est de Mortagne-sur-Sèvre. Il a été étudié en détail lors des prospections exécutées par le C.E.A. pour recherche d'Uranium. La bande couverte se superpose à celle étudiée par le Centre de Recherches Radiogéologiques en vue de reconnaître la distribution de la teneur en U.

Les eaux du secteur étudié ont été prélevées dans les sources ou puits du granite. Ce granite montre deux faciès : L'un à gros grain et deux micas avec muscovite dominant sur la biotite. Il est souvent porphyroïde, l'autre à grain fin, à deux micas avec biotite dominante sur la muscovite. Ce dernier forme une bande d'orientation Est-Ouest, séparant le secteur étudié à peu près en deux (Sanselme et Gerstner - 1958). Le secteur ainsi défini comprend les deux gisements exploités de la Chapelle-Largeau et de la Commanderie (fig. 63).

L'étude en a été exécutée au cours de deux campagnes. Les conditions météorologiques n'ayant pas été semblables (au cours de la première : pluies fréquentes, au cours de la seconde : sécheresse relative), les résultats ont été dissociés pour les besoins de l'interprétation (voir p. 221).

1-2) Campagne de 1958.

La surface étudiée ne dépasse pas la route nationale N 148 bis de Nantes à Poitiers.

Le tableau 77 rassemble les résultats obtenus.

Tableau 77
Distribution des teneurs en Radon des eaux d'une partie du batholite de
Mortagne-sur-Sèvre (Vendée) - Campagne 1958.

Teneur en 10^{-10} Ci/l	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée	FC $\times 100$
1,58	2	1,96	-	-
2	1	0,98	96,88	9688
2,5	1	0,98	95,90	9590
3,2	3	2,74	94,92	9492
4	0	-	-	-
5	0	-	-	-
6,3	1	0,98	92,08	9208
8	4	3,92	91,10	9110
10	1	0,98	87,18	8718
12,6	1	0,98	86,20	8620
15,8	2	1,96	85,22	8522
19,9	5	4,90	83,26	8326
25,1	2	1,96	78,36	7836
31,6	6	5,88	76,4	7640
39,8	5	4,90	70,52	7052
50,1	9	8,82	65,62	6562
63,1	4	3,92	56,80	5680
79,4	7	6,86	52,88	5288
100	1	0,96	46,02	4602
126	3	2,93	44,04	4404
158	8	7,84	42,10	4210
199	9	8,82	35,26	3526
251	5	4,90	26,44	2644
316	5	4,90	22,54	2254
398	9	8,82	17,64	1764
501	2	1,96	8,82	882
631	0	-	-	-
794	2	1,96	6,86	686
1000	3	2,94	4,90	490
1260	1	0,98	1,96	196
	1	0,98	0,98	98
	102			

Reportées sur le papier logarithmique gaussien, les valeurs permettent d'obtenir une droite qui se brise à 40 % environ - (fig. 64).

La signification de cette solution de continuité est dégagée plus loin.

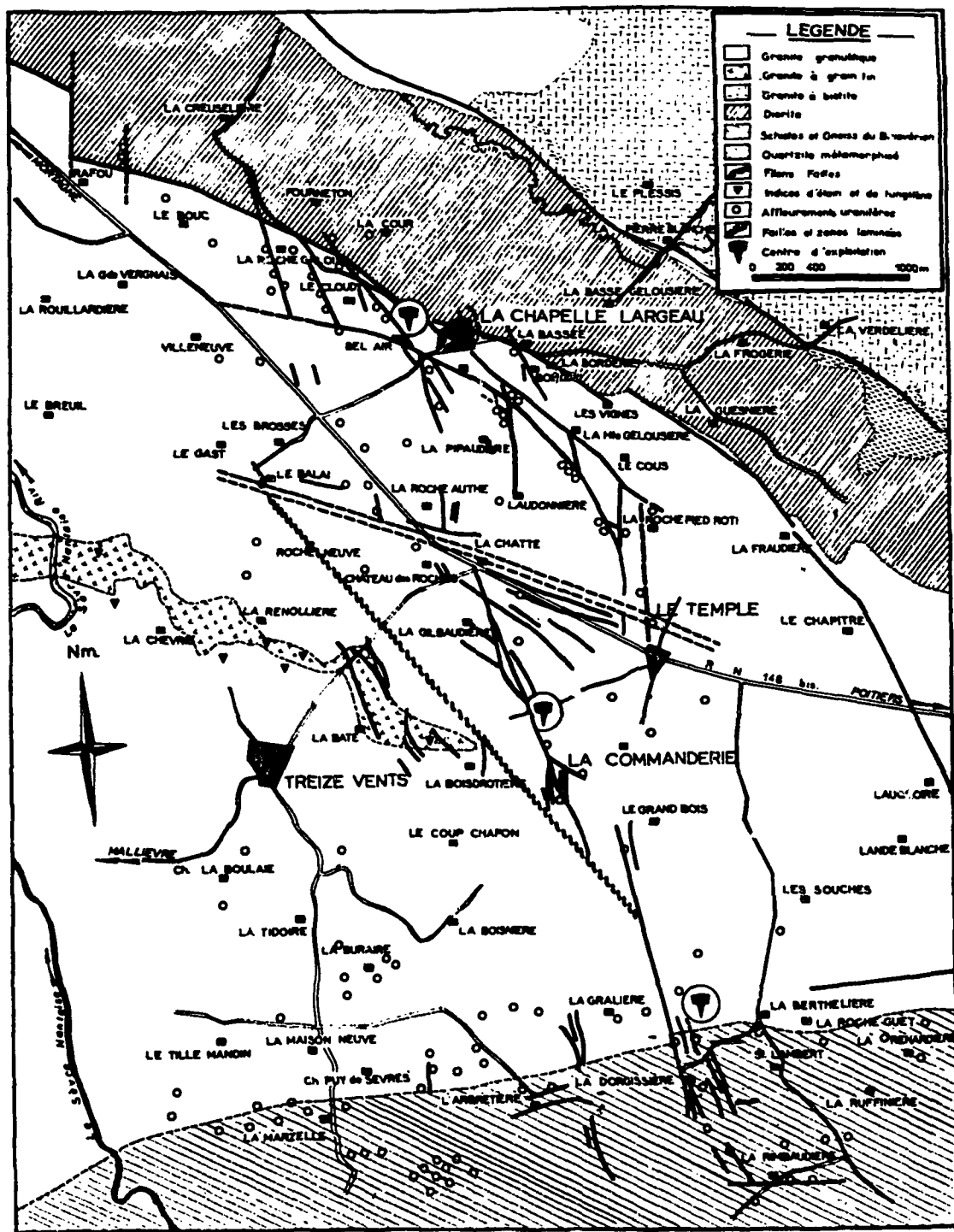


Fig.63 - La région uranifère de la Chapelle-Largeau et de la Commanderie (d'après Sanselme H. et Gerstner A.).

1-3) Campagne de 1959.

L'aire sur laquelle les travaux se sont déroulés, s'étend au Nord de la route de Nantes à Poitiers. Les résultats ont permis de dresser le tableau 78.

Tableau 78

Distribution des teneurs en Radon des eaux d'une partie du batholite de Mortagne-sur-Sèvre (Vendée) - Campagne 1959

Teneur en 10^{-10} Ci/l	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée	F.C. × 100
1,58	5	8,2		
2	1	1,64	92,58	9258
2,5	0	-	-	-
3,2	0	-	-	-
4	3	4,92	90,94	9094
5	2	3,28	86,02	8602
6,3	2	3,28	82,74	8274
8	3	4,92	79,46	7946
10	1	1,64	74,54	7454
12,6	5	8,2	72,9	7290
15,8	1	1,64	64,7	6470
19,9	2	3,28	63,06	6306
25,1	1	1,64	59,78	5978
31,6	3	4,92	58,14	5814
39,8	1	1,64	53,12	4312
50,1	2	3,28	52,48	5248
63,1	0	-	-	-
79,4	5	8,2	49,2	4920
100	5	8,2	41	4100
126	1	1,64	32,80	3280
158	5	8,2	31,16	3116
199	1	1,64	22,96	2296
251	1	1,64	21,32	2132
316	3	4,92	19,68	1968
398	2	3,28	14,76	1476
501	0	-	-	-
631	3	4,92	11,48	1148
794	1	1,64	6,56	656
1000	1	1,64	4,92	492
1260	1	1,64	3,28	328
1580	0	-	-	-
1996	1	1,64	1,64	164
	61	1,00		

L'étude de cette représentation graphique des résultats de la campagne 1958 permet de conclure que 70% des eaux analysées ont des teneurs égales ou supérieures à 40×10^{-10} Ci/litre. De plus, la droite présente une cassure aux environs de 40 % de la population étudiée.

Le même phénomène se produit pour la distribution des résultats de la seconde campagne, où 52 % des eaux ont des teneurs égales ou supérieures à la dose de tolérance.

La carte de répartition géographique des points situés au-delà de la valeur : $120-130 \times 10^{-10}$ Ci/l. (p. 221) a permis d'établir la figure 66.

Les points se groupent suffisamment pour permettre de dessiner des zones. La densité des points comparés avec la carte des indices uranifères de la même région montre une corrélation nette (fig. 63) (Sanselme et Gerstner 1958).

Si cette comparaison est effectuée sur la carte (fig. 67) des levées géochimiques dans les sols

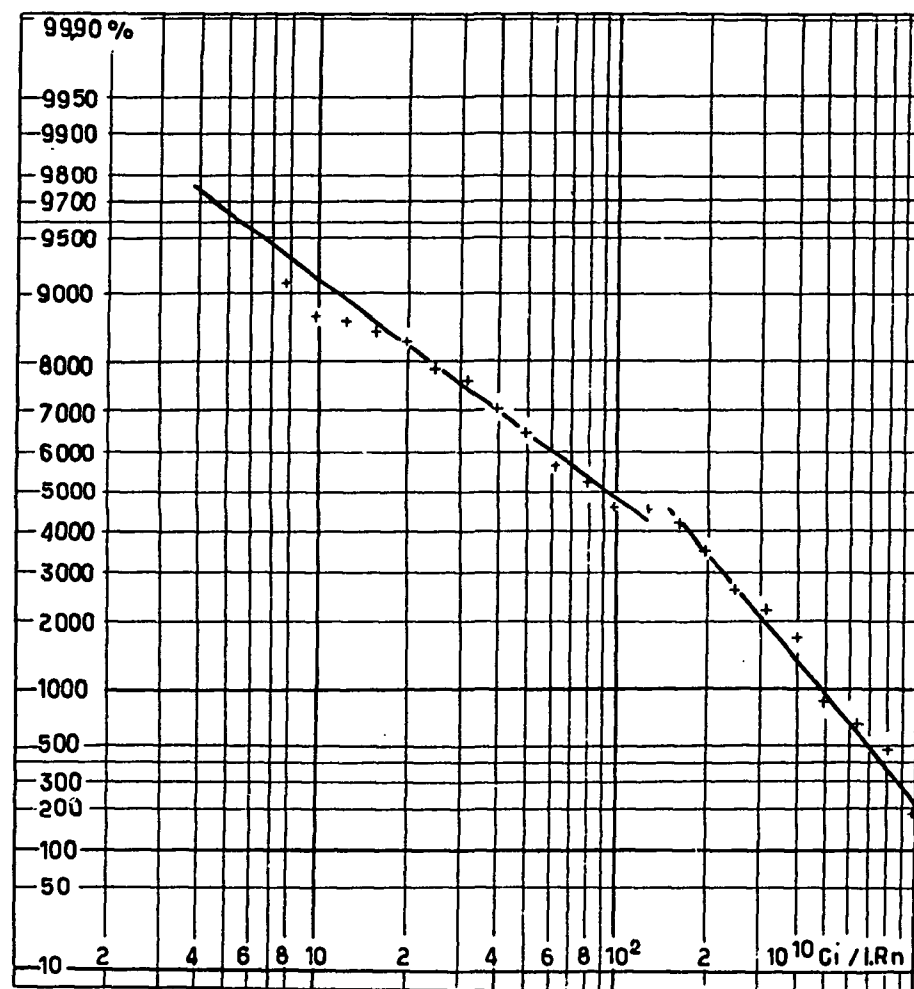


Fig. 64 - Ajustement graphique à la loi logarithmique normale de la distribution des teneurs en Radon des eaux de la région Les Epesses-Mallièvre (Vendée) - Campagne 1958.

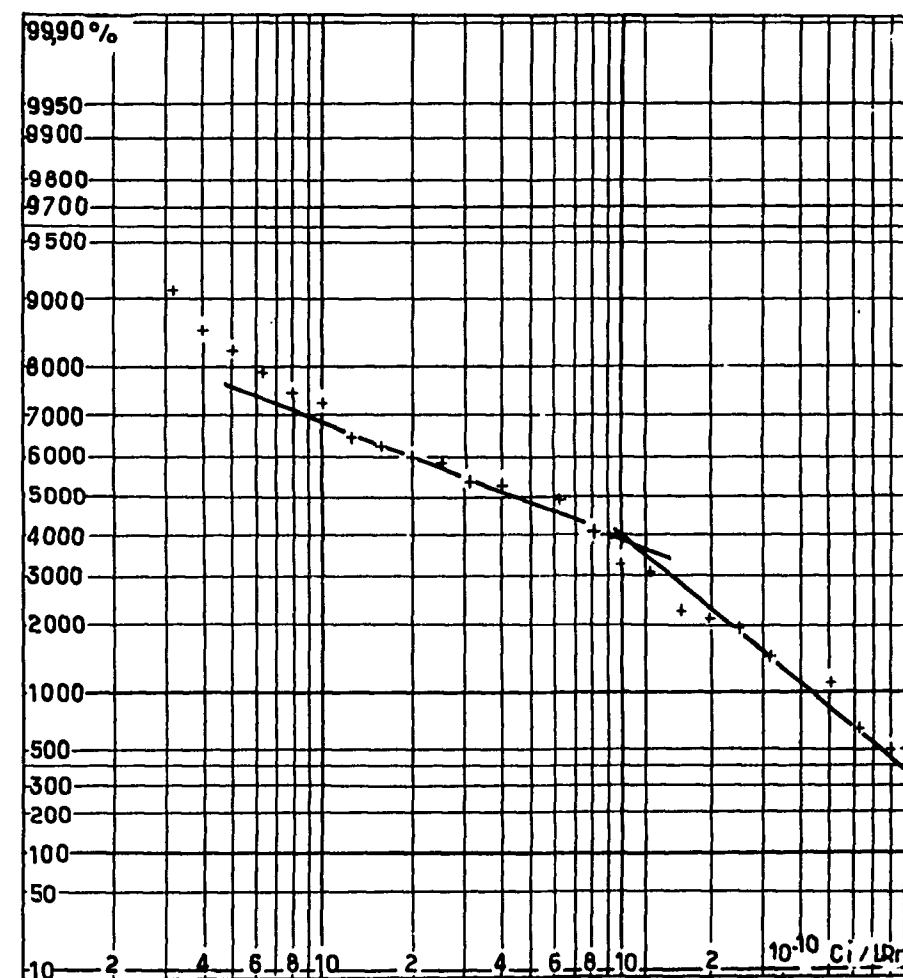


Fig. 65 - Ajustement graphique à la loi logarithmique normale de la distribution des teneurs en Radon des eaux de la région de la Chapelle-Largeau (Vendée) - Campagne 1959.

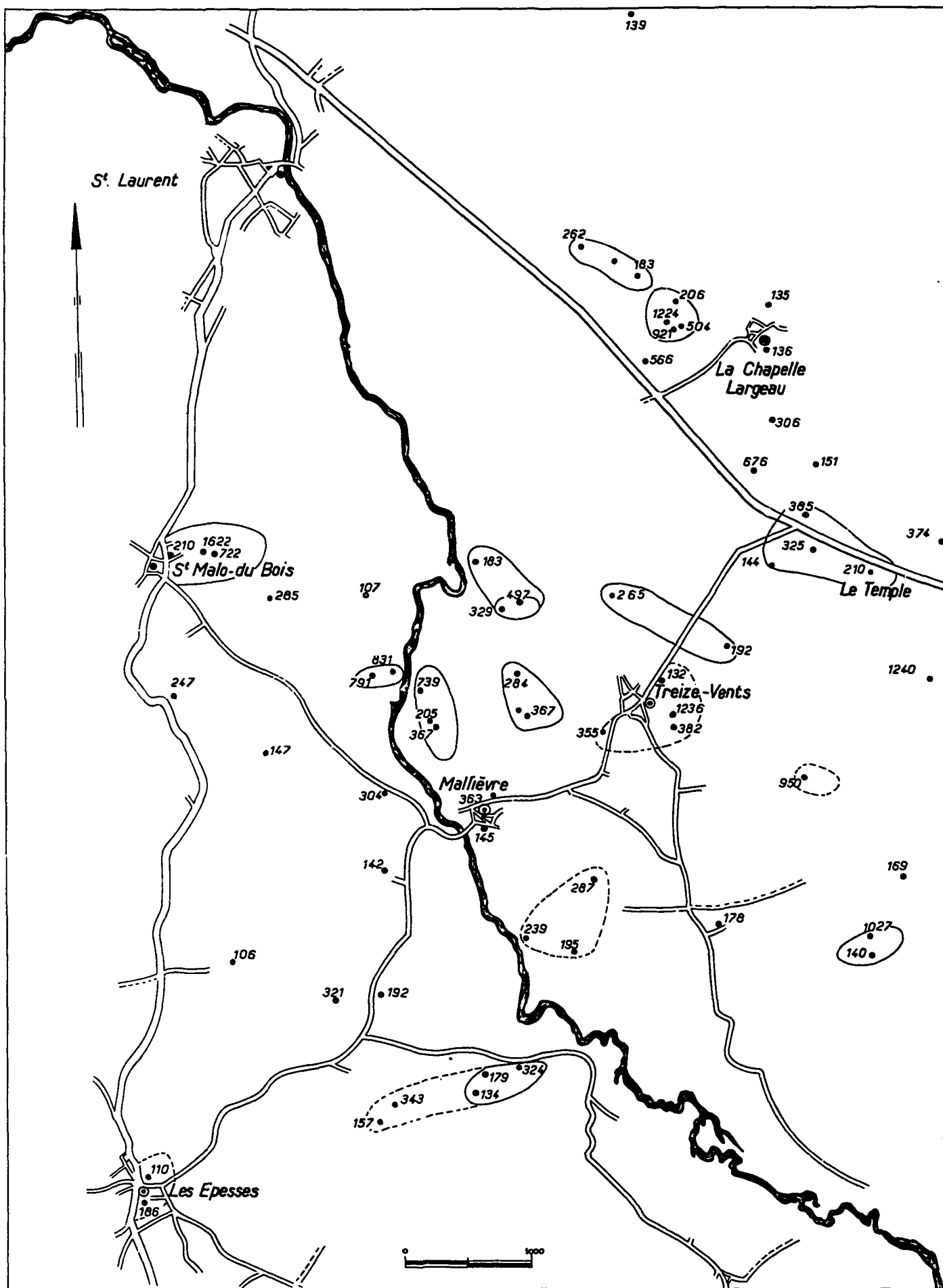


Fig.66 - Distribution géographique des points d'eau dont la teneur en Radon dépasse 120×10^{10} Ci/l. Comparer les anomalies de Radon et les indices uranifères représentés sur la figure 63.

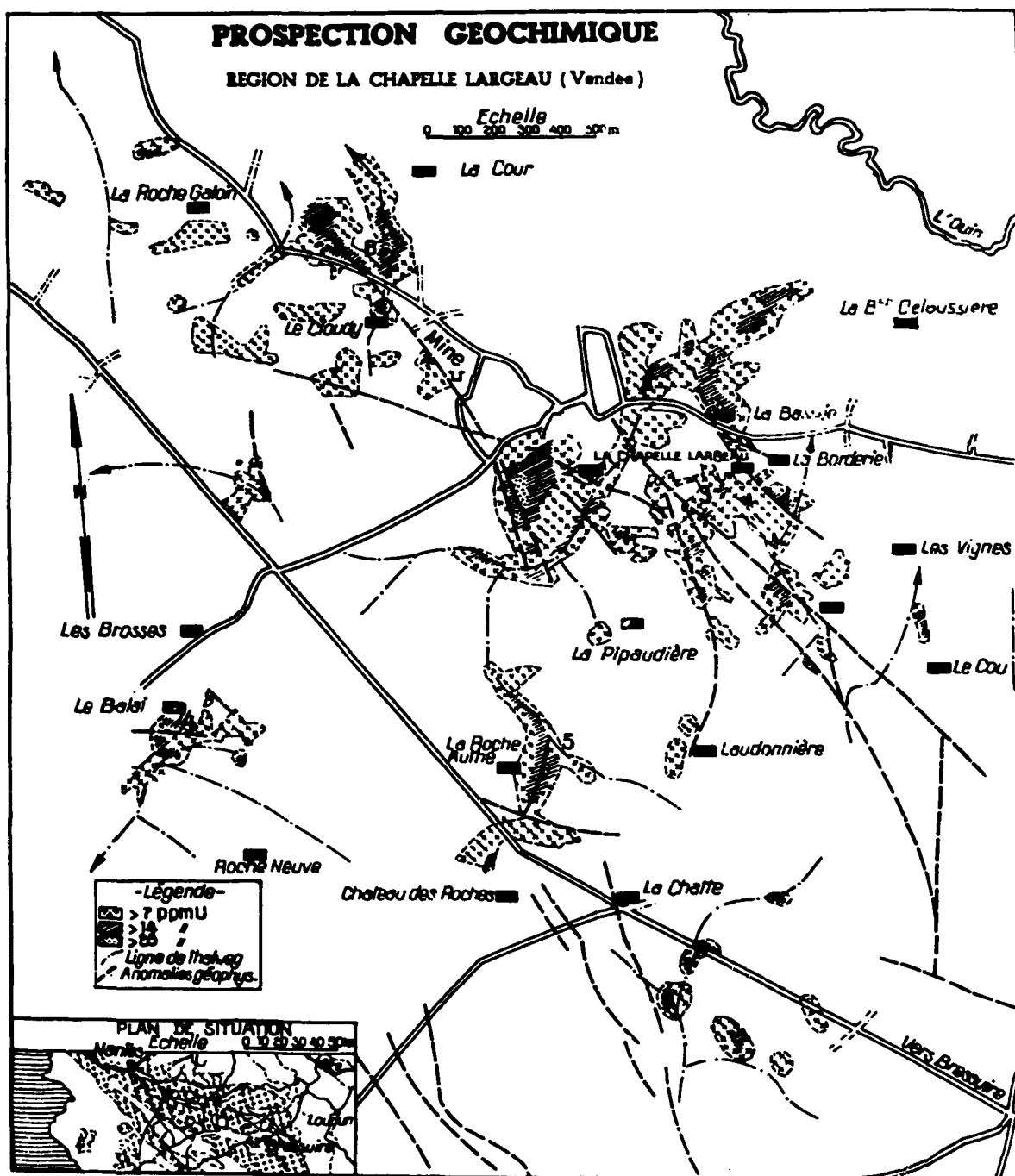


Fig.67 - Carte des levés géochimiques concernant l'Uranium dans les sols, région de la Chapelle-Largeau. Vendée (d'après Grimbert A., 1957).

de la région de la Chapelle-Largeau (Grimbert A. 1957), la coïncidence est plus frappante encore (fig.68). De plus, la carte géochimique ne donne pas de Cloudy comme anomalie importante, tandis que les analyses de Radon indiquent des teneurs très élevées. Ceci prend une singulière valeur puisqu'un filon du système minéralisé est situé dans ce secteur (Sanselme H. et Gerstner A. 1958).

2) Bretagne.

Des campagnes de mesures ont été exécutées en Bretagne en 1958 et en 1959. Elles ont porté respectivement sur une région où ne sont pas connues d'occurrences uranifères, mais où les teneurs en Radon sont particulièrement élevées, (Région de Questembert) et sur une région où la présence de minéralisations uranifères a été démontrée (région de Pontivy). Enfin, dans les deux cas, les eaux de formations métamorphiques voisines ont été étudiées.

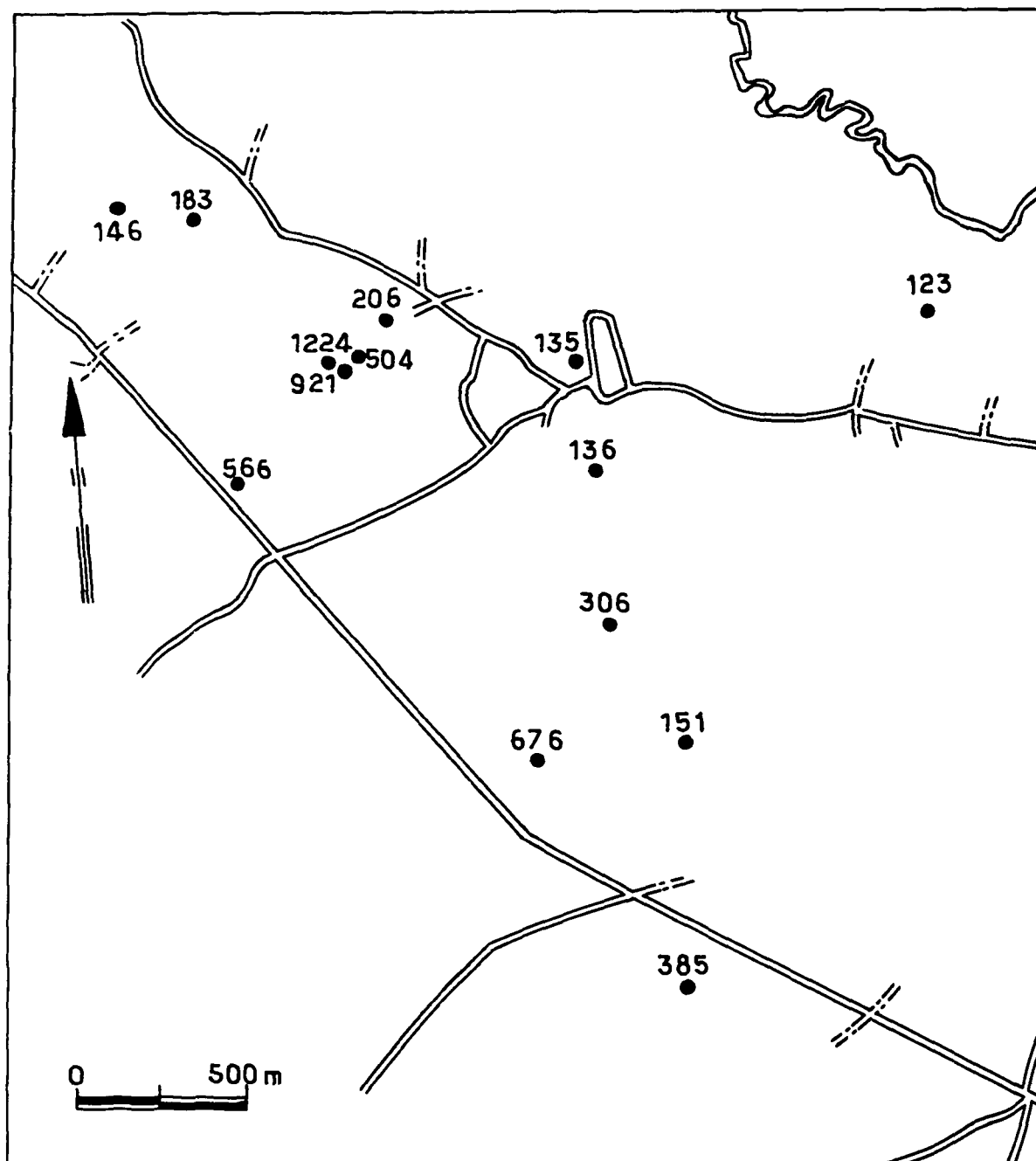


Fig.68 - Distribution géographique des anomalies de radon dans les eaux, région de la Chapelle-Largeau. Vendée. Comparer avec la figure 67.

2-1) Région de Questembert - Campagne de 1958.

Situation géographique et géologique.

Le secteur étudié au cours de cette campagne est situé au N.E. de la ville de Vannes (Morbihan). La limite Nord est constituée par la ligne Questembert - L'Orme. La limite Est suit la route nationale 774 depuis l'Orme jusqu'au pont situé à 1 km au Sud de Limerzel. La limite Sud est formée par une ligne partant de ce dernier point jusqu'au hameau de Tré et de là au confluent du ruisseau de Kernedré et du ruisseau du moulin de Tohou. Ce dernier constitue la limite Ouest jusqu'à Questembert. La surface comprise dans ce périmètre est d'environ 30 km².

Ce secteur s'étend sur les formations de granite, de gneiss et de micaschistes qui, en longues trainées parallèles, forment la zone synclinale (Synclitorium de St Julien de Vouvantes) au N.E. de Vannes.

Les micaschistes succèdent aux gneiss et la granulite envahit les axes synclinaux.

Cette région présente donc une grande complexité géologique, cependant, il est possible de séparer les eaux provenant soit de la granulite, soit des formations métamorphiques ou hautement métamorphiques.

Les résultats sont consignés dans les tableaux 79 et 80.

Tableau 79

Distribution des teneurs en Radon des eaux du massif granulitique de Questembert (Bretagne) - Campagne 1959.

Teneur en 10^{-10} Ci/l	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée	FC × 100
1,58	1	2,3	-	-
2	-	-	-	-
2,5	-	-	-	-
3,2	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6,3	-	-	-	-
8	-	-	-	-
10	-	-	-	-
12,6	1	2,3	99,85	9985
15,8	1	2,3	97,55	9755
19,9	-	-	-	-
25,1	-	-	-	-
31,6	2	4,8	95,25	9525
39,8	1	2,4	90,45	9045
50,1	4	8,15	88,05	8805
63,1	2	4,8	79,9	7990
79,4	1	2,4	75,1	7510
100	3	6,1	72,7	7270
126	5	10,2	66,6	6660
158	4	8,15	56,4	5640
199	6	12,2	48,25	4825
251	9	18,3	36,05	3605
316	2	4,8	17,75	1775
398	2	4,8	12,95	1295
501	4	8,15	10,55	1055
631	1	2,4	2,4	240
794				
	49	100		

L'ajustement graphique, bien qu'imparfait, est satisfaisant (fig. 69) pour les teneurs en Radon des eaux de la granulite.

Dans le cas des gneiss et des micaschistes, l'ajustement est encore satisfaisant (fig. 70).

L'examen de ces droites permet de tirer les conclusions suivantes :

a) Zone de la granulite.

La médiane est élevée : 160×10^{-10} Ci/litre et la moyenne atteint 235×10^{-10} Ci/litre. Ici 90% des eaux étudiées ont des teneurs égales ou supérieures à la dose de tolérance (40×10^{-10} Ci/litre). La valeur qui limite 95% des résultats (2σ) est 295×10^{-10} Ci/litre. Cette valeur est très élevée et il semble permis d'estimer qu'au-delà les conditions de gisements sont différentes (cf. page 221).

Les sources dont la teneur en Radon de l'eau dépasse ce chiffre sont les suivantes :

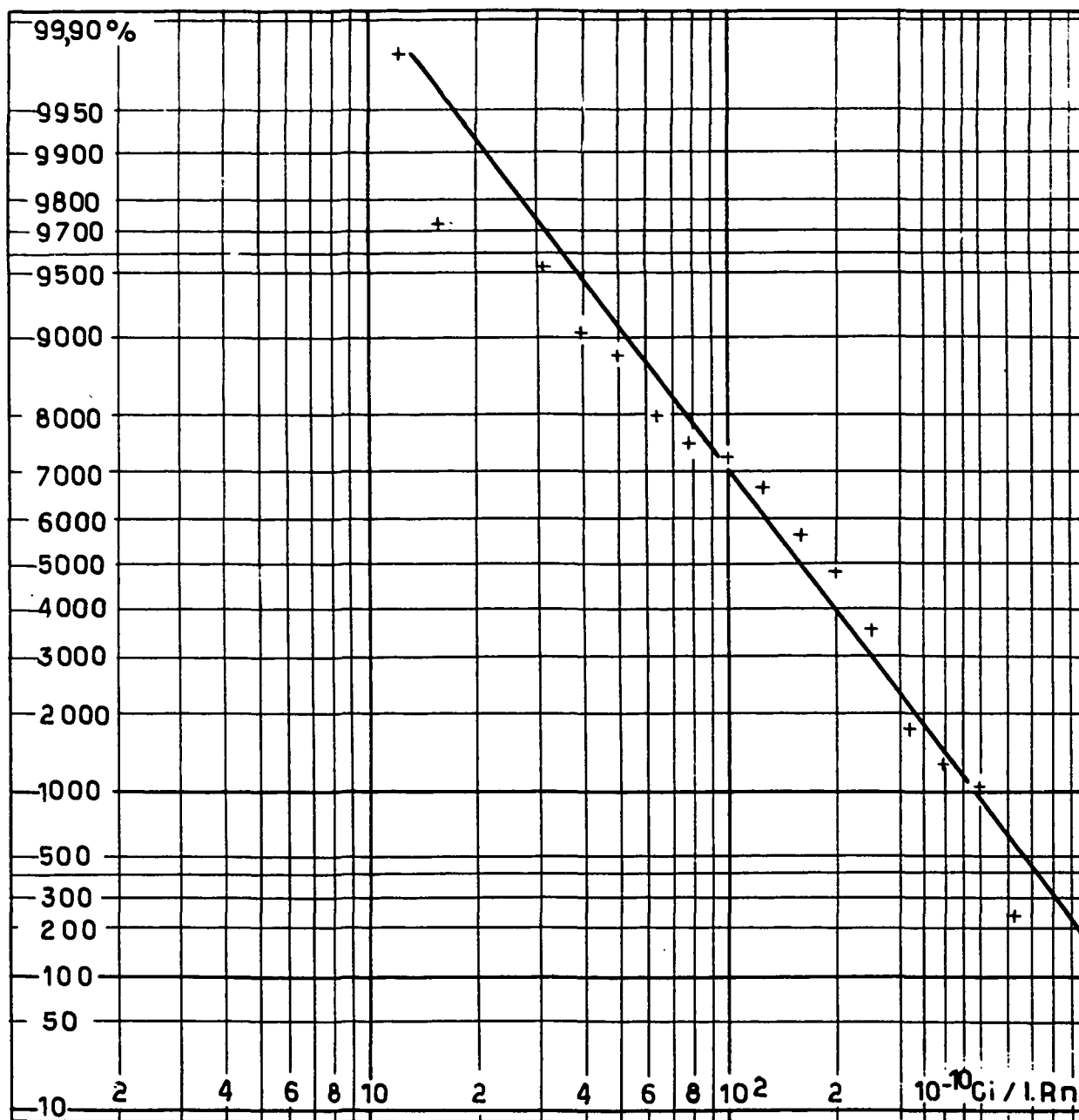


Fig. 69 - Ajustement graphique à la loi logarithmique normale de la distribution des teneurs en Radon des eaux de la granulite. Région de Questembert (Morbihan)

Médiane = 160×10^{-10} Ci/l - Moyenne = 235×10^{-10} Ci/l - Ecart type logarithmique = 0,87.

Tableau 80

Distribution des teneurs en Radon des eaux des gneiss et des micaschistes de la région de Questembert (Bretagne) - Campagne 1959.

Teneur en 10^{-10} Ci/l	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée	FC x 100
1,58	1	3,85	-	-
2	-	-	-	-
2,5	-	-	-	-
3,2	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6,3	-	-	-	-
8	2	7,7	96,25	9625
10	1	3,85	88,55	8855
12,6	2	7,7	84,7	8470
15,8	1	3,85	77,00	7700
19,9	1	3,85	73,15	7315
25,1	2	7,7	69,30	6930
31,6	1	3,85	61,60	6160
39,8	5	19,25	57,75	5775
50,1	2	7,7	38,50	3850
63,1	1	3,85	30,80	3080
79,4	1	3,85	26,95	2695
100	0	-	-	-
126	2	7,7	23,10	2310
158	1	3,85	15,40	1540
199	1	3,85	11,55	1155
251	2	7,7	7,7	770
316	26	100		

Kervran = 297×10^{-10} Ci/litre

Montaigut = 342

Brunelay = 380

Le Boulín = 448

La Grée aux chevaux = 455

Bois des Plats Lavoir en 44,7 - 77,2 = 540×10^{-10} Ci/litre.

Le Sourd 548

Coët-Drot 580

Limerzel 604

Coët-Bihan 765

Sept de ces points d'eau se trouvent situés au contact, ou très près du contact, entre la granulite et les micaschistes ou les gneiss : Montaigut, Limerzel, Brunelay, Le Boulín, La Grée aux Chevaux, le Sourd et Coët-Bihan. Deux seulement sont situés au coeur de la formation granitique : Coët-Drot, le Bois des Plats. Enfin le dernier : Kervran est situé au contact de la granulite et d'un filon de quartz.

Aucun des résultats de prospections effectuées par le Commissariat de l'Energie Atomique dans ce secteur n'est publié, mais le B.R.G.G.M. aurait trouvé dans cette région au cours de prospection pour étain, des indices de monazite. N'ayant pu reconnaître les localisations exactes des minéralisations, nous sommes réduits à des suppositions et ne pouvons que souhaiter des confrontations.

b) Zone des micaschistes et des gneiss.

La médiane et la moyenne de la distribution du Radon des eaux de ces formations sont notablement plus faibles que pour la granulite. Elles atteignent respectivement : 45 et 78×10^{-10} Ci/litre.

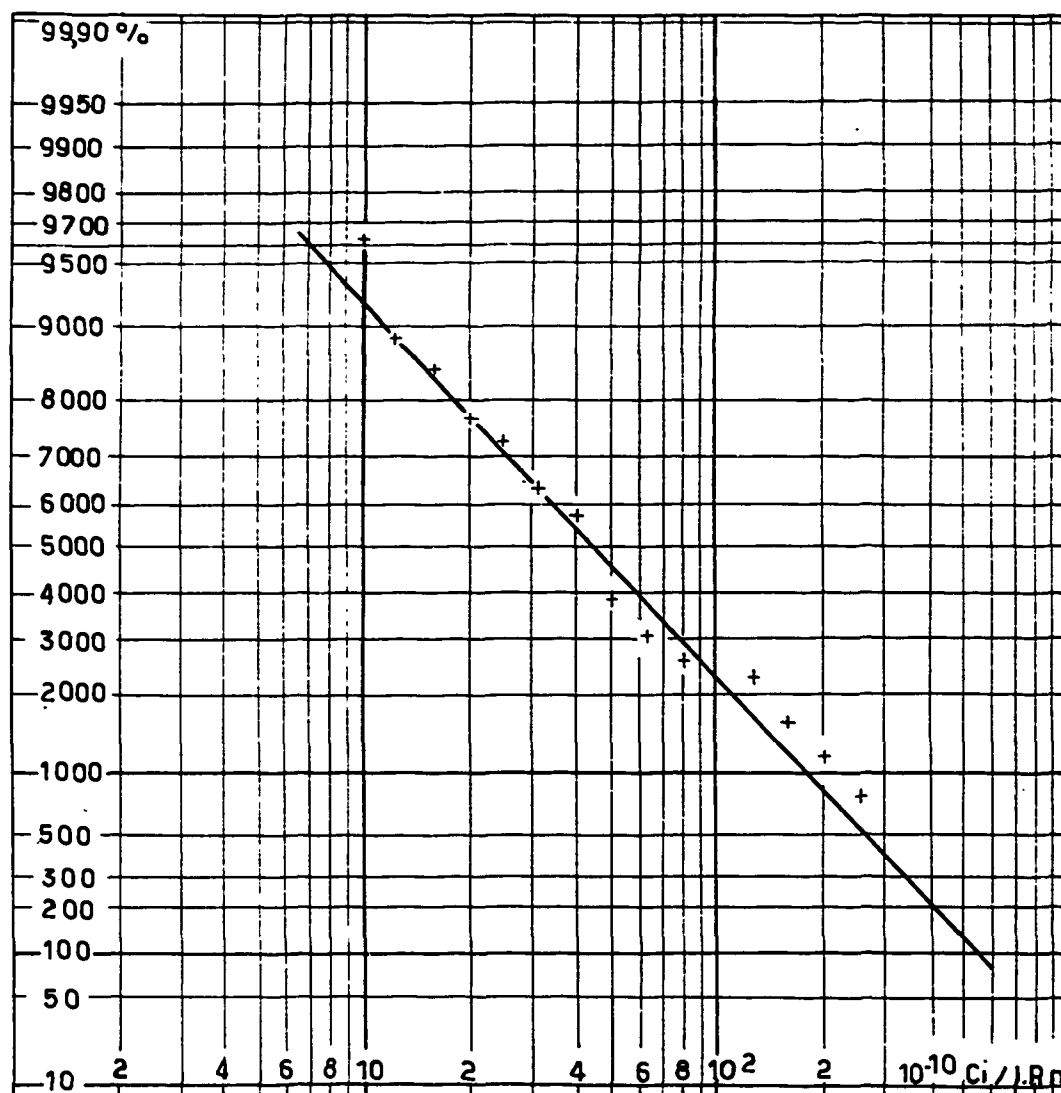


Fig. 70 - Ajustement graphique à la loi logarithmique normale de la distribution des teneurs en Radon des eaux des gneiss et micaschistes de la région de Questembert - Morbihan

Médiane = 45×10^{-10} Ci/l - Moyenne = 78×10^{-10} Ci/l - Ecart type logarithmique = 1,07.

Cependant, 67 % des eaux de sources ou de puits ont des teneurs égales ou supérieures à 40×10^{-10} Ci/l. Enfin quatre sources ont des teneurs particulièrement élevées :

Carnely	193×10^{-10} Ci/l
Kérantal	224
Kerdin	264
Kergonadan	282

Le premier et le troisième point d'eau sont situés en plein massif de gneiss granulitique, tandis que le second et le quatrième sont situés très près du contact des micaschistes avec la granulite. Comme précédemment, la comparaison avec les résultats des autres prospections est souhaitable.

2-2) Bretagne Centrale - Région de Pontivy - Campagne de 1959

Situation géographique et géologique.

Le secteur étudié est un quadrilatère de 15 sur 10 km ayant Pontivy comme centre. Les sommets de ce rectangle sont les points 104-358 ; 209-358 ; 209-348 ; 104-348 (coordonnées Lambert II - Zone Centrale).

Ce quadrilatère couvre une partie du massif granitique de Pontivy et les schistes briovériens.

La masse granitique est constituée par une granulite (granulite de Pontivy : Barrois 1886). C'est une roche massive à gros grains (5 à 10 mm) à mica noir et blanc. Les feldspaths sont par ordre d'importance décroissante : orthose, microcline, oligoclase. Le quartz est automorphe, quelquefois granuleux. En bordure du batholite, des pegmatites à tourmaline et des aplites à grenat sont souvent rencontrées.

Les schistes du briovérien sont argileux, fissiles. A proximité du granite ils deviennent noduleux et micacés. Quelques filons de pegmatite et d'aplite avec micaschiste à biotite, grenat et staurotide soulignent le contact métamorphique.

Rappelons que le massif granitique fait partie du grand axe granitique qui s'étend de Locronan (Finistère) à Ploërmel (Morbihan). Cette traînée granitique, syncinématique, passe au Nord à des batholites post-tectoniques dont les apophyses atteignent le Coblencien. La granulite élaborée peut être antérieurement aux plissements carbonifères, s'est mise en place dans un stade tardif, post-tectonique : massif de Langonet-Mellionec et St Caradec-Trégomel. (Jérémie E. et Pruvost P. 1955).

C'est au contact du Briovérien et du massif syncinématique de Pontivy que se localisent les filons à pechblende. Ils apparaissent dans la granulite, près du contact ou en rapport avec de grandes enclaves schisteuses indiquant la proximité de celui-ci.

Quelquefois, des minéralisations intrabatholitiques apparaissent : région de Guern.

Résultats.

Les résultats recueillis au cours de cette campagne, sont séparés suivant qu'il s'agit d'eaux recueillies dans les sources ou les puits de la région granitique ou d'eau de sources du Briovérien. Enfin, il semble nécessaire de noter qu'une période de sécheresse a précédé les mesures. Il n'a pas été rare de rencontrer de nombreux points d'eau taris.

Les tableaux suivants rassemblent les résultats groupés en classes logarithmiques.

Tableau 81

Distribution des teneurs en Radon des eaux des schistes métamorphiques briovériens de la région de Pontivy (Bretagne) Campagne 1960.

Teneur en 10^{-10} Ci/l	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée	EC × 100
1,58	1	2,78		
2	1	2,78	97,22	9722
3,2	2	5,56	94,44	9444
4	1	2,78	88,84	8884
5	2	5,56	86,06	8606
6,3	2	5,56	80,5	8050
8	1	2,78	74,94	7494
10	0	-	-	-
12,6	4	11,1	72,16	7216
15,8	2	5,56	61,06	6106
19,9	3	8,3	55,5	5550
25,1	3	8,3	47,2	4720
31,6	6	16,7	38,9	3890
39,8	2	5,56	22,2	2220
50,1	3	8,3	16,64	1664
63,1	1	2,78	8,34	834
78,4	2	5,56	5,56	556
100				
	36	100		

Tableau 82

Distribution des teneurs en Radon des eaux du massif granitique de Pontivy (Bretagne) - campagne 1960.

Teneur en 10^{-10} Ci/l	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée	F.C. $\times 100$
1,58	-	-	-	-
2	2	1,6	99,2	9920
3,2	3	2,4	97,6	9760
4	3	2,4	95,2	9520
5	1	0,8	92,8	9280
6,3	1	0,8	92,0	9200
8	3	2,4	91,2	9120
10	1	0,8	88,8	8880
12,6	5	4	88,0	8800
15,8	2	1,6	84,0	8400
19,9	2	1,6	82,4	8240
25,1	4	3,2	80,8	8080
31,6	3	2,4	77,6	7760
39,8	3	2,4	75,2	7520
50,1	10	8	72,8	7280
63,1	9	7,2	64,8	6480
79,4	6	4,8	57,60	5760
100	11	8,8	52,80	4280
126	11	8,8	44,00	4400
158	17	13,6	35,20	3520
199	13	9,5	21,60	2160
251	11	8,8	12,00	1200
316	2	1,6	3,2	320
398	2	1,6	1,6	160
	125	100		

Essai d'interprétation.

1) Les teneurs en Radon des eaux des schistes métamorphiques sont à rapprocher de celles obtenues dans les Vosges en 1958 sur le granite. La moyenne est de 31×10^{-10} Ci/litre, la médiane, 21×10^{-10} Ci/l. Le nombre de sources ou de puits dont le taux atteint ou dépasse 40×10^{-10} Ci/l est de 22 % (fig. 71). Enfin la valeur $m + 2 \sigma$ est de 90×10^{-10} Ci/litre et seulement une source atteint 96×10^{-10} Ci/litre. Elle est située au contact schiste-granulite, ce qui expliquerait cette valeur élevée.

2) En ce qui concerne les eaux de la granulite, il est remarquable que la droite présente une cassure comme celle de la droite concernant la Vendée (campagne 1959). Le point de rupture est situé à 40% de la totalité de la population et 66% des sources contiennent au moins 40×10^{-10} Ci/litre de Radon (fig. 72).

Les points d'eau dont les teneurs sont supérieures à 120×10^{-10} Curie/litre se répartissent ainsi qu'il suit :

14 au centre du massif.

10 au contact de la granulite et des schistes métamorphiques.

5 au voisinage de la zone minéralisée en Uranium de la région de Guern (fig. 73). Cette répartition est remarquable puisque les gîtes uranifères ont une distribution semblable (p.255).

De plus, une comparaison avec la carte publiée dans la note aux Comptes Rendus (Roubault M. Pascal J. - Coppens R. 1958) est particulièrement riche d'enseignement dans le cas d'étude biologique.

3) Conclusion.

Les études menées en différentes régions, ont permis de mettre en évidence une relation certaine entre les teneurs en Radon des eaux et celles en Uranium des roches.

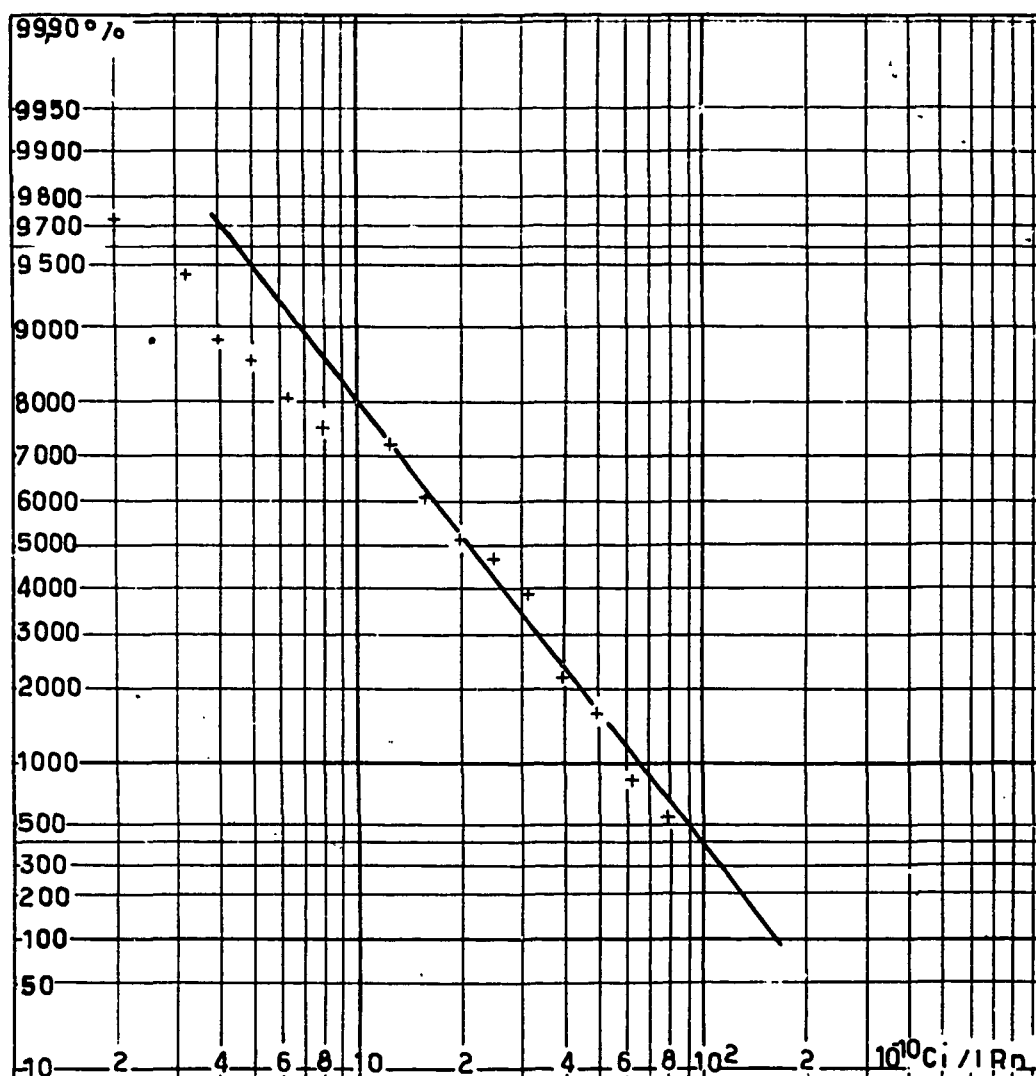


Fig. 71 - Ajustement graphique à la loi logarithmique normale de la distribution des teneurs en Radon des eaux des schistes de la région de Pontivy - (Morbihan)

Médiane = 21×10^{-10} Ci/l - Moyenne = 31×10^{-10} Ci/l - Ecart type logarithmique = 0,89.

Dans les régions recelant des gisements uranifères, une coïncidence géographique très nette est apparue avec les districts minéralisés et les distributions des teneurs deviennent hétérogènes. Dans ces régions 40% des points d'eau ont des taux de Radon supérieurs à 120×10^{-10} Ci/l (p.221).

4) Limousin.

Cependant, conservant toute prudence quant à l'utilisation de cette technique dans la prospection des gîtes uranifères, nous avons tenu à exécuter une contre-épreuve. Celle-ci s'est déroulée, au cours de l'été 1960, dans le Limousin.

Contre-épreuve de la méthode en vue de son utilisation comme méthode de prospection

Schéma général

Afin de ne pas être placé dans les conditions les plus favorables (par suite sujettes à caution), il a été décidé que la campagne se déroulerait dans le Limousin.

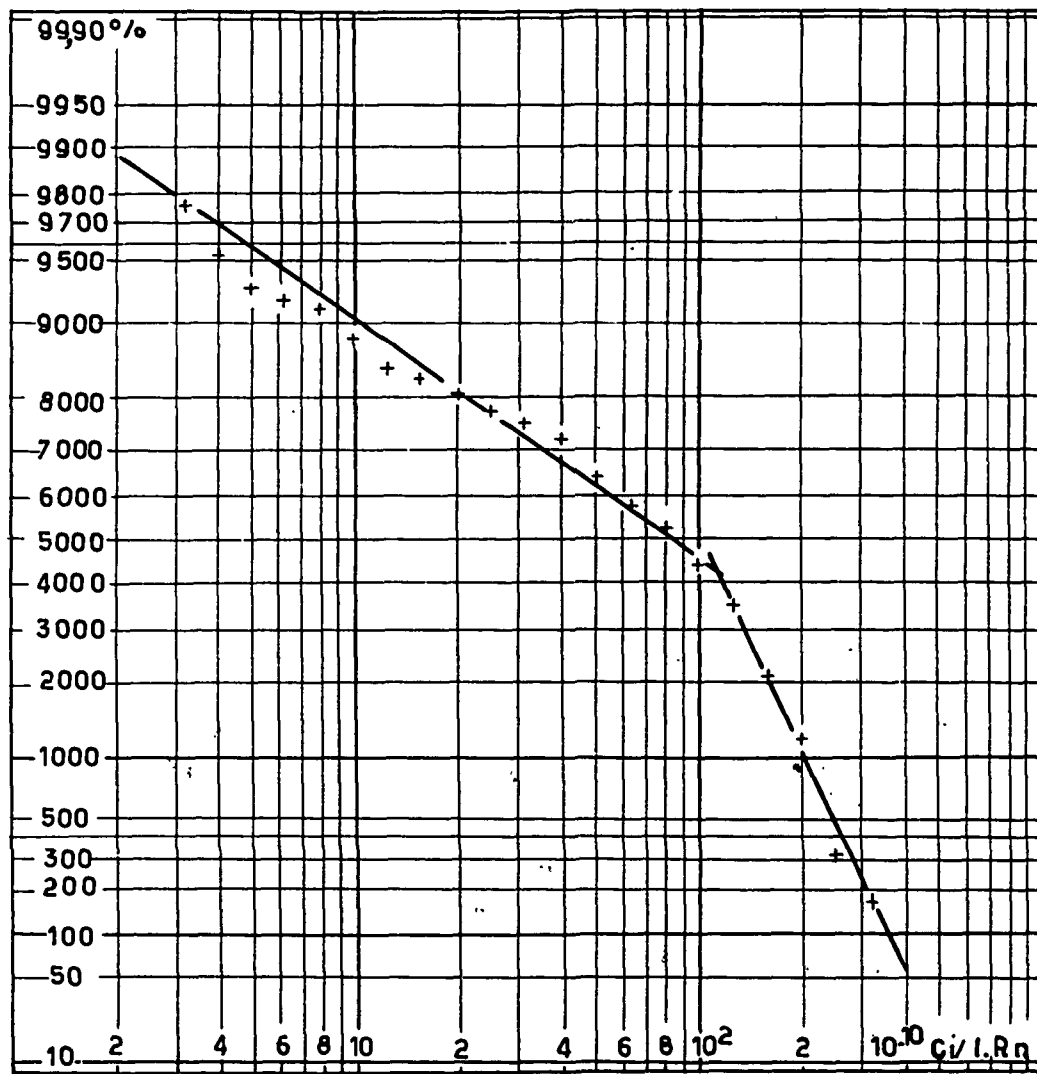


Fig. 72 - Ajustement graphique à la loi logarithmique normale de la distribution des teneurs en Radon des eaux de la granulite - Pontivy - (Morbihan).

Le secteur choisi pour l'étude est celui qui représente actuellement le permis exclusif de recherches de Bonnac-la-Côte, attribué au C.E.A. et étudié par les services de recherches de la Division du Limousin (1).

Seules les caractères géographiques et géologiques de ce secteur étaient connus. Nous ignorions tout de l'étendue et de la nature des résultats déjà obtenus, et le travail a été conduit de manière indépendante. En fin de campagne, le tableau, la hiérarchie des anomalies, ainsi que leur localisation géographique ont été dressés.

Les Services de Recherches, par contre, disposaient déjà d'un grand nombre de renseignements:

- Levés géologiques à petite échelle = 1/2.500ème
- Levés radiométriques à la maille de 25 mètres.
- Levés radiométriques à la maille de 5 mètres.
- Levés géophysiques, tranchées et sondages sur les indices les plus intéressants.
- Résultats d'une campagne géochimique générale à la maille de 100 et de 40 mètres sur les sols.

(1) Il nous est particulièrement agréable d'adresser nos remerciements les plus vifs à Monsieur Avril R. Chef de Division et Madame et Monsieur Sarcia J.A. Directeur du Service des Recherches pour l'accueil qui nous a été réservé au Centre Administratif de la Division à Razes (Hte-Vienne).

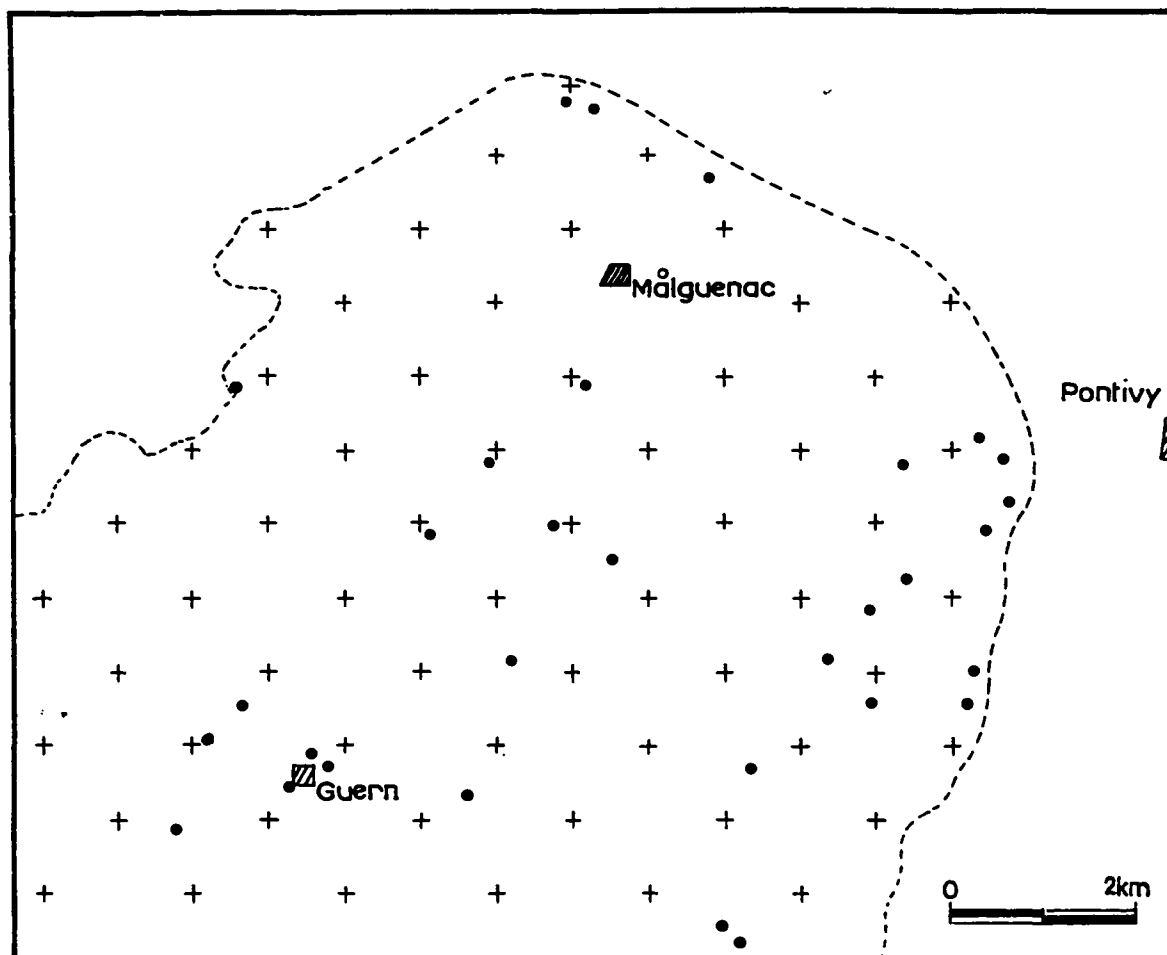


Fig. 73 - Distribution géographique des sources dont les teneurs en Radon sont particulièrement élevées dans le massif de granulite de Pontivy (Morbihan).

Situation géographique et géologique du secteur étudié.

Le permis exclusif de recherches de Bonnac-la-Côte accroît vers le Sud les premiers permis de recherches et d'exploitation du Commissariat à l'Energie Atomique Division du Limousin (Roubault M. 1958).

Il est limité au Nord par les limites Sud de l'ancien permis. Au Sud, le parallèle 104 (Lambert II - Zone Centrale) correspond sensiblement à la limite méridionale. A l'Est, une ligne Ambazac-Noualias, recoupant le méridien 525 Lambert, et à l'Ouest, une ligne brisée Comprégnac, Château des Bordes, Château de Blémont complètent le polygone.

La surface comprise dans ce périmètre est de 45 km² environ.

Les formations rencontrées sont en premier lieu la granulite (J. Sarcia - J.A. Sarcia 1958). Elle constitue le sous-sol de la majorité du permis. Cependant, un massif de granite porphyroïde (granite porphyroïde de Courrières) existe à quelques kilomètres à l'Ouest d'Ambazac. Il occupe une surface de quelques kilomètres carrés. Enfin, les gneiss s'étendent sur le restant du secteur, surtout à l'Est du permis (fig. 74).

Etant donné la faible extension relative des gneiss, il n'est pas apparu nécessaire de dissocier les résultats obtenus sur ces formations, pas plus que pour le granite porphyroïde de Courrières.

Résultats.

Le nombre de prélèvements exécutés est de deux cent quatre-vingt cinq, soit une densité de l'ordre de 6 au kilomètre carré (fig. 75). Les résultats groupés en classes logarithmiques sont exposés dans le tableau 83.

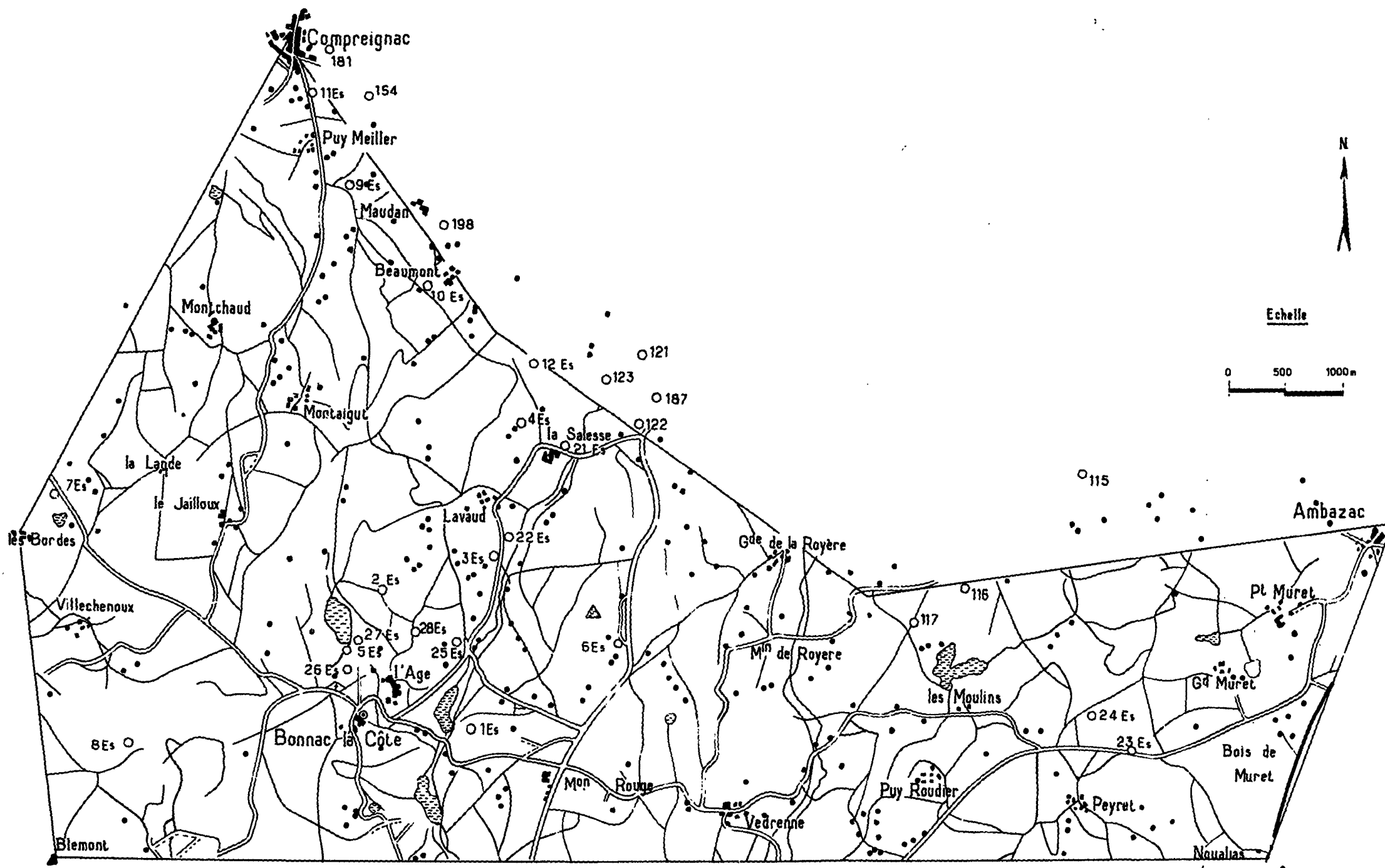


Fig.75 - Répartition géographique des points de prélèvements effectués sur le territoire du permis de Bonnac-la-Côte.

Tableau 83

Distribution des teneurs en Radon des eaux du permis exclusif de recherches de Bonnac-la-Côte (Hte-Vienne).

Teneur en 10^{-10} Ci/l	Nombre	Pourcentage	Fréquence cumulée	F.C. × 100
1,58	13			
2	1	0,4	91,9	9190
3,2	8	2,8	91,5	9150
4	5	1,7	88,7	8870
5	10	3,5	87,0	8700
6,3	5	1,8	83,5	8350
8	4	1,5	81,7	8170
10	11	4	80,2	8020
12,6	6	2	76,2	7620
15,8	6	2	74,20	7420
19,9	6	2	72,20	7220
25,1	11	4	70,20	7020
31,6	4	1,4	66,20	6620
39	16	5,5	64,80	6480
50,1	23	8	59,30	5930
63,1	10	3,5	51,30	5130
79,4	15	5,2	47,80	4780
100	22	7,7	45,60	4560
126	21	7,5	37,90	3790
158	17	6	30,40	3040
199	18	6,5	24,40	2440
251	19	6,7	17,90	1790
316	12	4,2	11,20	1120
398	10	3,5	7,0	700
501	3	1,05	3,5	350
631	3	1,05	2,45	245
794	1	0,35	1,4	140
1000	1	0,35	1,05	105
	2	0,7	0,7	70
	283	100		

Reportées sur papier logarithmique gaussien, ces valeurs permettent de tracer la droite d'ajustement à la loi log-normale.

Cette droite se rompt aux environs de 50% du nombre des échantillons (fig. 76) de la population.

Etant donné la présence de formations géologiques différentes et par analogie avec les valeurs recueillies en Vendée et en Bretagne (région de Pontivy), le seuil d'anomalies a été placé à 115×10^{-10} Curie/litre. Mais afin d'obtenir une sécurité plus importante, la valeur 155×10^{-10} Curie/litre a été choisie. Ce dernier seuil ainsi fixé, en considérant les positions géographiques et topographiques (fig. 77), nous avons pu établir le tableau des "zones d'anomalies", en leur attribuant un rang hiérarchique suivant un ordre décroissant des teneurs en Radon. Cette "hiérarchie", établie à partir des teneurs, aurait été celle du déroulement de la prospection si nous avions dû émettre un avis.

Ce sont ces zones qui ont été communiquées, dès la fin de nos travaux, à la Direction des Recherches de la Division.

La confrontation des résultats ainsi obtenus, avec les recherches déjà accomplies, donne une bonne correspondance entre les "anomalies Radon" et les indices C.E.A.

Tableau 84

"Zones d'anomalies Radon" du permis de Bonnac-la-Côte (Hte-Vienne).

N° ordre	Identification géographique	Constitution	Teneurs en Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l.	Observations
I (*)	Monteil-Nord	4 points d'eau	1.800 1.103 819,5 265	
II	Bonnac-Nord	2 points d'eau	690 425,5	
III	Monteil	4 points d'eau	365 327 288 171	Bien que les valeurs soient plus faibles qu'en II, cette zone pourrait être prospectée avec la zone I, du fait de la proximité géographique, mais aussi du fait de la position topographique des sources.
IV	Beausoleil	4 points d'eau	519 350 306 273	
IV'			302 227	Ces deux points bien qu'en dehors du permis, semblent pouvoir être rattachés à l'anomalie de Beausoleil.
V	Beaumont-Nord	2 points d'eau	628 193,5	
VI		2 points d'eau	439 340	
VI'		3 points d'eau	378 245 181,5	
VII	Royère Est	2 points d'eau	554,5 200	
VII'	Maison-Neuve Sud	3 points d'eau	320 316 268	
VIII	Tracheras Est	2 points d'eau	441 366	
VIII'	Tramont	4 points d'eau	209 192 189 157	
IX	Jugnac	3 points d'eau	349,5 224 185	
X	Compreignac Sud	4 points d'eau	253 210 205 184	

(*) Le chiffre romain du numéro d'ordre correspond au numéro des zones cartographiées.

Le tableau 85 dressé par les soins du Service de la Division résume ces faits :

Tableau 85

Correspondance des anomalies Radon et des travaux du Commissariat
à l'Energie Atomique sur le permis de Bonnac-la-Côte.

Zones Radon Eau	Travaux C.E. A.	Observations
Zone I	Indices 3 et 22 ES	Zone polluée par fouilles et sondages
Zone II	Indices 5-26 et 27 ES	Zone polluée par travaux de recherches
Zone III	Est du 25 ES = Surface radio- prospectée. Radioactivité élevée	Confirmation d'anomalies par cam- pagne géochimique
Zone IV	Indices de Beausoleil	Géochimie à la maille de 100 m. Résultats ??
Zone V	Proximité du point 198	-
Zone VI		-
Zone VII		-
Zone VII'		Cette anomalie prend une valeur singulière se trouvant sur les aligne- ments de minette roche favorable à la minéralisation
Zone VIII	Indices de Tracheras	Radioactivité élevée 50 à 70 c/s pour un mouvement propre de 22 c/s
Zone IX		Résultats de géochimie non parvenus
Zone X	Indices 11 ES	

Les zones tracées en utilisant le seuil de 155×10^{-10} Ci/litre permettent donc de retrouver environ 70% des indices.

Si les valeurs significatives sont prises à la valeur inférieure : 115×10^{-10} Ci/litre, d'autres zones d'anomalies apparaissent alors que les précédentes sont renforcées.

En particulier, apparaissent les zones confirmant les indices 4 ES et 21 ES et l'indice 7 ES.

Seule, la première carte d'anomalies avec le seuil de 155×10^{-10} Ci/litre, avait été commu-
niquée à la Division, et les critiques les plus fortes avaient porté sur le fait que les indices 4 ES
et 21 ES n'avaient pas été vus ainsi que le 2 ES. Cette critique est particulièrement atténuée par
le fait que les deux premiers indices après reconnaissance, ne correspond qu'à un faible ton-
nage d'Uranium.

Quant au 2 ES, sa situation topographique ne permet pas une détection par le Radon trans-
porté par l'eau.

La remarque, au sujet des indices 4 ES et 21 ES, nous conduit donc à la confirmation du fait
qu'une certaine liaison existe entre la teneur en Radon et l'importance de la minéralisation.

Le seuil de 115×10^{-10} Ci/litre, a permis de recouvrir 90% des anomalies (fig. 77).

Le dosage du Radon dans l'eau des sources permet donc déjà une bonne localisation des ano-
malies par rapport aux levés radiométriques. La question se pose s'il en est de même avec les
résultats obtenus par les autres techniques de prospection : scintillométrie auto et aéroportée et
géochimie.

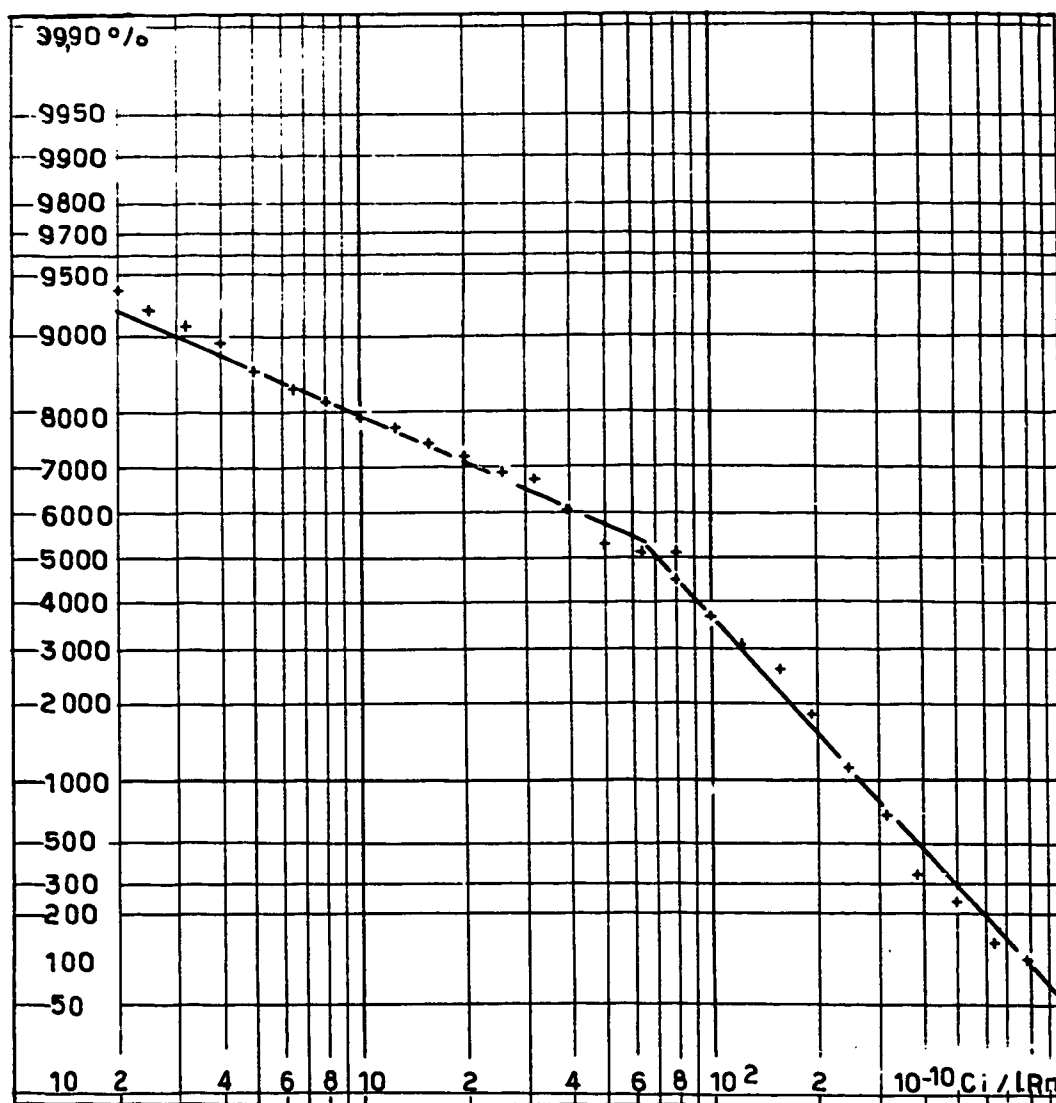


Fig. 76 - Ajustement graphique à la loi logarithmique normale de la distribution des teneurs en Radon des eaux du permis de Bonnac-la-Côte (Hte-Vienne).

Comparaison avec les résultats obtenus en scintillométrie auto et aéroportée.

La campagne de prospection autoportée a été exécutée par le Service de Recherches de la D.R.E.M., à l'aide du scintillomètre Mark VI et les courbes d'égale activité ont été tracées de 12 à 22, 23 à 25, 26 à 29, et 30 à 35 C/S. La figure 78 montre les taches d'activité γ . Elles correspondent, dans le centre du permis, aux anomalies Radon.

La campagne aéroportée a été exécutée en 1960 à l'aide d'un scintillomètre SPLA. Les anomalies ponctuelles sont divisées en classes suivant leur importance, (classe III : activité plus grande que II) et des taches d'activité plus élevée sont repérées. La carte de la figure 78 donne la répartition de ces anomalies (Blangy B. 1960 et Marcin J. 1961).

La comparaison des levés auto et aéroportés (fig. 78) permet d'établir une bonne coïncidence des aires de haute activité avec la carte de distribution du Radon dans les eaux (fig. 77).

Cette constatation appelle une remarque : l'eau, agent de transport du Radon, est un facteur important dans la création des anomalies détectables par les diverses techniques radiométriques. En effet, le gaz radioactif est drainé, puis apporté à la surface du sol. Il se désintègre assez rapidement en donnant naissance à des émetteurs γ très énergiques. D'autre part, les conditions météorologiques peuvent influencer grandement sur sa répartition dans les basses couches de l'atmosphère au niveau du sol, car c'est un gaz très dense (9,73 g/l soit 7,5 par rapport à l'air), si bien que la scintillométrie aéroportée peut enregistrer des anomalies créées uniquement par le dégagement du Radon du sol.

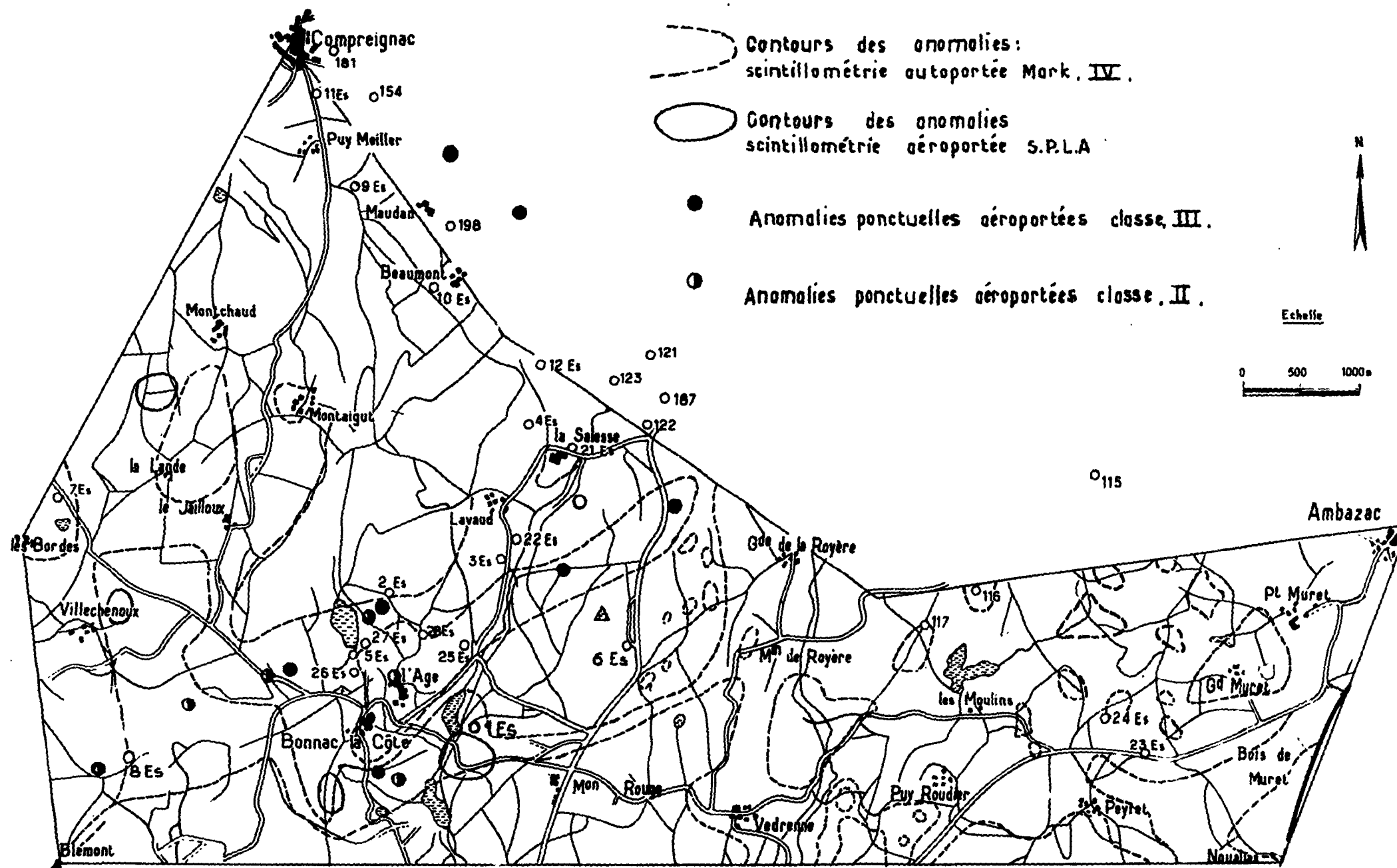


Fig. 78 - Levés auto et aéroportés effectués sur le permis de Bonnac, d'après BLANGY B., 1960 et MARCIN J. 1961). Comparer avec la figure 77.

Comparaison avec les résultats de prospection géochimique dans les sols.

Nous disposons seulement de résultats partiels d'études exécutées dans le centre du permis, mais là encore, la comparaison des cartes (fig. 79(a) et fig. 79(b)) révèle que les anomalies de teneur en Uranium des sols sont superposables aux zones d'anomalies Radon des eaux.

La comparaison des résultats obtenus par cette technique, à ceux recueillis au cours de campagnes géophysiques, montre que cette méthode ne permet pas de définition structurale fine. Mais cependant, en superposant la carte des zones d'anomalies définies plus haut sur la carte géologique, on s'aperçoit que les anomalies ne semblent pas se grouper au hasard. Par exemple, les anomalies VI et VI' et le point à teneur élevée de la Lande, se superposent à un filon de microgranite qui s'étire au Sud de Compreignac.

C'est encore à un filon de microgranite que se superposent les anomalies VII et VIII, ainsi que le point fort de la Drouille Blanche.

L'anomalie VII' est située au contact granulite ultime et granulite ainsi qu'à des filons de minette.

L'anomalie VIII' est située au contact de micaschistes, de gneiss et de la granulite. Là également, existe un filon de minette.

Enfin, l'anomalie IX est située en bordure du granite porphyroïde de Courrières (fig. 77 et fig. 74).

Ces faits, ne semblent pas fortuits. En effet, il existe une coïncidence avec des structures pétrographiques. Les anomalies se situent en des régions où la circulation des eaux semble plus aisée, régions évidemment favorables à des minéralisations. (cf p. 254).

Cette contre-épreuve, apporte donc la confirmation de la valeur de la méthode comme moyen de détection des zones minéralisées en Uranium. Cependant, toute méthode de détection n'est pas a priori une méthode de prospection. Une méthode de prospection physique ou chimique (Bernard A. Jurain G., de la Roche H., 1959) s'inscrivant dans un programme de recherches minières, doit nécessairement justifier d'un certain nombre de qualités : sensibilité, rapidité, faible prix de revient.

a) Sensibilité.

La méthode telle qu'elle a été appliquée sur le terrain est très sensible. Les valeurs les plus faibles sont aisément atteintes et les plus élevées ne présentent guère d'erreur due à une saturation. Les teneurs à mesurer sont toujours connues avec une grande précision (cf. p. 228) étant donné le faible mouvement propre des appareils de détection.

b) Rapidité.

Dans l'état actuel de l'équipement semi-mobile, la vitesse d'investigation est élevée. Il est aisé d'accomplir vingt-cinq à trente mesures par jour (cf. p. 235), ceci correspondant (suivant le réseau hydrographique) à une surface de 4 à 5 km².

c) Prix de revient.

Le prix de revient global (transport, prélèvements, amortissement de matériel, de véhicules) conduit à une dépense moyenne de 50 à 60 NF par km².

Il ne nous appartient guère de discuter ces chiffres, cependant cette dépense serait aisément couverte par le gain de temps résultant d'une phase de reconnaissance préliminaire plus courte. Le montant de ces dépenses semble être du même ordre que les dépenses citées dans les rapports de prospection géochimique par exemple. (Colloque de Prospection Géochimique Royaumont - 1959).

d) Limite d'emploi.

Cette technique utilisant un dosage dans des eaux, est donc strictement liée au régime hydrographique. Il est évident que cette méthode sera inopérante dans les régions arides ou semi-arides. De plus, collines et éminences topographiques sans circulation aquifère, sont des zones inexplorées.

Synthèse

Le dépouillement de près d'un millier de résultats obtenus au cours de travaux exécutés tant dans les Vosges, qu'en Vendée, en Bretagne ou en Limousin, permet de tirer les conclusions suivantes:

1) les teneurs en Radon des eaux souterraines se distribuent de façon log normale dans une formation géologique homogène (fig. 80).

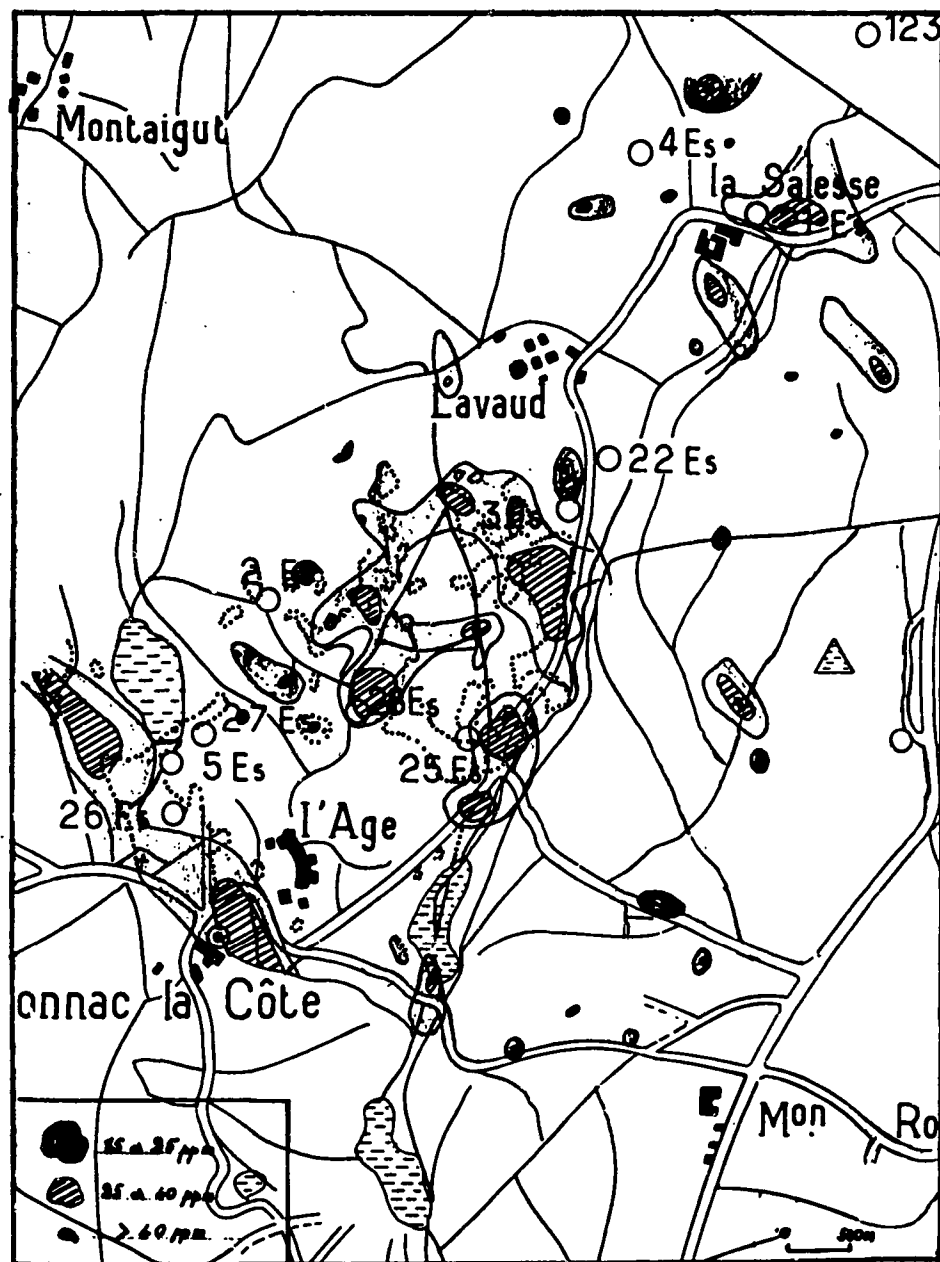


Fig.79 a - Levés géochimiques partiels du permis de Bonnac (d'après les données du Service des Recherches de la Division du Limousin).

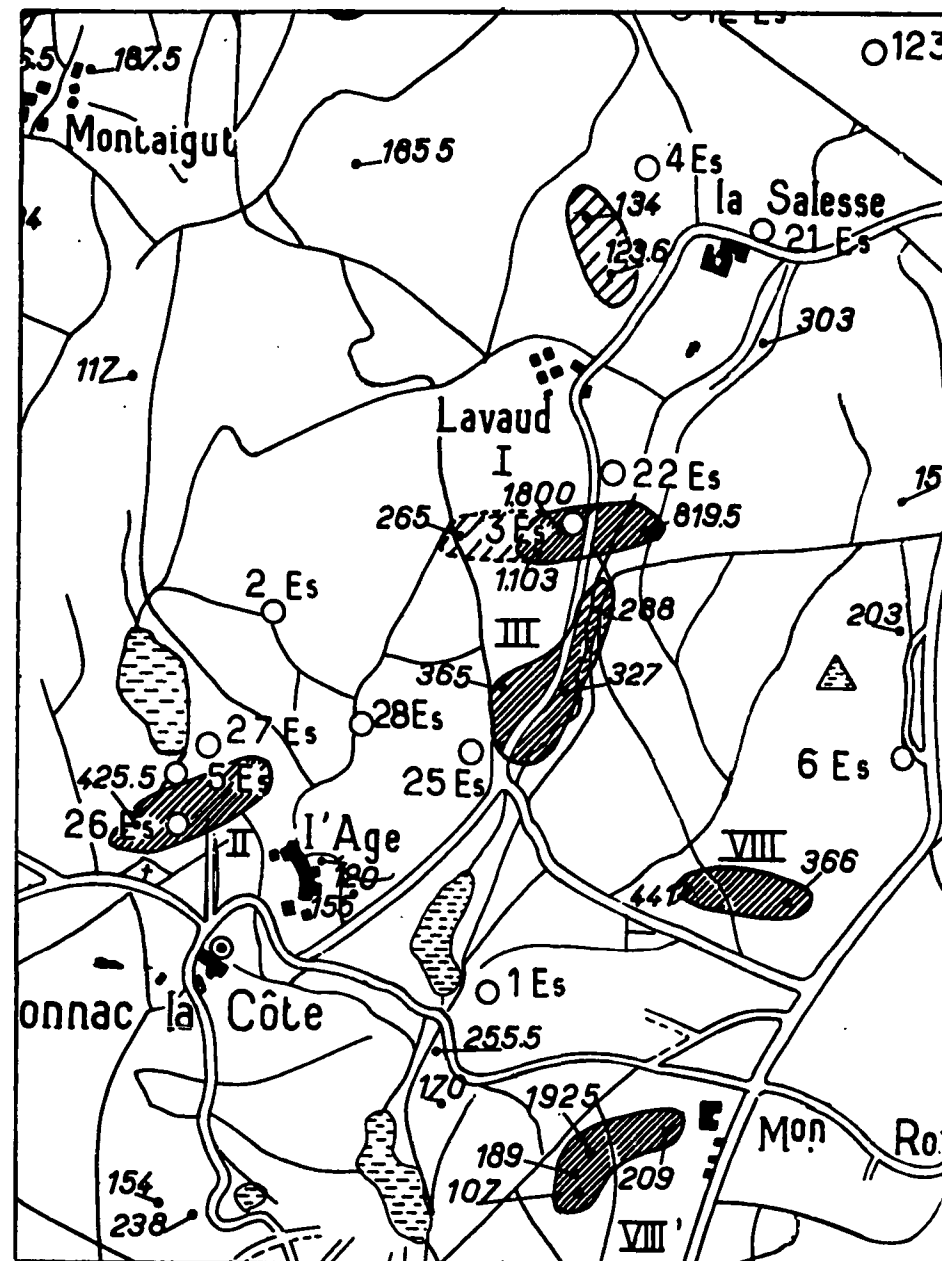


Fig.79 b - Anomalies Radon des eaux dans l'aire correspondant à celle de la figure 79 a).

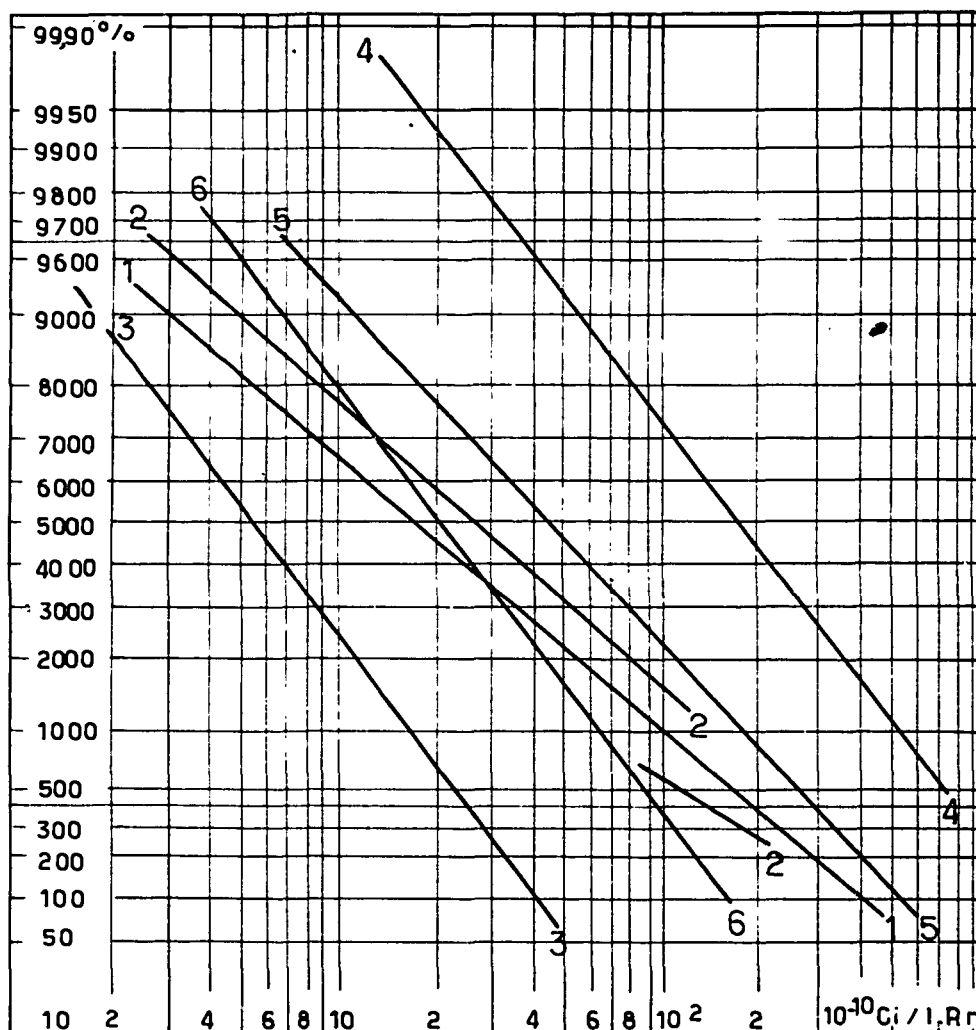


Fig. 80 - Ajustement graphique des teneurs en Radon d'eau naissant dans une formation géologique homogène :

- 1 = Roches granitoïdes des Vosges 1958.
- 2 = Granite des Vosges 1959.
- 3 = Grès Vosges 1959.
- 4 = Granulite Questembert 1958.
- 5 = Gneiss et Micaschistes - Questembert 1958.
- 6 = Schistes Pontivy 1959.

2) ces teneurs sont liées à l'abondance des éléments de la famille U - Ra dans les formations diverses et sont fonction d'un certain nombre de variables : porosité de la roche, taux d'humidité, vitesse de circulation (Jurain-1958).

3) Dans des formations minéralisées en U - Ra, la distribution statistique montre deux modes. Il n'y a pas ajustement des populations faibles teneurs - hautes teneurs et ces dernières sont souvent très élevées, (fig. 81) plus grandes que $100-120 \times 10^{-10}$ Ci/l.

Réciproquement, une population présentant à la fois une densité de l'ordre de 40% de valeurs fortes, d'intensité supérieure à $100 - 120 \times 10^{-10}$ Ci/l et un double mode (distribution lognormale hétérogène), doit être considérée comme provenant de formations minéralisées.

D'autre part, les anomalies ainsi découvertes, seront des indications d'hétérogénéité structurale ou de discontinuité = variation de faciès pétrographique, faille, filon, contact etc ... qui sont toujours favorables à une minéralisation puisque siège de circulations plus intenses.

Ces conclusions permettent donc d'affirmer que la prospection de la famille U - Ra par le Radon dissout dans l'eau est possible (1), puisqu'elle localise les zones favorables à une minéralisation (prospection stratégique) et permet de cerner le lieu de la minéralisation (prospection semi-systématique).

(1) Les représentants de l'URSS ont fait état, à la première Conférence de Genève sur l'utilisation pacifique de l'énergie atomique, de mesures systématiques de Radon exécutées sur les eaux au cours de la prospection radiohydrogéologique des gisements d'Uranium. Les documents publiés n'explicitaient pas la méthode ni les résultats (Saoukov A.A. P/626). En 1958 à la seconde conférence la position des auteurs russes semblait être légèrement en retrait par rapport à 1955.

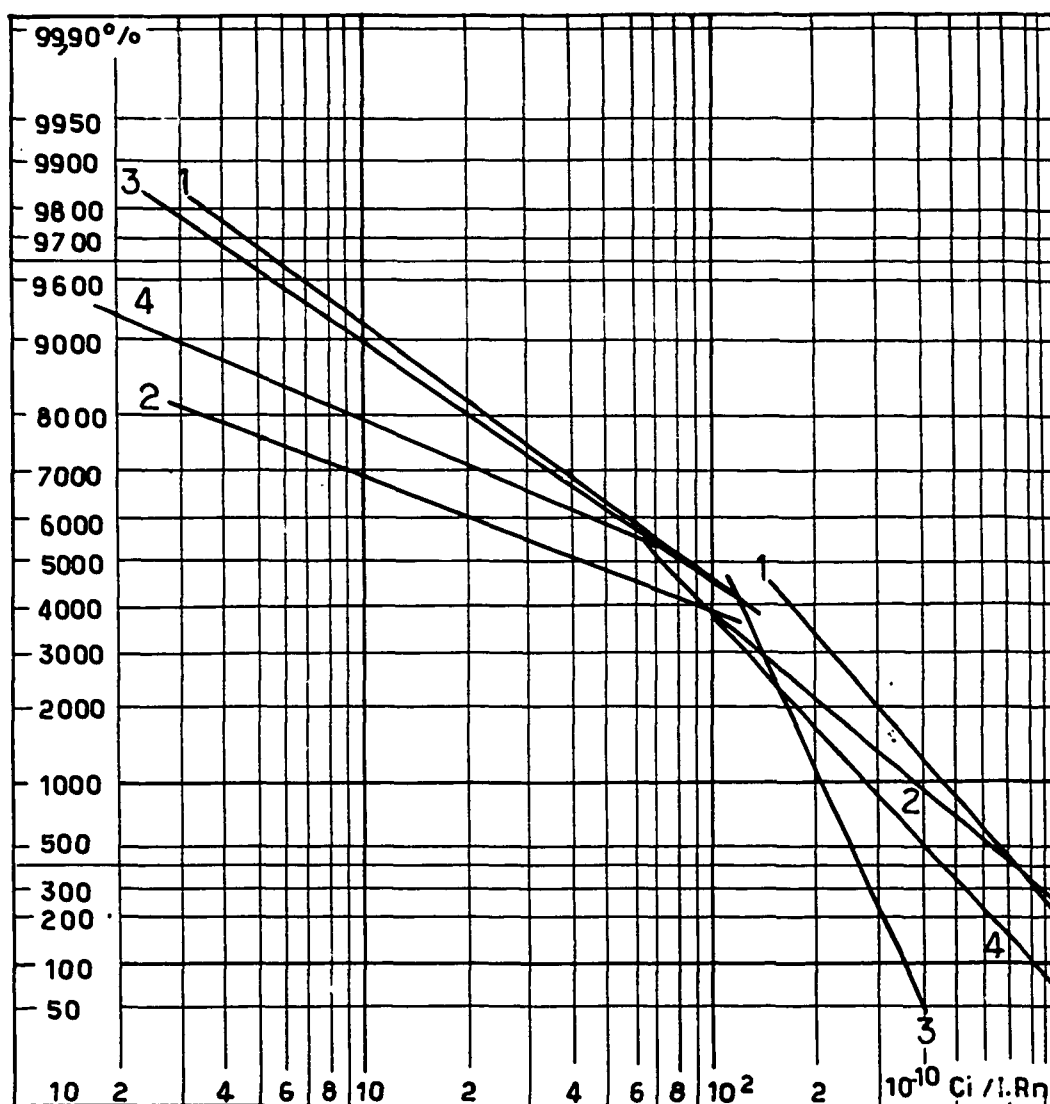


Fig. 81 - Ajustement graphique des teneurs dans des formations géologiques recélant des minéralisations uranifères.

- 1 = Les Epesses-Mallièvre 1958.
- 2 = La Chapelle-Largeau 1959.
- 3 = Pontivy 1959 (Granulite).
- 4 = Permis exclusif de Recherches de Bonnac 1960.

Les prix de revient peu élevés résultant d'une grande rapidité, permettent d'entrevoir l'utilisation de cette méthode aux lieux et place d'une prospection radiométrique autoportée par exemple.

Mais des limites viennent amoindrir son champ d'application = cette méthode ne peut être utilisée qu'en climat tempéré humide. De plus, tout relief sans circulation aquifère demeure inexploré.

Cependant, il est permis d'espérer que cette méthode pourra rendre quelques services dans des phases de dégrossissage des secteurs où les techniques traditionnelles n'ont pas permis de recueillir toutes les données escomptées.

III - ETUDE DES RELATIONS ENTRE LES TENEURS EN RADON, EN RADIUM ET EN URANIUM.

1) But poursuivi.

Une zone minéralisée en Uranium-Radium, provoque dans les eaux de source des différences notables de teneurs en Uranium et en Radon. Dans le cas du Radon, les teneurs les plus élevées peuvent atteindre 15 à 20 fois les teneurs de base et il est possible de déceler les zones favorables à une minéralisation.

Les zones minéralisées peuvent provoquer en outre, une augmentation sensible des teneurs en Uranium des eaux de sources et de rivières, jusqu'à 7 à 10 fois la teneur de base régionale "Clarke" (1).

Notre étude a pour objet de rechercher si les teneurs en Radium suivent en gros la même loi, et si éventuellement, des corrélations peuvent exister. Mais dès à présent, il faut faire une réserve importante car les éléments étudiés n'ont pas le même comportement géochimique.

2) Techniques d'analyse.

Les techniques ont déjà été décrites pour le Radon et l'Uranium. Quant au Radium, c'est le prélèvement qui a servi au Radon qui servira au dosage. En effet, le barbotage effectué pour la mesure du Radon, désorbe complètement celui-ci et le Radium dissout dans l'eau se mettra en équilibre avec le Radon qu'il engendre en 28 jours. Les mesures de Radon exécutées après ce laps de temps correspondront donc à la teneur en Radium. L'appareillage sera le même que pour la mesure du Radon. La limite inférieure de détection est de 2×10^{-11} Ci de radium, par litre soit 2×10^{-11} g par litre d'eau (Sur les graphiques ont été figuré par des points ronds les résultats inférieurs à cette limite de détection).

3) Résultats.

Les résultats obtenus sont consignés en fin d'ouvrage. Ils ont servi à établir les diagrammes en ordonnées logarithmiques. Ces diagrammes ont été utilisés ensuite pour exécuter les calculs du coefficient de corrélation (Matheron 1955).

Les résultats sont analysés par campagne, ceci permettant une comparaison avec les résultats obtenus sur le Radon.

3-1) Vosges 1958.

Les conditions de la campagne sont connues (p.236). L'examen du diagramme permet de reconnaître un nuage de points et seul il peut être affirmé qu'à de hautes teneurs en Radon de 100 à 400×10^{-10} Ci/l correspondent des teneurs élevées en Uranium ($> 1 \mu\text{g/l}$). Le Radium semble se disséminer partout sans distribution préférentielle. Les teneurs les plus fortes oscillent de 5 à 9×10^{-11} g/l (fig. 82).

Aucune corrélation chiffrée ne peut être tirée de ces faits et seul semble élevée la teneur en Uranium vis-à-vis des teneurs en Radium.

Ceci est en accord parfait avec les faits que nous avons décrits à savoir migration aisée de l'Uranium et déséquilibre fréquent au préjudice de la fin de la famille (p.208 et 220).

3-2) Vendée 1958.

Les résultats de cette campagne sont groupés avec ceux obtenus au cours du dosage du Radon (fig. 83).

Deux faits apparaissent nettement sur le diagramme :

- 1) Aux fortes teneurs en Radon, correspondent des teneurs élevées en Uranium.
- 2) Aux teneurs mesurables de Radium, correspondent des teneurs élevées en Radon.

L'ellipse de corrélation Radon-Uranium, permet d'obtenir un coefficient de corrélation de 0,7. Le seuil de signification (triple de l'erreur standard) est de 0,35. Le coefficient de corrélation est donc hautement significatif. Il importe de noter que les teneurs en Uranium sont plus faibles que pour les Vosges et les teneurs en Radium sont du même ordre, mais aux faibles teneurs en Radon correspondent de très faibles teneurs en Radium. Ceci permet d'avancer que le Radium passe assez peu facilement en solution alors que l'inverse se produirait pour l'Uranium.

3-3) Bretagne 1958 - Questembert.

Le diagramme relatif à cette campagne ne permet pas de tirer de conclusion quant à la distribution des éléments de la famille Uranium - Radium (fig. 84).

Tout au plus, peut-on dire que les eaux sont souvent porteuses de Radon, sans pour autant contenir des taux élevés de Radium. De plus, les valeurs absolues en Uranium, ne dépassent pas $1 \mu\text{g/litre}$.

(1) "Clarke" : teneur de fond à laquelle sont rapportées les teneurs déterminées au cours d'une étude géochimique.

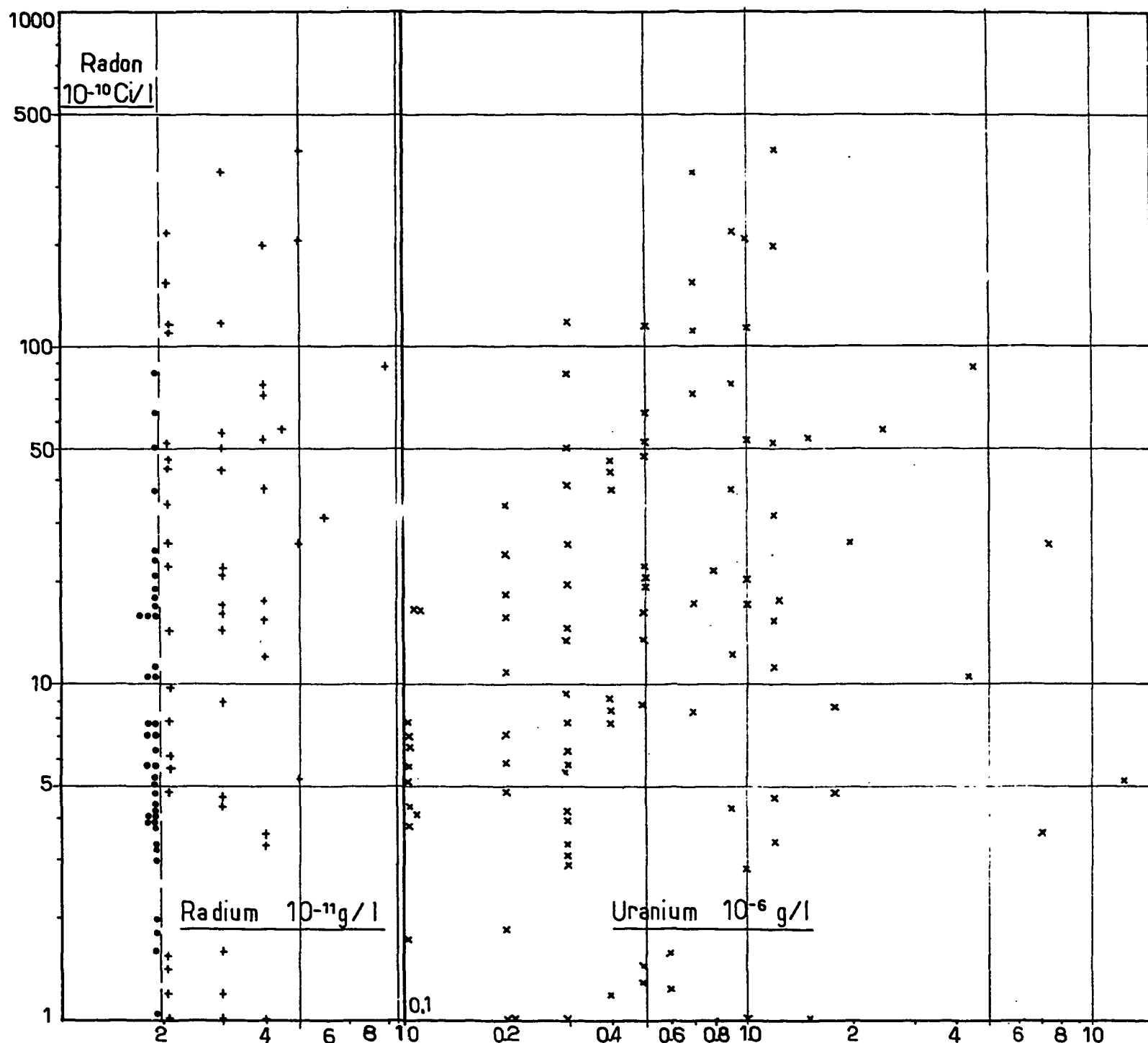


Fig. 82 - Essai de corrélation des teneurs en Radium, Uranium, Radon, Vosges 1958.

3-4) Vosges 1959.

Les résultats de cette campagne diffèrent profondément de ceux de 1958.

Les teneurs en Uranium sont plus faibles, comme celles de Radon. Le Radium est rarement présent en quantité suffisante pour permettre sa détection. Mais on assiste cependant à une mobilité plus grande de l'Uranium (fig. 85). Ces résultats apparaissent conformes aux conclusions tirées de l'étude des traces d'Uranium dans les roches et dans les eaux.

3-5) Vendée 1959.

Les résultats sont beaucoup moins nombreux que ceux recueillis au cours de la campagne 1958 (fig. 86).

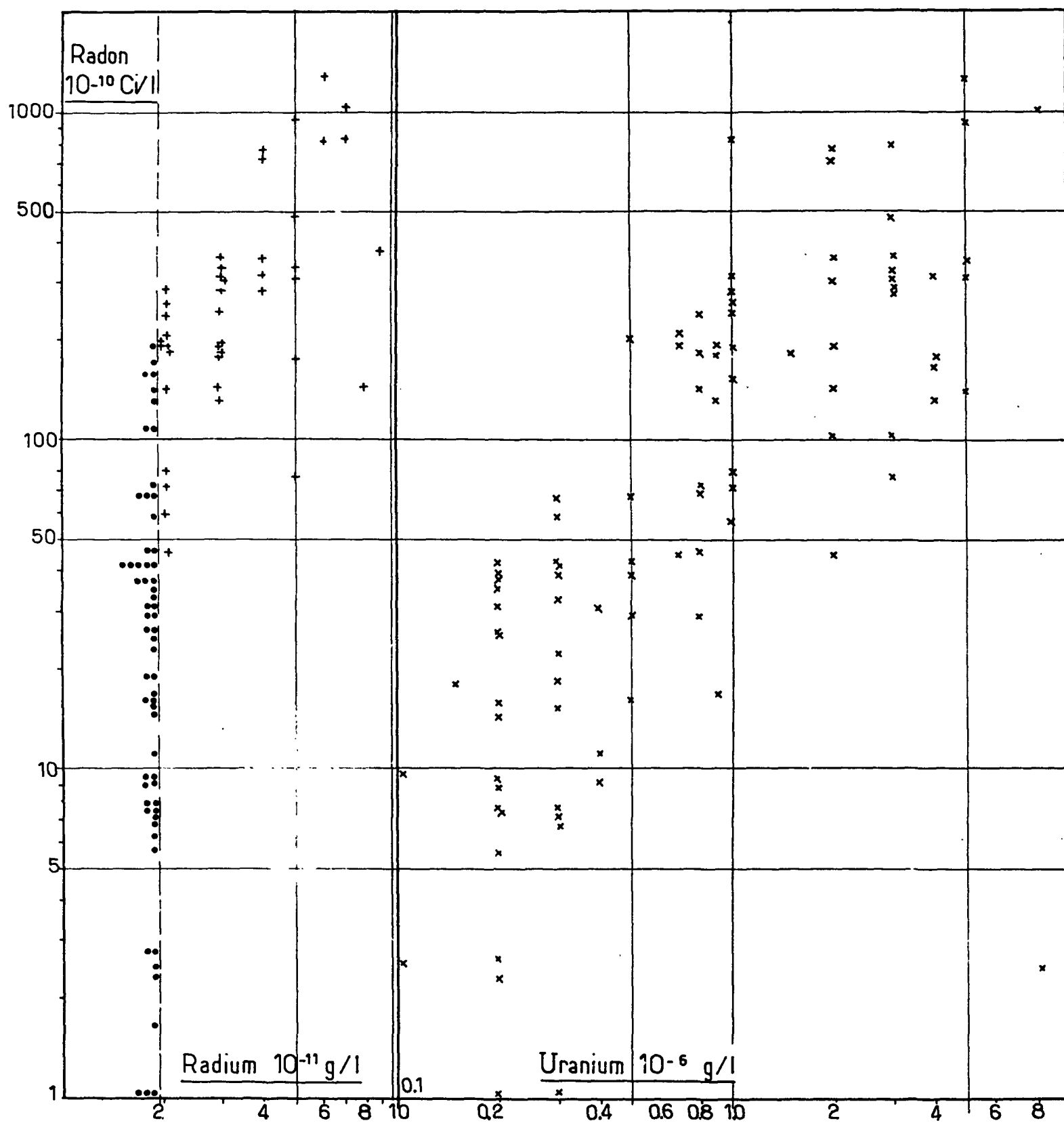


Fig. 83 - Essai de corrélation des teneurs en Radium, Uranium, Radon Vendée 1958.

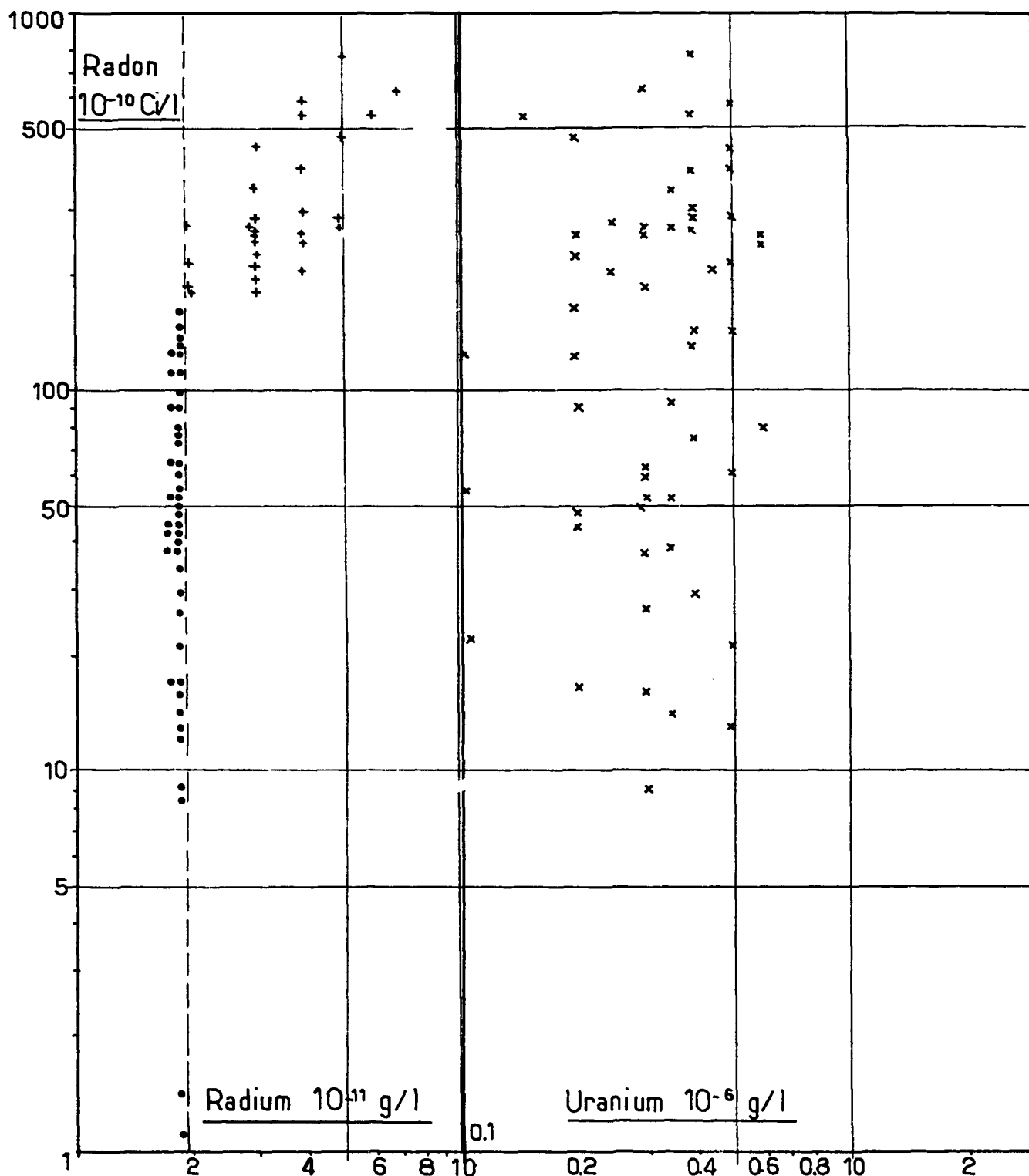


Fig.84 - Essai de corrélation des teneurs Uranium, Radium, Radon des eaux de Questembert-1958.

Les trois éléments : Uranium, Radium, Radon, sont distribués de la même façon. Le coefficient de corrélation Radon-Uranium est voisin de 0,8. Le seuil de signification étant de 0,52, la corrélation est hautement significative.

Comme précédemment, (campagne 1958) l'Uranium semble être mis plus facilement en solution que le Radium. La raison est à rechercher dans le fait que les minéralisations de Vendée contiennent beaucoup de pyrite. Dans la zone d'oxydation il y aurait formation d'acide sulfurique qui pourrait mobiliser facilement l'Uranium - La solubilité du sulfate d'uranyle est grande - tandis que le Radium serait fixé à l'état de sulfate de Radium dont la solubilité est minime (G. Phair 1953).

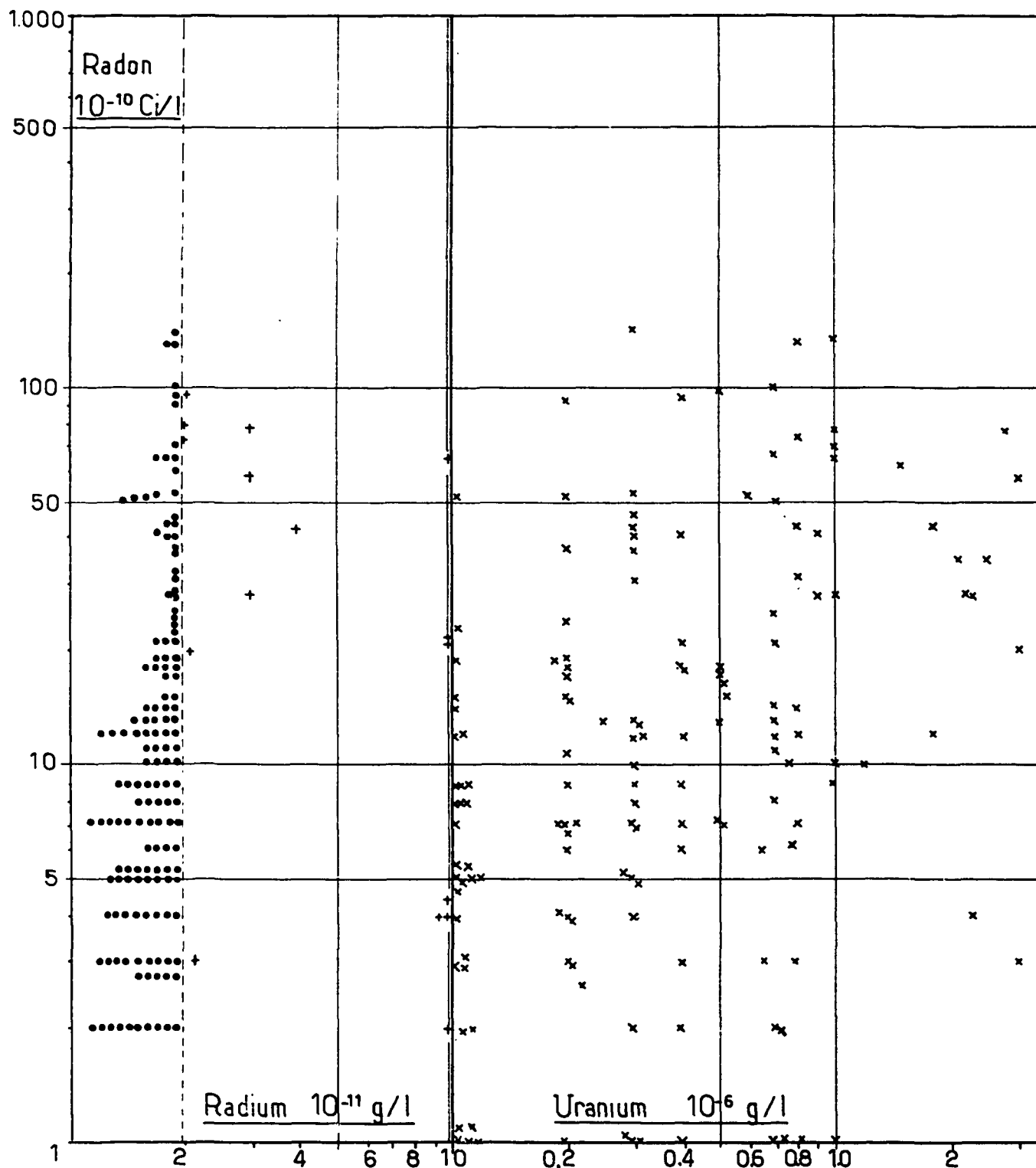


Fig. 85 - Essai de corrélation des teneurs en Radium, Uranium, Radon des eaux des Vosges 1959.

3-6) Pontivy 1959.

Les teneurs en Uranium et en Radon sont parfois élevées, et une certaine liaison quantitative existe avec le Radium. Les teneurs les plus élevées en Radium se rencontrent pour des eaux à teneurs élevées en Radon. Respectivement de $2 \text{ à } 7 \times 10^{-11} \text{ g/litre}$ et de $100 \text{ à } 400 \times 10^{-10} \text{ Ci/litre}$. Mais il apparaît difficile de dégager une liaison certaine (fig. 87).

3-7) Limousin 1960.

Ne disposant que d'un petit nombre d'analyses d'Uranium, il n'est pas tenu compte de cet élément. Il semble exister une liaison hautes valeurs Radon - hautes teneurs Radium. Toutefois, il

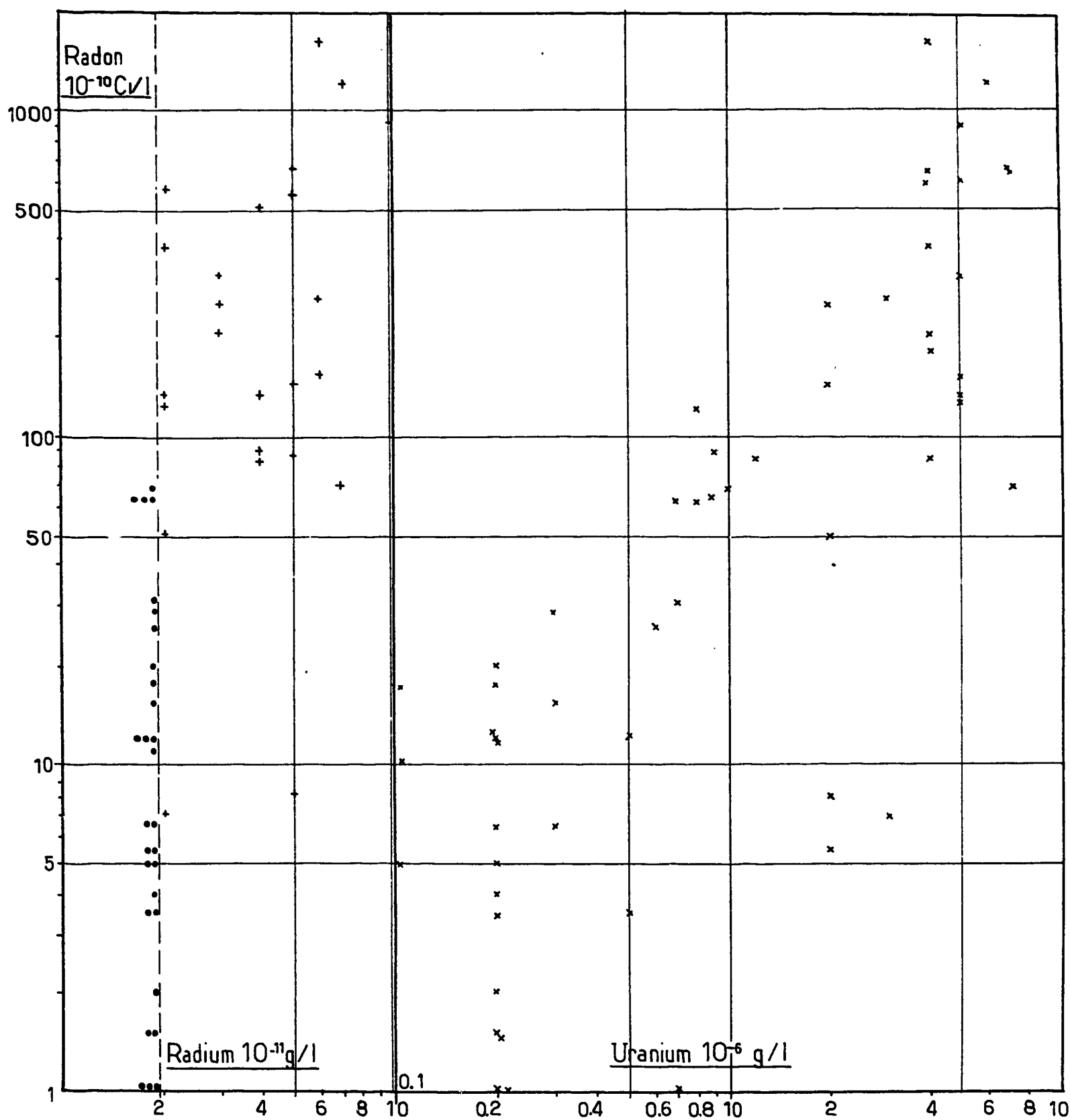


Fig. 86 - Essai de corrélation des teneurs Radium, Uranium, Radon, Vendée 1959.

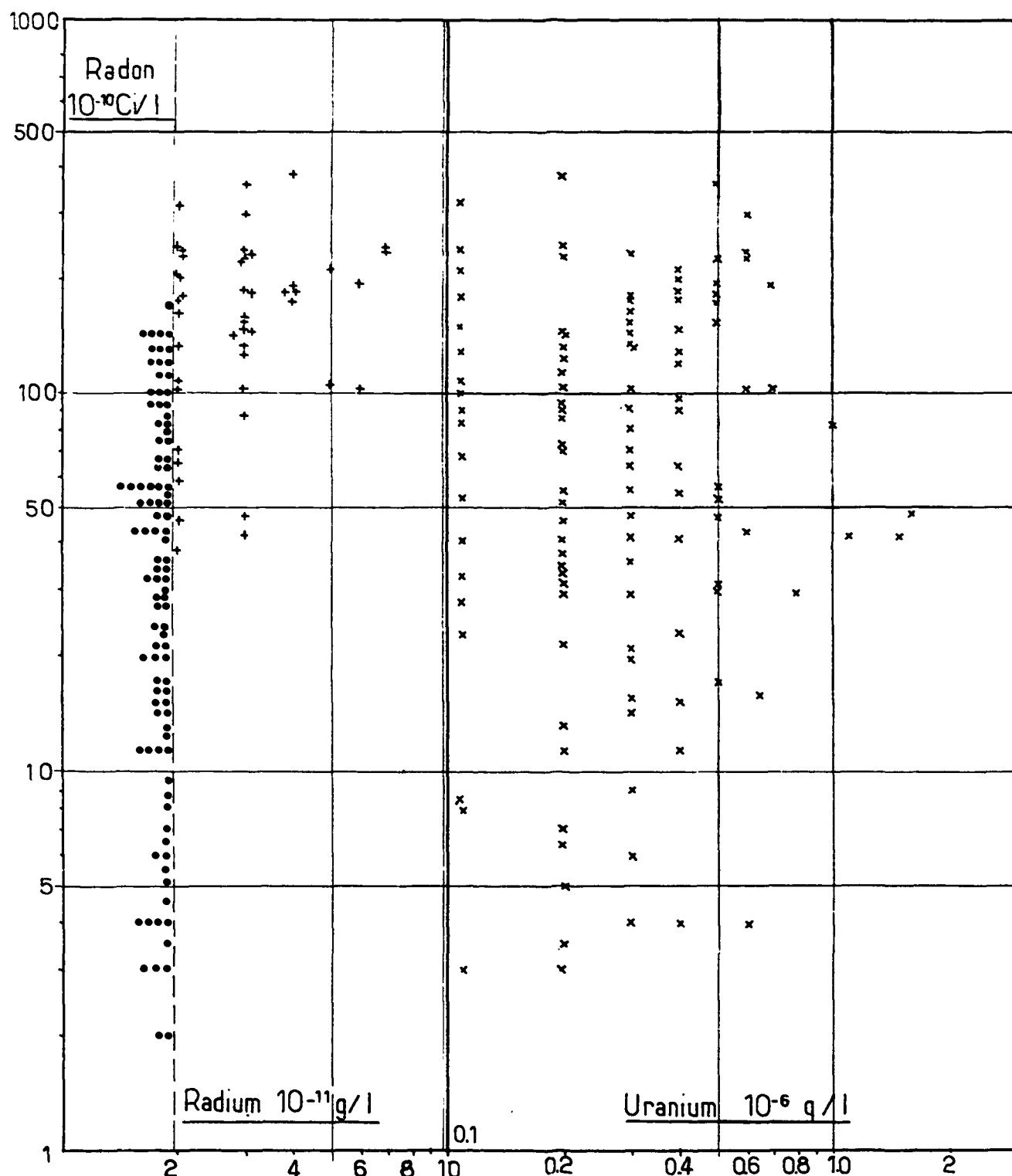


Fig. 87 - Essai de corrélation des teneurs en radium, Uranium, Radon des eaux Pontivy 1959.

est difficile d'établir une corrélation certaine (fig. 88). Les renseignements tirés des valeurs des teneurs en Uranium sont trop peu nombreux pour avoir une valeur dans une généralisation.

Conclusion.

Les teneurs en Radon, Radium et Uranium, sont essentiellement variables dans les eaux. Les différences fondamentales proviennent du comportement physico-chimique de ces trois éléments. Cependant, il existe une certaine liaison, plus ou moins lâche, et il semble que les fortes teneurs d'un élément ont beaucoup de chance de correspondre à de hautes teneurs en d'autres éléments, mais sans qu'il y ait une liaison directe. Seule peut exister une liaison originelle, point de départ de la dispersion des éléments.

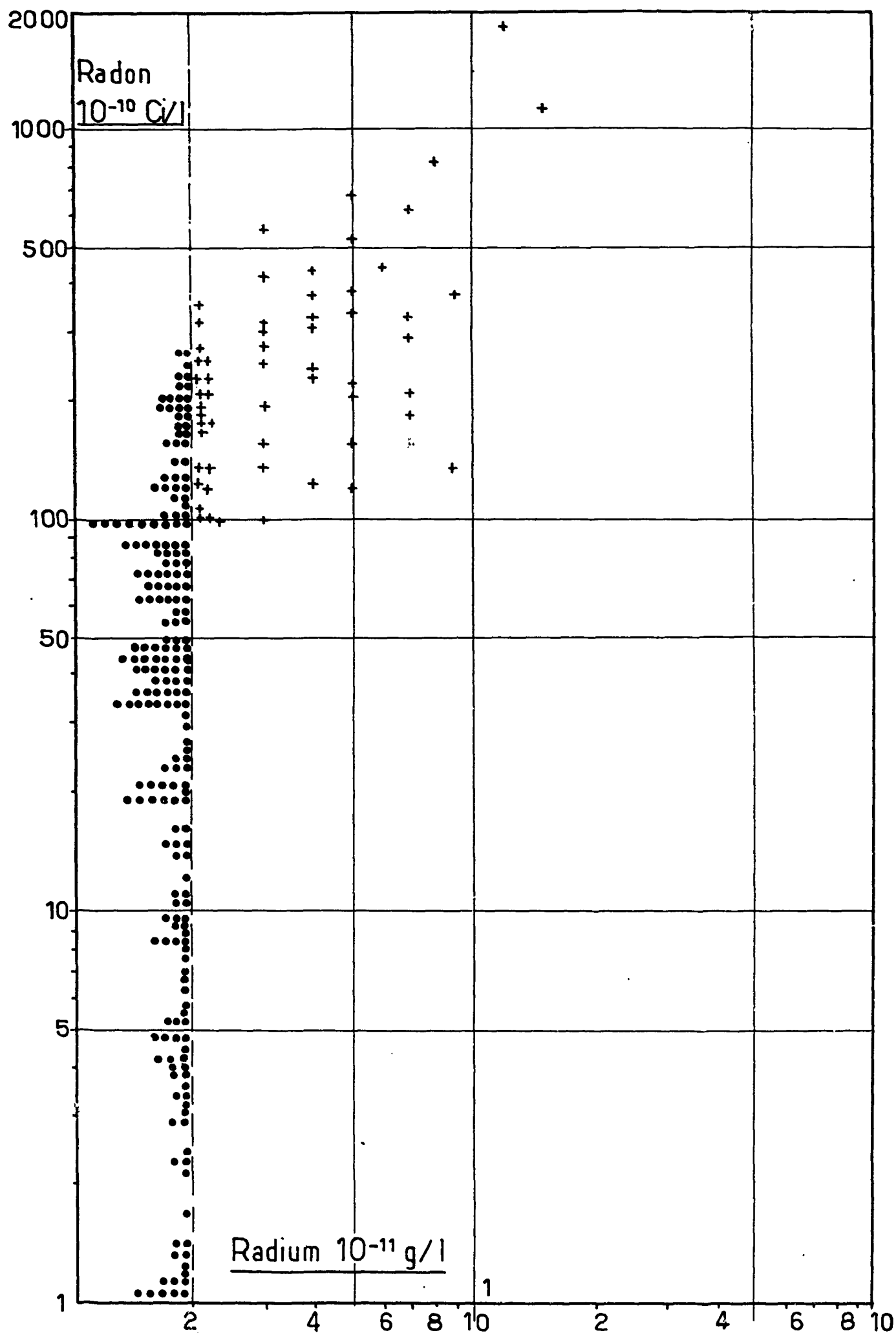


Fig. 88 - Essai de corrélation des teneurs en Radium, Radon des eaux du P.E.R. de Bonnac - Hte-Vienne.

Toutefois, en deux cas, Vosges d'une part, Vendée d'autre part, il a été possible d'avancer une hypothèse élaborée à partir de connaissances du contexte géologique et de la minéralisation uranifère.

Pour terminer, notons que les teneurs en Radium qui ont été déterminées au cours de nos investigations, sont de l'ordre de la dose de tolérance qui est établie à 4×10^{-11} g/litre (soit 4×10^{-11} Ci/litre).

Il semble qu'ici encore, les mêmes réserves faites au sujet de la dose de tolérance du Radon (Roubault M., Coppens R, Jurain G. 1959) puissent être formulées à propos du Radium.

CHAPITRE V

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

L'étude conduite sur le comportement géochimique de la famille Uranium-Radium dans les Vosges Méridionales, a donc permis de recueillir un certain nombre d'informations d'ordre géologique, géochimique, métallogénique. L'étude du cas particulier du Radon a mis en lumière la liaison de ce gaz dissous dans l'eau et la répartition des éléments lui donnant naissance. Cette liaison peut être utilisée en prospection et il est utile de la connaître dans le contrôle biologique des eaux. Les faits essentiels mis en évidence sont les suivants :

1) Résultats d'ordre géologique.

La région étudiée est très complexe. Il a été tenté d'en dégager les grands caractères liés aux phénomènes géologiques.

L'existence de grandes failles de direction N.E. - S.O. (faille de Conflans - Val d'Ajol) et N.O. - S.E. (faille de Trémonzey - Fougerolles-le-Château), ainsi que les essaims de petites failles satellites dans la région de Bains-les-Bains, de Luxeuil, du Val d'Ajol est confirmée.

Ces failles limitent des mûles et des fossés d'effondrement. Les premiers ont dû jouer un rôle important au début de l'époque triasique, car des schistes primaires ont été déterminés dans la tranchée de la voie ferrée d'Epinal à Belfort, à 5 km au S.O. de Luxeuil-les-Bains. Le grès bigarré les surmonte, en discordance, et les termes supérieurs du grès vosgien (grand conglomérat) font défaut : un massif existait donc dans cette région au début de l'époque triasique.

Les schistes primaires ont été encore rencontrés à 4 km à l'Est de Luxeuil-les-Bains. Cette ville se trouve être au niveau de la discordance granite-schiste. C'est un argument pour assigner aux eaux thermales une origine différente de celles de Bains-les-Bains et de Plombières. Le chimisme particulier des eaux thermales est venu renforcer l'hypothèse, élaborée à partir des données de nombreux sondages.

Enfin, dans le Val d'Ajol, un lambeau Stéphanien est reconnu. La présence de ce lambeau carbonifère constitue un témoin du "sillon" Baden-Baden (Forêt-Noire) Schaentzel (Ribeauvillé : Bas-Rhin).

L'étude du granite gris porphyroïde et du granite porphyroïde à amphibole a permis de reconnaître l'endomorphisme de séries dévono-dinantiennes. Il a semblé qu'une métasomatose potassique entraîne la biotitisation des amphiboles et la naissance de nouveaux minéraux : sphène, épidote, magnétite ...

2) Résultats d'ordre géochimique et métallogénique.

L'étude des diverses radioactivités (activités γ et α) des roches granitoïdes a mis en évidence une très nette différence entre le granite porphyroïde à amphibole et les autres granites : granite gris porphyroïde et granite à deux micas. Les teneurs en Uranium sont également nettement tranchées : plus élevées pour le granite porphyroïde à amphibole que pour le granite gris porphyroïde.

Une liaison Uranium et Calcium-Magnésium est apparue. Cette liaison a permis de montrer le comportement des éléments Uranium-Thorium dans le cas de métamorphisme endomorphe. L'Uranium peut se camoufler dans les structures de minéraux où l'alumine est en partie hexacoordonnée. Les minéraux hôtes sont surtout les hornblendes. Une métasomatose potassique provoque une biotitisation des hornblendes qui peuvent exsuder le calcium, et particulièrement le titane, l'uranium, le thorium.

Mais Uranium et Thorium peuvent encore être abrités par les minéraux néoformés. Toutefois, dans certains cas, il peut exister de faibles minéralisations uranifères ou thorifères.

Dans un ordre métallogénique, la concentration actuelle d'Uranium dans une zone thermique a été prouvée. Les minéralisations satellites constituent une paragenèse épithermale. L'Uranium n'est pas en équilibre avec ses produits de filiation, pas plus d'ailleurs qu'avec son isotope U_{II} .

Les déséquilibres de l'Uranium dans sa famille existent dans des minéralisations supergènes du plomb : pyromorphite, vanadinite de la région de Bains-les-Bains et du Val d'Ajol. Les teneurs en Uranium atteignent parfois 1% et ne correspondent pas aux radioactivités γ des minéraux. Nous avons construit une hypothèse à partir de ces résultats de l'analyse. Ici encore les migrations d'uranium sont actuelles. Par la suite, un âge sera assigné à ces minéraux uranifères en étudiant des rapports $\frac{Ra\ 226}{U}$ et $\frac{Th\ 230\ (Io)}{U}$.

Une autre concentration uranifère a été reconnue. Elle se situe dans une aire où les transports actuels d'Uranium par les eaux de ruissellement sont importants.

Le minéral uranifère contient au moins 60% de métal. Il pourrait être de la "pechblende" en déséquilibre ; mais la minéralisation n'est qu'une curiosité minéralogique.

Si les cas de déséquilibre sont fréquents dans les Vosges méridionales, nous avons pu mettre en évidence de faibles concentrations où la famille de l'Uranium est en équilibre. L'Uranium, dont les teneurs sont de l'ordre de 100 à 200 $\times 10^{-6}$ g/g, est situé dans diverses minéralisations manganésifères. La calcédoine montre très souvent la plus haute teneur. Des phénomènes colloïdaux semblent avoir présidé à la concentration des traces d'Uranium.

Mais, en aucun cas, les minéraux exprimés existent dans ces concentrations.

Une seule fois la chalcocite a été découverte dans la minéralisation du travers banc du prieuré d'Hérival, c'est la première fois que ce minéral a été signalé dans l'Est de la France.

Il faut signaler ici l'importance du jeu de deux éléments : Titane et Vanadium, vis-à-vis de l'Uranium. Dans l'aire que nous avons étudiée, le titane joue un rôle primordial dans les minéralisations hypogènes, tandis que celui du vanadium devient prépondérant dans les minéralisations supergènes.

L'étude de l'équilibre dans la famille de l'Uranium a conduit à envisager le problème du Radon dans les eaux de sources naissant dans le massif étudié. Une liaison teneur en Radon des eaux de sources et teneurs éléments U-Ra des roches dans lesquelles circulent ces eaux existe. Cette liaison, susceptible d'être utilisée en prospection, a fait l'objet d'investigations plus poussées. Elle a conduit à un certain nombre de résultats technologiques.

3) Résultats d'ordre technologique.

Nous avons été amenés à doser le Radon dans des eaux de massifs granitiques réputés uranifères. Des différences fondamentales dans les distributions des teneurs ont été mises en évidence. Dès lors, il est apparu que le dosage systématique du Radon dans les eaux souterraines pouvait constituer une méthode de prospection. Ceci conformément aux travaux russes publiés, mais non explicités à la Première Conférence sur l'utilisation pacifique de l'Energie Atomique (1955).

Pour vérifier cette opinion, une contre-épreuve a été exécutée sur un terrain inconnu. Presque toutes les anomalies - 90 % - ont été retrouvées. La carte des "anomalies Radon" converge avec les cartes "radiométrie" et "géochimie". La méthode peut être utilisée en prospection puisqu'elle possède les qualités requises d'une méthode de routine. Elle permet de localiser les zones favorables à une minéralisation et permet de circonscrire les corps minéralisés. Toutefois, trois conditions doivent être réalisées simultanément :

1) La distribution statistique des teneurs doit présenter deux modes, correspondant à deux populations de teneurs.

2) Les teneurs d'une des populations doivent être supérieures à 100 - 120 $\times 10^{-10}$ Ci/l, cette valeur représentant le fond géochimique (Clarke).

3) La population de ces hautes teneurs doit représenter environ 40 % de la population totale des prélèvements.

Il a été montré également la liaison très lâche qui existe entre les teneurs Radon - Radium - Uranium dans les eaux de la Vendée (région de la Chapelle Largeau). Les éléments ne peuvent être liés entre eux du fait que des phénomènes physiques et chimiques différents régissent le comportement géochimique de ces éléments. Il est particulièrement intéressant de noter que seul le Radon donne le plus fort contraste de teneurs.

4) Résultats d'ordre biologique.

L'étude de la distribution en Radon des eaux souterraines a permis de reconnaître qu'un pourcentage élevé de ces eaux présentent des teneurs dépassant souvent la dose de tolérance couramment admise (40×10^{-10} Ci/l). Les teneurs en Uranium n'atteignent que rarement la dose de tolérance, tandis que pour le Radium, les teneurs dans les eaux sont du même ordre que celles fixées comme dose de tolérance : ces doses sont respectivement 6 mg/l et 4×10^{-11} Ci/l.

Il semble que les efforts doivent porter maintenant sur les teneurs en Pb 210 (RaD). La dose de tolérance est fixée actuellement à 5×10^{-11} Ci/l. Or, le plomb 210 naît de la désintégration du Radon. En supposant que 20 % seulement (perte, diffusion dans l'atmosphère, bien que ceci ne soit pas valable pour des sources captées) du Radon puisse donner le Plomb 210, les eaux dont les teneurs sont de l'ordre de 400×10^{-10} Ci/l, contiennent 80×10^{-10} Ci/l de Pb 210, c'est-à-dire 16 fois la dose dite de tolérance.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS J.A.S. and MAECK W.J. 1954 - Fluorimetric and colorimetric microdetermination of Uranium in rocks and minerals. *Analytical Chemistry*. V. 26 n° 10, p. 1635 - 1639.
- ADAMS J.A.S. 1954 - Uranium contents of Wisconsin rivers and their use in geochemical prospecting. *Geol. Soc. Ame.* 1954 V. 65 - p. 1225.
- ADAMS J.A.S. 1955 - The Uranium geochemistry of Lassen Volcanic National Park - California - *Geochimica et Cosmochimica Acta* V. 8 - p. 74 - 85. Londres - Pergamon Press.
- ADAMS J.A.S. et RICHARSON K. 1957 - Thorium, Uranium and Potassium contents of Bauxites - Meeting Atlantic City - New-Jersey 4 - 6 novembre 1957 Abstracts in Program 1957 - Annual Meetings p. 23.
- AHRENS L.H. 1952 - The use of ionization potentials. Part I. Ionic Radii of the elements. *Geochimica et Cosmochimica Acta* - Vol. 2. p. 155 - 169 Londres - Pergamon Press.
- ALEXANDROV S.P. 1927 - Radiographien tñjamujunscher Erze - *Zeitsch. Krist.* t. 65 - p. 141 - 148.
- ARNDT R.M.- KURODA P.K. - 1953 - Radioactivity of Rivers and Lakes in Parts of Garlands and Hotsprings Counties Arkansas. *Economic Geology* - V. 48, p. 551 - 567.
- ARNDT R.M. et DAMON D.E. - 1951 - Radioactivity of thermal waters and its relation ship to the geology and geochemistry of Uranium. AEC. report TIO. Oak Ridge 11 - 21 - 51.
- AUERBACH B. - 1909 - La Terre Lorraine. Idées modernes. T. III, juillet 1909.
- BALDIT A. 1925 - Sur l'alignement de sources radioactives. *Comptes-rendus Ac. des Sciences*. t. 180, p. 1026-1029. Paris.
- BAMBERGER M. - WEISSEMBERGER G. 1915 - Ueber die Radioaktivität von Mineralien Pyromorphite. *Sit. berichte der Kaiserliche Akad. Wiss. H. IX, Abt IIa*, p. 2065 - 2070.
- BARET G. 1904 - Essai de mesure de l'activité photographique de certains minéraux. *Bull. Soc. Française de Minéralogie* t. 27, p. 63 - 66. Paris.
- BARTON P.B. Jr. 1956 - Fixation de l'uranium dans les minerais métalliques oxydés du district de Goodsprings - Comté de Clark Nevada - Traduction n° B 66 - Commissariat à l'Energie Atomique - Saclay.
- BECQUEREL M. 1896 - Sur les radiations émises par phosphorescence.
 - Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents.
 - Sur les radiations invisibles émises par les sels d'Uranium. *CRAS*. Paris t. 122 - p. 420 - 423 ; 501 - 503 ; 689 - 692.
- BEGEMANN F., Von BUTTLAR, HOUTERMANS F.G., ISAAC N. et PICCIOTTO E. 1953 - Application de la méthode du Radium D à la mesure de l'âge "chimique" d'un minerai d'uranium. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 4, p. 21 - 35. Londres - Pergamon Press.
- BELIN R.E. 1959 - Radon in the New-Zealand Geothermal region. *Geochimica et Cosmochimica Acta* - V. 16 n° 1/3 p. 181 - 191. Londres - Pergamon Press.
- BEHARREL J. 1949 - Absorption of α rays in thick sources - *Transactions of American geophysical Union* V. 30 n° 3, p. 333 - 336.
- BERNARD A. - JURAIN G. - de la ROCHE H. 1959 - Rappel de notions fondamentales et généralités sur la prospection géochimique - Colloque sur la prospection géochimique - Abbaye de Royaumont. 29 Avril 1959.

- BESSE, HURE J, BRASSART - 1951 - Dosage de quantités d'Uranium de l'ordre de 1/100 de microgramme par fluorimétrie. Applications de la méthode aux minerais à faible teneur en Uranium. Rapport C.E.A. Serv. de chimie appliquée. Recherches Analytiques.
- BIZARD C. et ZIEGLER V. - 1955 - Contribution à l'étude des gîtes hypothermaux et pyrométasomatiques en fonction de la pétrographie dans la bordure orientale du Tichka (Haut Atlas occidental - Maroc). Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc. t. II, p. 113 - 154.
- BLANGY B. 1960 - Résultats des vols scintillométriques effectués sur la Division de la Crouzille (Mission 620). Rapport C.E.A., inédit, Décembre 1960.
- BLEICHER G. 1890 - Les Vosges, le sol, les habitants - Paris.
- BOIRIE C. 1958 (a) - Extraction de quelques sulfates et bisulfate d'amines. Bull. Soc. Chimique de France - p. 980 - 985.
- BOIRIE C. 1958 (b) - Extraction du sulfate d'uranyle par les amines. Bull. Soc. Chimique de France. p. 1088 - 1093.
- BOIRIE C. 1959 - Extraction des sulfates par les amines à longue chaîne. Thèse - Paris.
- BROCHET A. 1908 (a) - Détermination de la radioactivité des eaux thermales de Plombières - C.R.A.S. Paris - t. 146. p. 675 - 677.
- BROCHET A. 1910 (b) - Nouvelles déterminations de la radioactivité des eaux thermales de Plombières - C.R.A.S. Paris - t. 150, p. 145 - 148.
- BROCHET A. 1910 (c) - Radioactivité de quelques sources sauvages des Vosges - C.R.A.S. Paris - t. 150, p. 291 - 293.
- BROCHET A. 1910 (d) - Relation entre la radioactivité et la richesse en extrait sec des eaux thermales de Plombières - C.R.A.S. Paris - t. 150, p. 423 - 425.
- BRONWELL - Radiation Surveys with a scintillation counter. Economic Geology. 45. 1950, p. 167 - 174.
- BROWN H. and SILVER L.T. - 1955. The possibilities of securing long range supplies of uranium, thorium and other substances from igneous rocks. 1ère Conf. int. sur l'Util. Pacif. de l'Energie Atomique. Août 1955. 8/P/850. Genève.
- BUDDE E. 1956 - Radon measurements as method in Geophysics - Comm. 11ème European Assoc. of Exploitation Geophysicist - Milan.
- BURG G. 1942 - Die nutzbaren Minerallagerstätten von Deutsch - Südwestafrika - Mitt. der Gruppe deut. Kolonialwirtsch. Unternehm. Bd 7. Berlin - 305 p. 65 fig. 8 cartes.
- BURSTALL F.M. WILLIAMS A.F. Handbook of chemical methods for the determination of Uranium in Minerals and Ores. Londres 1950.
- BUTLER A.P. - 1957 - White Mountain, plutonic series, New-Hampshire. Geologic Investigations of radioactive deposits. TEI. 690, t. II, p. 546 - 550. Geological Survey - Washington.
- CARDOT C. - 1911 - Le Trias inférieur de la Haute Vallée de l'Ognon et de ses vallons tributaires. Etude stratigraphique et paléontologique. Bull. Soc. Belfortaine d'Emulation. n° 30. Belfort. Devillers.
- CARDOT C. 1913 - Esquisse géologique et minéralogique du Tunnel de Chateau-Lambert. Bull. Soc. Belfortaine d'Emulation n° 39. 1913.
- CHARRIN V. 1933 - Le gîte manganifère de Saphoz - Génie Civil t. 102.11 - 2. p. 146 - 147.
- CHERMETTE A. 1950 - Le Spath fluor. Revue de l'Industrie Minérale (2) St Etienne - p. 898 - 918.
- CHOLLEY A. 1914 - La Vôge - Annales de Géographie.
- CHOUBERT G. et GARDET G. 1935 - Contribution à l'étude du Permien des Vosges - Revue de Géographie physique et de géologie dynamique - Paris - t. VIII - p. 325 - 362 - 16 fig. 1 tableau - 1 carte - Bibli.
- CLARK W.R. et BOTSET H.G. 1932 - Correlation between Radon and Heavy Minerals content of Soils. Am. Ass. Pétr. Geol. Bull. 16 - 1349 - 1356.

- CLARKE R.S., ALTSCHULER Z.S. - 1958 - Détermination of the oxidation state of Uranium in apatite and phosphorite deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, V. 13, p. 127 - 142.
- COMBRISSE J. 1955 - Recueil de données numériques et de définitions. Protection - Dosimétrie - Rapport C.E.A. n° 455 - CEN Saclay -
- COPPENS R. 1950 - Sur l'emploi de l'émulsion photographique pour la détermination de la radioactivité des roches par l'examen des trajectoires des rayons α . *Journal de Physique et le Radium* - Paris - t. 11 p. 21 - 32.
- COPPENS R. et STUSSI J.M. - 1961 - Variations de l'activité des petits cristaux radioactifs des roches en fonction de leurs dimensions. 86ème Congrès des Sociétés Savantes. Montpellier.
- CORROY G. 1934 - Etude stratigraphique et tectonique des régions nord du seuil de Bourgogne et du bassin des eaux minérales vosgiennes. *Ann. Fac. Sciences - Marseille*. p. 6 - 80. 5 cartes 2 coupes.
- COULOMB R. 1955 - Dispersion des radioéléments de la famille Uranium-Radium dans les eaux naturelles. *Bull. Soc. Française de Minéralogie* t. 78, p. 89 - 96.
- COULOMB R. et GOLDSTEIN M. - Prospection et recherche de l'Uranium. Prospection géochimique. Congrès du Centenaire de la Société de l'Industrie minière. Juin 1955, Vol 1 R St-Etienne
- COULOMB R. et GOLDSTEIN M. - LE MERCIER M. 1958 - L'Uranium dans quelques granites français. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Londres - Vol. 15 n° 1/2 p. 10 - 17.
- COULOMB R. - 1959 - Contribution à la géochimie de l'uranium dans les granites intrusifs. Thèse Sciences physiques. Paris.
- COUSIN G. 1924 - Tectonique du Sud des Vosges. *C.R.A.S. Paris* - t. 176. p. 173 - 176.
- COUSIN G. 1925 - 1926 - Révision de la carte géologique feuille Lure-Mulhouse. *Compte-rendus des Collaborateurs. Service de la Carte géologique*. t. 29, p. 1 - 5 - Paris.
- CURIE M.S. 1898 - Rayons émis par les composés de l'Uranium et du Thorium - *C.R.A.S. Paris* t. 126 - p. 1101 - 1103.
- CAMPBELL N.R. and WOOD A. 1906 - The radioactivity of the alkali metals. *Proc. Cambridge. Phil. Soc.* t. 14 - p. 15 - 21.
- P. CURIE - A. LABORDE 1904 - Sur la radioactivité des gaz qui proviennent de l'eau des sources thermales. *C.R. Ac. Sci - Paris*. t. 138 - p. 1150 - 1153.
- CURIE P. - LABORDE A. 1906 - Sur la radioactivité des gaz qui proviennent de l'eau des sources thermales. *C.R. Ac. Sci - Paris*. t. 142 - p. 1462 - 1465.
- DALY R.A. 1933 - *Igneous Rocks and the Depths of the Earth*. New-York - Mc Graw-Hill.
- DANNE W. 1905 - Sur un nouveau minéral radifère. *C.R.A.S. Paris* t. 140 -
- DANNE W. - LABORDE A. 1910 - Sur les mesures quantitatives de l'émanation du Radium - *C.R.A.S. Paris* - t. 150 - p. 1421 - 1423.
- DAMON P.E. and HYDE H.I. 1952 - Scintillation tube for the measurement of radioactive gases. *The review of Scientific Instr.* Vol. 23 - n° 12 p. 766.
- DAY H.O. GILL J.S. JONES E.V. and MARSHALL W.L. - 1954 - Use of cation exchange resin for total anion analysis of aqueous solution containing uranyl ion. *Analytical Chemistry*. 26 1954. p. 611.
- DEECKE W. 1925 - Das innere System im West un Suddeutschen Thermalphänomen. *Zeit. Deuts. Geol.* V. 77, p. 96 - 111.
- DEECKE W. 1933 - Die Tektonik des Scharzwälder, Grundgebirges. *Fortschritte der Geologie und Paleontologie*. Borntraeger. Berlin Bd X, Heft 31 - 346. p. 47 fig. 2 tabl. Bibliographie.
- DEUTSCH S. and JANSSENS P. - 1959. Coloration of biotites by α Particles in Pléochroïc Haloes II *Nuevo Cimento. Serie X*, Vol. 11, p. 473 - 483.
- DIENNERT F. 1906 - Sur la radioactivité des sources d'eaux potables *C.R. Ac. Sciences Paris*, t. 142. p. 883 - 885.
- DIENERT F. - BOUQUET E. 1920 - Relation entre la radioactivité des eaux souterraines et leur hydrologie. *C.R. Ac. Sciences*, t. 171, p. 733 - 735.

- DIXON W.J. and MASSEY F. Jr. 1951 - Introduction to statistical Analysis - Mc Graw-Hill - New-York.
- DELABY R. - CHARONNAT G. - JANOT M. 1931 - La radioactivité des eaux de quelques sommets des Vosges C.R. Ac. Sci. t. 193, p. 1434 - 1436-1932 - La radioactivité des eaux du Ballon d'Alsace. C.R. Ac. Sci. t. 195, p. 1294 - 1297.-1933 - Nouvelles recherches sur la radioactivité des eaux du massif du Ballon d'Alsace - C.R. Ac. Sci. t. 197, p. 1294 - 1297.
- DELIBRIAS Mme G. 1954 - Dosage du Radon dans l'air. Le journal de Physique et le Radium - t. 15, p. 784 - 80 A.
- DENSON N.M. - ZELLER M.D. - STEPHENS J.G. - Water sampling as a guide in the search for U deposits. Intern. Conf. on the peaceful uses of Atomic Energy. 15 Juin 1955.
- DORMOIS - POUGHON - ZEGERS 1959 - Rapport technique inédit - Mission D. R. E. M.- C. E. A. en Pologne -19 - 28 Octobre 1959.
- DRAGANIC I. - Fluorimetrische Uranbestimmung in Erzen. Recueil de travaux de l'Institut de recherches sur la structure de la matière. Belgrade 1952. p. 89 - 94.
- DURAND G. - 1957 - Sur la synthèse de la vanadinite. CRAS, Paris, t. 244, p. 2621 - 2624.
- ENGEL R. et BOHN J.L. 1930 - Relations entre les problèmes géologiques et la radioactivité des roches et des eaux. Bull. Géol. Soc. Am. Vol. 41 - p. 154 - 160.
- ETALLON E. - 1854 - Du sol dans une partie de la Haute Saône : Grès bigarré des environs de Luxeuil. 16 p., Bazouge imp. Dinan.
- EXNER C. und POHL E. - 1951 - Granosyenitischer Gneis und Gesteins-Radioaktivität bei Badgastein. Jarhb. Geol. Bundesanstalt. Bd XCIV. p. 1 - 58.
- FAISI S. 1951 - Die Eisen und Manganerzgänge von Eisenbach (Scharzwald) und ihre tektonische Stellung - Neues J. Mineral Jb. 83 - 1 - p. 53 - 150 - Carte et coupes, Bibliographie.
- FINNEY G.D., EVANS R.D. - 1934. The radioactivity of solids determined by alpha ray counting. Phys. Rev., V. 48, p. 503 - 511.
- FIX F.F. - Geochemical prospecting for U by sampling ground and surface waters. Intern. Conf. on the peaceful uses of Atomic Energy. 15 Juin 1955.
- FOURNIER E. 1920 - Nouvelles études tectoniques en Franche-Comté. Bull. Serv. Carte Géologique de France, t. XXIV p. 1 - 9.
- FOURNIER E. 1923 - Sur les améliorations à apporter aux captages des eaux thermales et minérales de Luxeuil. Document inédit - Service des Mines de Belfort.
- FREDERICKSON A.F. 1948 - Some mechanism for the fixation of Uranium in certain Sediments. Science. Vol. 108, p. 184 - 185.
- FREY R. 1933 - Les analyses d'eaux et leur interprétation. Serv. des Mines et de la Carte Géologique du Maroc, Notes et Mémoires n° 26.
- FRIEDLANDER C. - NIGGLI P. 1931 - Beitrag zur Petrographie der Vogesen. Schweiz. Min. et Petrog. Mitt. Bd 11, p. 365 - 411.
- FRONDEL et FLEISCHER. 1952 - A glossary of U and Th bearing minerals. II^e edition - U.S. Geol. Survey Circ. n° 194 - Washington.
- GARDET G. 1938 - Sur la présence de micaschistes et de schistes métamorphiques au Nord-Ouest de Chateau-Lambert. Bull. Soc. Sciences de Nancy - n° 8 - 9, p. 145 - 147.
- GEFFROY J. 1953 - Les minéralisations du granite et du complexe métamorphique de Raon-l'Etape - Vosges. C.R.A.S. - Paris. t. 236, p. 1293 - 1295.
- GEFFROY et SARCIA J.A. - La notion de "gîte épithermal uranifère" et les problèmes qu'elle pose. Bull. Soc. Geol. de France - série 6, t. 8 n° 3 - p. 173 - 190.
- GEFFROY J., SARCIA J.A. - 1960. Les minerais uranifères français. I. Les minerais noirs . Paris. Presses Universitaires de France.
- GENSER G. 1932 - Ueber die Entstehung und die Natur radioaktiver Quellen. Geol. Rundschau - 23 - p. 188 - 237.

- GENSER C. 1933 - Radioaktive Heilquellen in Deutschland - Zeit. d. Geol. Gesellschaft : Bd. 85 , p. 482 - 495.
- GILETTI B.J. et KULP J.L. 1955 - Radon leakage from radioactive minerals - American Mineralogist. t. 40, p. 481 - 496.
- GLANGEAUD L. - MINOUX G. - RICOUR J. 1957 - Résultats stratigraphiques et hydrologiques du forage exécuté dans le Trias à Lure (Haute-Saône) en 1951-1952 C.R. somm. Soc. Géol. France. p. 83 - 84.
- GRAMMAKOV A.C. - KVASHNEVSKAYA N.V. - NIKONON A.T. - SOKOLOV M.M. -
- SOCHEVANON N.N. - SUPPE S.A. and TAFEYEV G.P. 1958 - Some theoretical and methodical Probleme of Radiometric prospecting and Survey. Proceedings of the Second international Conference Peaceful Uses of Atomic Energy - Genève. Vol. 2, p. 732 - 743.
- GRIMALDI F.S. - MAY I. - FLETCHER M.H. - TITCOMB J. - Collected papers on methods of analysis for U and Th. Geological Survey Bulletin 1006. 1954 : p. 185.
- GRIMALDI F.S. - MAY I. - FLECHTER M.H. - U.S. Geological Survey fluorimetric method of Uranium analysis. Geological Survey Circular 199. 20 p. - 1953 -
- GRIMBERT A. 1957 - Application des techniques géochimiques de prospection à la recherche et à l'étude des gîtes uranifères en France métropolitaine. Note inédite - Commissariat à l'Energie Atomique n° 188 (Par autorisation de M. le Directeur des Recherches et Exploitations minières - C.E.A.).
- HAMES I. 1935 - Contribution à l'étude des gisements de Vanadium. Dipl. d'Etudes Supérieures, Université de Nancy.
- HAYASE I. 1959 - The radioactivity of rocks and minerals studied with nuclear emulsion. VII. Radioactivity of granite sphene. Mem. of the Coll. of Sciences. Univ. Kyoto. Série B. Vol. XXV, n° 4, p. 205 - 213.
- HEE A. 1948 - Recherches sur la radioactivité d'un granite des Vosges par la méthode photographique. Ann. Geophysique Paris t. 4 : fasc. 3, p. 242 - 252.
- HABERLANDT H. und SCHIENER A. - 1951 - Die Mineral - und Elementvergesellschaftung des Zentralgneisgebiete von Bad-Gadstein (Hohe Tauern). Tschermaks Min. Petrog. Mittl. III. F. 2 112, p. 48 - 110.
- HEINRICH E. Wm - 1958. Mineralogy and Geology of radioactive raw materials. Mc Graw Hill. New-York.
- HENDERSON G.H. and BATESON S. 1934 - A quantitative study of pleochroic haloes - Proc. Roy. Soc. London - t. 145 A, p. 563 - 591.
- HESS V.F. 1943 - On the Radon Content of the atmosphere and the radium content of river Water. Terrestrial magnetism and atmospheric Electricity Quaterly Journal - V. 48, n° 4 p. 203 - 206 .
- HESS V.F. and ROLL J.D. 1948 - New experiments concerning the surplus gamma radiation from rocks. Physical Review - t. 73 p. 592.
- HILPERT L.S. and BUNKER C.M. 1957 - Effects of Radon in Drill Holes on gamma ray logs - Economic Geology. V. 52, p. 438 - 455.
- HOENES D. 1949 - Magmatische Entwicklung und Tiefenstufen im Grundgebirge der Vogesen und des Schwarzwaldes. Ber. Naturforsch. Gesellschaft 39 - p. 196 - 223, 1 fig. 1 tabl. 1 cart. Freiburg.
- HOFFMANN J. 1939 - Ueber das Radium - Uranverhältnis in Karlsbader Thermen. Akad. der Wissenschaften in Wienn p. 114 - 116.
- HOFFMANN J. 1949 - Uran in Gesteinen und Sedimenten des Erzgebirgesbruches - Mitt. des Institutes für Radiumforschung, Wien. Sitz. ber. n° 430, p. 189 - 205 (1 carte).
- HOFFMANN J. 1940 - Uran im Quellengebiet von Franzensbad - Akad. Wiss. Sitzungberichte - Wien, Math nat. Kl. Abt. II b Bd 149 - 113, p. 100 - 114.
- HOFFMANN J. 1941 - Uran bestimmung in Quellen südöstlich des Erzgebirges bis zum Wiener Thermalgebiet. Akad. Wiss. Sitzungberichte Wien. Math. nat. Kl. Abt. II b, Bd 150, p. 112 - 126.

- HOFFMANN J. 1941 - Uran in nördlichen Teil des Erzgebirgesbruches. Akad. Wiss. Sitzungsberichte Wien. Math. Nat Kl. Abt. IIb, Bd 150. H. 1, p. 12 - 23.
- HOFFMANN J. 1942 - Ueber in Süßwässer, gelöste und von Sedimenten mitgerissene Uranmengen. Chemie der Erde. Bd 40. H. 2. p. 239 - 252.
- HOUTERMANS F.G. - HAXEL O. und HEINTZE J. 1950 - Die Halbwertszeit des K^{40} - Zeitsch Physik, t. 128 p. 657.
- HUDGENS J.E.R. - BENZING R.O. - CALI J.P. - MEYER R.C. - NELSON L.J. 1951 - Determination of radium or radon in gases, liquids or solids. Nucleonics - 9 - n° 2 - 14 - 21.
- HURLEY P.M. - 1956 - Direct radiometric measurement by gamma-ray scintillation spectrometer. Bull. Geol. Soc. Amer., v. 67, p. 395 - 404. (Voir également : Bull. Geol. Soc. Amer. 1954, part 2, p. 1971).
- HUSSEIN H.A.M. 1959 - Etude pétrographique et radiogéologique de la région située au Nord de Nantes (Loire-Atlantique). Thèse, Nancy. 114 p. 16 fig. - Bibli.
- HUTTON C.O. 1947 - The nuclei of pleochroic halos. Amer. Journ. Sci. vol. 245, p. 154 - 156.
- JACOULET M.J. - 1960 - Etude géologique de la région de Passavant-la-Rochère (Haute-Saône). Diplôme d'Etudes Supérieures. Besançon.
- JACOULET M.J. - THEOBALD N. THIEBAUT J. 1960 - Données nouvelles sur la géologie de la région suboccidentale des Vosges aux environs de Passavant-la-Rochère - (Hte-Saône) CRAS. t. 250 p. 3345 - 3346 - Paris.
- JACQUET C. 1926 - Nouvelles sources radioactives dans le Puy-de-Dôme. Compte-rendus Ac. Sciences, t. 182, p. 1398 - 1400 - Paris.
- JANNEL C. 1887 - Etude géologique de la ligne de Jussey à Darnieulles. Compagnie des Chemins de Fer de l'Est. J. Marchandier Paris.
- JANNEL C. 1888 - Etude géologique de la ligne d'Epinal à Luxeuil. Compagnie des Chemins de Fer de l'Est. J. Marchandier - Paris.
- JOLIOT - CURIE. - Les Radioéléments naturels. 1946. Paris. Hermann.
- JOLY H. 1912 - Géographie physique de la Lorraine et de ses enveloppes - A. Barbier. Nancy.
- JOLY H. 1923 - Pleochroic haloes of various geological ages. Proc. Roy. Soc. London. A 102, p. 682.
- JUNG J. - 1921. La tectonique hercynienne des Vosges. CRAS, Paris, t. 173, p. 1377 - 1379.
- JUNG J. 1928 - Contribution à la Géologie des Vosges hercyniennes d'Alsace. Mém. Service Carte Géologique Alsace et Lorraine - Strasbourg n° 2 - 481 p.
- JUDSON S. and OSMOND J.K. 1955 - Radioactivity in ground and surface waters. American journal of Science. 253. p. 104 - 116.
- JURAIN C.C. 1716 - Mémoire fidèle de l'antiquité de la ville et des eaux de Luxeuil. Manuscrit inédit (voir ROUX R.).
- JURAIN G. 1955 (a) - Sur la teneur en Uranium d'eaux thermales du sud des Vosges. Compte-rendus. Ac. Sci. 241. p. 1482 - 1485.
- JURAIN G. 1955 (b) - Sur une faille affectant le Trias inférieur et moyen dans la région de Luxeuil (Hte-Saône) et un filon de quartz dans le grès bigarré près de Bains-les-Bains (Vosges) - C.R. somm. Soc. Géol. France t. n° 8 1956.
- JURAIN G. 1956 - Présence d'Uranium dans quelques gîtes de manganèse dans les Vosges méridionales et centrales - C.R.A.S. Paris - t. 243. p. 1044 - 1045.
- JURAIN G. 1957 (a) - Origine probablement hydrothermale d'une localisation actuelle d'Uranium dans les Vosges méridionales. 82ème Congrès des Sociétés Savantes - Bordeaux.
- JURAIN G. 1957 (b) - Remarques sur la teneur en Uranium des eaux des Vosges méridionales C.R. Ac. Sci. t. 245, p. 1071 - 1074 - Paris.
- JURAIN G. et MAILLOT J.P. 1958 (a) - Dosage radiométrique rapide de l'Uranium et du Thorium dans les minerais complexes. Le Journal de Physique et le Radium Paris, t. 19, p. 35-A - 38 A.

- JURAIN G. 1958 (b) - Signification géochimique des anomalies de teneur en Radon des eaux des massifs cristallins et cristallophylliens. C.R. Sommaire Société Géologique de France n° 14, p. 348 - 350.
- JURAIN G. 1960 - Moyens et résultats d'étude de la radioactivité due au radon dans les eaux naturelles. *Geochimica et Cosmochimica Acta* - Vol. 20, p. 51 - 82. Londres-Pergamon Press.
- JURAIN G. 1961 - Sur la possibilité d'utiliser le dosage du radon des eaux souterraines dans la prospection des gîtes uranifères. C.R.A.S. Paris, t. 252, p. 3090 - 3092.
- JUTIER - LEFORT 1862 - Etudes sur les eaux minérales et thermales de Plombières. Baillière. Paris. 230 p. 2 pl.
- KAPLAN G. 1958 - Introduction à l'étude de la géochimie de l'Uranium dans les roches altérées du Massif de Rostrenen. Thèse - Nancy.
- KARPINSKI R.W. - Contribution à l'étude métallogénique des Vosges méridionales. Thèse. 1931 S.I.T. Nancy.
- KEEVIL N.B. 1943 - Radiogenic heat in rocks. *Journal of Geology* - Vol. 51 - p. 287 - 300.
- KERVELLA F. - 1958 - Les gisements uranifères dans les formations sédimentaires en France et dans l'Union française. *Bull. Inf. Scient. et Techn. C.E.A. Paris.* n° 16, p. 2 - 8. n° 17, p. 11 - 28. n° 18 p. 22 - 30.
- KERNER F. von 1914 - Richtigstellung betreffend die geologische Position der sehr stark radioaktiven Quelle im Siegreitter Graben bei Steinach. *Verhandlung der kaiserlich - königlichen geologische Reichsanstalt.* p. 119 - 123.
- KIRCHEIMER F. - Die Uranerzvorkommen im mittleren Schwarzwald. *Mitteilungsblatt der Badischen Landesanstalt.* 1951 p. 1 - 74.
- KIRCHEIMER F. - Weitere Untersuchungen über das Vorkommen von Uran im Schwarzwald. *Abhandlungen des Geologischen Landesamt in Baden-Württemberg.* 1 H. 1. 1953, p. 1 - 60.
- KIRCHEIMER F. 1957 - Bericht über das Vorkommen von Uran in Baden - Württemberg ; *Ahb. Geol. Landesamt. Baden-Württemberg H. 2.* p. 1 - 127. von Herder - Freiburg i. Br.
- KIRCHEIMER F. 1959 - Ueber radioaktive und uran haltige thermale Sedimente insbesondere von Baden-Baden. *Abh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg H. 3,* p. 1 - 67. von Herder - Freiburg i. Br.
- KIRIKOV A. 1928 - To the knowledge of the radioactiveness in Sewiretchie. *Bull. du Comité Géolo.* 47 n°6. Leningrad, p. 637 - 652.
- KIRSCH G. 1928 - *Geologie und Radioaktivität* - Wien. 214 p.
- KOBER L. - Gastein, Geologie, Tektonik, Lagerstätten und Radioaktivität. *Berg. und Hüttenmännische Monatshefte.* p. 106 - 111.
- KOECHLIN Y. 1955 - Caractéristiques du montage optique d'un scintillateur. *Le Journal de Physique et le Radium* - tome 16 Novembre. p. 849 - 853.
- KOECHLIN Y. 1955 - Le compteur à scintillation. *Cours Conférence de Génie Atomique. Commissariat à l'Energie Atomique.*
- KOHL E. 1951 - Die Radioaktivität des Wassers und ihre Ursachen. *Gesundheits Ingenieur.* H. 3, p. 45 - 47.
- KOVACH E.M. 1944 - An experimental study of the radon content of soil-gas. *Am. Geophysi. Union Trans. V. 25.* p. 563 - 571.
- KOVACH E.M. 1945 - Meteorological influences upon the radon content of soil gas. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity.* Mars 1946. p. 45 - 46.
- KURBATOV S. 1924 - Sur le nouveau gisement des combinaisons Uranium - Vanadium dans le district de Minussinsk (Eniseisk). *Bull. Acad. Science U.R.S.S. série VI t. XVIII - 2ème partie* 9 - 11. p. 315 - 322.
- KURODA P.K. - DAMON P.E. - HYDE H.I. - 1954 - Radioactivity of the spring waters of hot springs National Park and Vicinity in Arkansas. *American Journal of Sciences* - Vol. 252, p. 76 - 86.

- LAFITTE P. 1957 - Introduction à l'étude des roches métamorphiques et des gîtes métallifères. Masson - Paris.
- de LAPPARENT A. - 1897 - Note sur l'histoire géologique des Vosges. Bull. Soc. Géol. de France. 3ème serv., t. XXV, p. 6 - 28.
- LARSEN E.S., PHAIR G., GOTTFRIED D., SMITH W.L. - 1955 - Uranium in magmatic differentiation. 1ère Conf. Utilis. Pacif. Energie Atomique. Genève, t. VI, Mém. P/17, p. 275 - 285.
- LARSEN E.S. - PHAIR G. - GOTTFRIED D. - SMITH W.L. 1955 - L'Uranium dans la différenciation magmatique. Actes de la conférence de Genève. Vol. VI, p. 275 - 285.
- De LAUNAY L. 1899 - Recherches, captage et aménagement des sources thermo-minérales. Baudry. Paris.
- De LAUNAY L. 1901 - Les roches éruptives carbonifères de la Creuse. Bull. Serv. Carte Géologique. XII, n° 83 - p. 185.
- De LAUNAY L. 1932 - La zone granulitique des Millevaches - Bull. Serv. Carte Géologique. XXXV n° 183, p. 188.
- LEPSIUS R. 1875 - Ueber den buntensandstein in den Vogesen, seine Zusammensetzung und Lagerung. Zeitsch. d. Geol. Gesellsch. vol. 27, p. 83 - 103. 1 carte. coupes.
- LEUTWEIN F. 1957 - Alter und paragenetischer Stellung der Pechblende erzgebirgischer Lagerstätten - Geologie - 6e, vol. 8. Berlin.
- LEVEAU M. 1957 - Détermination graphique des éléments intéressants d'une distribution lognormale lorsqu'on utilise l'ajustement de la droite de Henry. Annales des Mines IV - p. 223 - 227.
- LIETARD A. 1888 - Le Trias des Vosges méridionales. Bull. Soc. des Sciences de Nancy - Série II t. IX, fasc. XXII. 1889. Berger Levrault. Paris. p. 44 - 68.
- LINDGREN W. 1933 - Mineral deposits - Mc Graw Hill. Londres, p. 444.
- LOMBARD J. 1958 - Raisons et principes fondamentaux de l'application des méthodes statistiques à quelques problèmes géologiques. La Chronique des Mines d'Outre-Mer et la Recherche Minière, n° 262, Avril 1958, p. 103 - 111, Paris.
- LONGCHAMON L. et H. 1932 - Sur la Vanadinite d'Hérival. Vosges. CR Ac - Sci. Paris t. 135 p. 1397.
- LOUGNON J. 1956 - Rapport général sur le manganèse en France. 20ème Congrès géologique international. Mexico. Symposium sobre Yacimientos de manganeso. t. V, Europa, p. 63 - 171.
- LOVERING T.S. - CANNEY F.C. - LAKIN M.W. - The use of geochemical techniques and methods in prospecting for Uranium. Intern. Conf. on the peaceful uses of atomic energy. 15 Juin 1955.
- MACHE H. 1943 - Ueber die Entstehung radioaktiver Quellen. Alpenländ. Geol. Ver. (Geol. Gesell. Wien) Mitt. Bd. 34, p. 69 - 79.
- MALYUGA D.P. 1958 - An experiment in biogeochemical prospecting for Molybdenum in Armenia - Geochimica. n° 3, p. 314 - 337.
- MARCIN J. 1961 - Rapport sur la vérification des anomalies aériennes sur les permis de la Crouzille. Rapport C.E.A., inédit, Mai 1961.
- MATHERON G. - 1955 - Application des méthodes statistiques à l'évaluation des gisements. Annales des Mines. Décembre 1955, p. 50 - 73.
- MATHIEU G. 1947 - Observations Géologiques sur le Stéphanien de la concession de St Germain (Hte-Saône). C.R.A.S. Paris. t. 225, p. 1339 - 1341.
- MATHIEU G. - 1950 - Des relations structurales entre les Mauges et la Gâtine. Bull. Serv. Carte Géol. de la France. n° 229, t. XLVIII. p. 91 - 113.
- MAUBEUGE P.L. - 1960 - Quelques observations sur les roches anciennes de la région de Chatillon-sur-Saône (Vosges). Bull. Soc. des Sciences de Nancy. (Séance 11 juin 1959). t. XIX, n° 1, p. 24-29.
- MICHEL - LEVY A. 1874 - Note sur une classe de roches éruptives intermédiaires entre les granites porphyroïdes et les porphyres granitoïdes = groupe des granulites Bull. Soc. géol. de France. 3ème série - 11 - p. 177 - 188.

- MIHOLIC S. - Radioactivity of waters from sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 4. 1953, p. 209 - 211.
- MILLER R.L. - GOLDBERG E.D. 1955 - The normal distribution in geochemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Londres Vol. 8. p. 53 - 68.
- MINOUX G. 1958 - Nouvelles observations sur la couverture triasique et son substratum dans la région occidentale des Vosges. *Bull. Soc. Géol de France - 6ème Série*. t. 8 - n° 3. p. 213 - 236. 1 planche.
- MONAL L. 1936 - Etude physico-chimique sur les eaux thermales de Bains-les-Bains - Thèse. Nancy, 214 p.
- MOREAU M. 1958 - Les gisements d'uranothorianite du Sud-Est de Madagascar et le problème de l'Uranium et du Thorium dans le métamorphisme profond. Commissariat à l'Energie Atomique. Mission de Madagascar. 26 p. Cartes ; Bibl.
- MOTHES J. 1952 - Techniques modernes de contrôle des fabrications. Dunod, Paris.
- MOUGEOT A. (1882 ?). Note sur les végétaux fossiles du grès rouge ; comparaison avec ceux du grès bigarré. 12 p. Vagner, Nancy.
- MUCHEMBLE G. 1952 - Observations sur les eaux souterraines radioactives du Nord de la France et la radioactivité des roches encaissantes. *Ann. Institut d'Hydrologie et Climatologie - Paris*. t. XXIII n° 72, p. 29 - 64, 8 fig.
- NAKANASHI M. Fluorimetric microdetermination of Uranium.
 1950 I. Fluorescent Material for the determination. *Bull. of Chemical Soc. of Japan*. 23, n° 2 p. 61 - 64.
 1950 II. Extraction of Uranium. - d° - 23 n° 5 p. 198.
 1950 III. Isolation and preparation of fluorescent material. - d° - 23. n° 5, p. 201.
 1951 IV. Measurement of the fluorescent intensity and determination of the U. content in natural substances (rocks). 24 p. 33 - 35.
 1952 V. The Uranium content of sea water - d° - 24, 36 - 38.
- NIEPCE de St VICTOR. 1867 - Sur une nouvelle action de la lumière. *C.R.A.S. Paris*. t. 65, p. 505 - 507.
- NIGGLI P. 1925 - Die Apatit und ihre Verwandten. *Zeitschr. f. Kristallogr.* t. 62.
- NOGAMI H.M. - HURLEY P.M. 1948 - Absorption factor in counting α rays from thick sources. *Transactions of American geophysical Union*. v. 29, p. 335 - 340.
- NORINDER H., METNIEKS A., SKINA R. - 1953 - Radon content of the air in the soil at Uppsala. *Orkiv. Geofysik. Bol II. H.* 5 - 6, p. 571 - 579.
- OSTLE D. 1954 - Geochimical prospecting for Uranium. *Mining Magazine*. 1954.
- PATTORET A. 1959 - Fluorimétrie. *Traité de Chimie minérale*. P. PASCAL t. XV, p. 628. Masson Paris.
- PETTERSON H. 1949 - The geochronology of the deeps ocean bed. *Tellus*. t. I, p. 1.
- PERRIAUX J. - 1961 - Contribution à la géologie des Vosges gréseuses. Thèse. Nancy. Mem. Service Carte géol. Alsace et de Lorraine, Strasbourg, n° 18, 1961.
- PHAIR G. and LEVINE H. 1953 - Notes on the differential leaching of Uranium Radium, and Lead from the pitchblende in sulphuric solutions. *Economic Geology - Lancaster*. vol. 48, p. 358 - 369.
- PICCIOTO, E. 1949 - L'étude de la radioactivité des roches par la méthode photographique. *Bulletin Soc. Belge Géologie et Paléontologie*. 58. 1949, n° 1, p. 75 - 90.
- PIGGOT C.S. - URRY Wm. D. 1941 - Radioactivity of ocean sediments. III. Radioactive relations in ocean water and bottom sediment. *Amer. J. Science*. t. 239, p. 81.
- PINAUD C. - 1961. Les minerais d'Uranium français. t. II. Presses Universitaires de France. Paris.
- PONSFORD D.R.A. 1955 - Radioactivity Studies of some British Sedimentary Rocks. *Bull. of Geol. of Great Britain*. n° 10, p. 24 - 44.

- POOLE J.H.J. et BREMMER J.W. - Investigations on distribution of radioactive elements in rocks by photographic method. *Nature G.B.* 163 1949. n° 4134, p. 130 - 131.
- POUGHON A. MOREAU M. 1955 - Les gisements à parsonsite de Lachaux. *Sciences de la Terre.* Nancy. t. 3, p. 234.
- PRADEL J. 1956 - La prospection de l'Uranium par le Radon. Rapport C.E.A. n° 588 - C.E.N. Saclay.
- PRICE G.R. - FERRETI R.J.-SCHWARTZS. 1953 - The fluorimetric determination of Uranium. *Analytical chemistry.* 25. p. 322 - 331.
- RAGUIN E. 1927 - Contribution à l'étude de la tectonique dans la région Ouest du Massif Central français. *Bull. Service Carte Géologique de France.* XXX. p. 419.
- RAGUIN E. et JACQMIN E. 1946 - Les gisements de Molybdène de Château-Lambert dans les Vosges. *Houille, Minerais, Pétrole* n° 2 Paris. p. 60 - 65. 4 fig.
- RAGUIN E. 1957 - *Geologie du granite.* 2ème édition, Paris. Masson et Cie
- READ H.H. 1955 - Granite series in Mobile Belts. *Geol. Soc. America Special Paper.* 62, p. 409 - 429.
- REINGANUM M. 1911 - Strenung und photographische Wirkung der Alpha Strahlen. *Physik Zeit.* t. 12, p. 1076 - 1077.
- RIVIERE A. 1955 - Intérêt sédimentologique de la mesure des radioactivités naturelles. *C.R.A.S.* Paris. t. 241, p. 964 - 966.
- ROBINSON S.C. 1952 - Autoradiographs as a means of studying distribution of radioactive minerals in thin section. *American Mineralogist.* 37. n° 5 - 6, p. 544 - 547.
- de la ROCHE H. 1958 - Etude géologique de l'Extrême Sud-Est de Madagascar (Zone d'intensité métamorphique élevée). *Service Géologique de Madagascar.* Tananarive.
- ROSENZWEIG A. and WATSON E.H. - 1954. Some hornblendes from southeastern Pennsylvania and Delaware. *American Mineralogist.* V. 39, p. 581 - 599.
- ROTHER J.P. - PETERSCHMITT. 1952 - La radioactivité des Vosges hercyniennes. *C.R.A.S. Paris,* t. 234, n° 16, p. 1610 - 1612. 1 carte.
- ROTHER J.P. 1957 - La radioactivité des Vosges hercyniennes. *Verhandelingen Kon. Nederl. Geol. Minjouw. Genootschap. Geol. Ser'. S gravenhage.* Deel XVIII, p. 271 - 277. Biblio. (Gedenkboek F.A. Vening Meinesz).
- ROUBAULT M. 1936 - La radioactivité des eaux de la Kabylie de Collo. *C.R.A.S. Paris.* t. 203, p. 100 - 101.
- ROUBAULT M. et COPPENS R. 1957 - Etude de la radioactivité du Massif granitique de Carnac (Morbihan) 82^e Congrès des Soc. Savantes - Bordeaux. *Sect. Sciences Nat.* p. 31 - 42, 2 fig. 4 graph. 6 pl.
- ROUBAULT M. et COPPENS R. 1957 - Sur la présence d'autunite de formation récente dans les granites altérés de la région Mallièvre-les Epesses (Vendée) *C.R. Ac. Sci.* t. 245, p. 101 - 103.
- ROUBAULT M., COPPENS R. - 1958 - Etude de la radioactivité et du plomb dans un cristal de zircon. *CRAS.* Paris, t. 246, p. 137 - 140.
- ROUBAULT M. - PASCAL J. - COPPENS R. 1958 - Sur une relation possible, directe ou indirecte entre le nombre de cas de leucémie et la radioactivité du sol. *C.R. Ac. Sci.* t. 247, p. 369 - 372.
- ROUBAULT M. 1958 - *Géologie de l'Uranium* (avec la Collaboration de G. Jurain). Paris, Masson et Cie.
- ROUBAULT M. et COPPENS R. 1959 (a) - Influence de l'altération sur la répartition des éléments radioactifs dans les roches 84^{ème} Congrès des Sociétés Savantes - Dijon.
- ROUBAULT M. - COPPENS R. - JURAIN G. 1959 (b) - Sur la teneur en radon des eaux froides de certaines régions de France - *C.R. Ac. Sci.* t. 248, p. 715 - 717.
- ROUBAULT M. - COPPENS R. 1960 (a) - Etude de la radioactivité des roches encaissantes d'un gisement uranifère. 85^{ème} Congrès des Sociétés Savantes - Chambéry.

- ROUBAULT M. - COPPENS R. 1960 (b) - Etude radiogéologique d'une partie du massif granitique de Mortagne (Vendée). Int. Geol. Congress. XXI Session, Norden - Part XV. Copenhagen.
- ROUX R. 1914 - Luxeuil-les-Bains. 47 p. Jacques et Demontrond - Besançon.
- RUELLING J. SCHEMNITZKY F. 1951 - Die Alpha-strahlung der Gasteiner Warzen und Knöpfchen-sinter. Tschermaks mineralogie und petrographische Mitteilungen. F. 3 - Band II. H. 3. Wien. p. 283 - 289.
- RUHLAND M. - 1959 - Une dislocation majeure du socle vosgien dans la haute vallée de l'Ognon. Bull. Service de la Carte Géol. d'Alsace-Lorraine, t. 12, fasc. 2, p. 61 - 63.
- RUSSEL W.L. et SCHERBATSKOY S.A. - The use of sensitive ray detectors in prospecting. Economic Geology. 46 1951. p. 425.
- SAHAMA Th. G. 1946 - On the chemistry of the mineral titanite. Bull. Commission geol. de Finlande - Helsinki. n° 138, p. 88 - 120. 1 fig. 6 tabl. Bibl.
- SANSELME M. - GERSTNER A. 1958 - Les gisements d'Uranium de la Chapelle Largeau et de la Commanderie (Deux-Sèvres). Annales des Mines. VI. p. 352 - 380.
- SARCIA J.A. et SARCIA J.A. 1956 (1958) - Les gîtes d'Uranium du Nord Limousin I. Caractéristiques générales de la province uranifère du Nord-Limousin. Sciences de la Terre. Nancy. t. IV. n° 3 - 4, p. 239 - 250. 3 fig.
- SAUKOFF A.A. 1955 - Radiohydrogeological method in prospecting for U. deposits. Intern. Conf. on the peaceful uses of Atomic Energy. 15 Juin 1955.
- SCHEMNITZKY F. und GRABHERR W. 1951 - Ueber Uran anreichernde Warzen und Knöpfchen-sinter an österreichischen Thermen, insbesondere in Gastein. Oesterreich. Mineralogie Mitteilung Gesellschaft. 112. p. 13 - 38.
- SCHOELLER H. 1934 - Les échanges de bases dans les eaux souterraines vadoses : trois exemples en Tunisie. Bull. Soc. geol. France. 5 série, t. IV.
- SCHOELLER H. 1955 - Hydrologie. Institut français du Pétrole. Miméographie.
- SCHEPOTJEVA E.S. 1943 - On the methods of radioactivity measurements. A Vacuum method for measuring the content of radon in waters and gases. Compte-rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S. - Volume XLI. n° 4, p. 169 - 171.
- SCHMID E. 1932 - Messungen des Radium Emanations Gehaltes von Kellerluft. Zeitschrift für Geophysik. Jg. VIII, p. 233 - 242.
- SCHMITT H. 1950 - Source chaude à fumerolles et le milieu de dépôt épithermal. Trad. Ext. Quarterly of the Colorado school of Mines. V. 45, p. 209 - 229.
- SCHNAEBELE E. 1923 - La structure actuelle des Vosges primaires - Application à l'ensemble des Vosges d'observations faites surtout au Nord de la vallée de Villé. C.R.A.S. Paris. t. 176, p. 523 - 526.
- SCHUMACHER F. 1936 - Ueber die Geologie des radioaktiven Quellen des Erzgebirges und ihre Beziehungen zu des radioaktiven Mineralien und Gesteinen. Der Balneologe. 3 H. 3 p. 115 - 125.
- SCHWARTZ G.M. 1955 - Hydrothermal alteration as a guide to ore. Economic Geology - Fiftieth. Anniversary Volume - Lancaster - p. 300 - 323.
- von SEIDLITZ W. 1914 - Leitlinien Varistischer Tektonik im Schwarzwald und in den Vogesen. V. Zeitsch. d. Geol. Gesell. V. 66, p. 100.
- SERVANT J. 1960 - Le radon et ses dérivés à vie courte dans l'atmosphère. Rapport C.E.A. Département d'Electronique. Service d'Electronique Physique. n° 1381 - 174.
- SLACK H.A. - 1949 - Radioactivity measurements in the Kirkland Lake Area. Northern Ontario. Trans. Am. Geophys. Union. V. 30, n° 6, p. 867 - 876.
- SLACK H.A. 1952 - Field measurement of the radioactivity of rocks. Trans. Amer. Geophysical Union. 33 n° 6, p. 897 - 901.
- STEAD F.W. 1955 - Instruments et procédés de mesure de la radioactivité sur le terrain. Actes de la conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques. Vol. VI. p. 820 - 828.

- STEAD F.W. 1958 - Advances in Radioactivity, Radiochemical and Isotopic Methods of Prospecting - Proceedings of the Second international Conference Peacefull uses of Atomic Energy. Genève - Vol. 3, p. 32 - 34.
- STEP J. und BECKÉ F. 1904 - Das Vorkommen des Uranpfecherzes zu St Joachimisthal - Sitzber. Akad. Wiss, Wien. Math. nat. Kl. Abt I. V. 113, 'p. 585 - 618.
- STIEF L.R. STERN T.W. 1952 - Preparation of nuclear track plates and stripping film for the study of radioactive minerals. American Mineralogist. 37. n°3 - 4, p. 184 - 196.
- STEINBERG M. 1960 - Utilisation de la radioactivité naturelle des roches sédimentaires dans l'étude du sidérolithique du Poitou. C.R.A.S. Paris, t. 251, n° 25, p. 3022 - 3024.
- STILLE H. 1951 - Das mitteleuropäische Varische Grundgebirge im Bilde des gesamteuropäischen. Beih. Geol. Jb. Hannover. H. 2. 138 p. 15 fig A tabl. Bibli.
- STRUTT R.J. - 1910 - Measurements of the Rate at which Helium is produced in Thorianite and Pitchblende with a minimum estimate of their Antiquity. Proc. Royal Soc. London. (A) V. 81, p. 378 - 388.
- STUSSI J.M. 1960 - Contribution à l'étude de la radioactivité des sables et de leurs minéraux accessoires de la Rivière Grandrupt - Massif de Senones - Vosges. Thèse. Nancy. ronéotypie.
- SULLIVAN C.J. - 1948 - 1949. Ore and granitisation. Economic Geology, Vol. 43, p. 471 - 498 et Vol. 44, p. 336.
- SZALAY A. - 1958 - Le rôle de l'humus dans la concentration géochimique de l'uranium. 2ème Conf. Utilis. Pacif. Energie Atomique. Genève t. II P./1731, p. 182 - 186.
- TANNER A.B. 1958 - Increasing the efficieng of exploration drilling for Uranium by measurement of Radon in drill holes. Proceedings of the second international conference Peaceful uses of Atomic Energy - Genève. vol. 3, p. 42 - 45.
- THEOBALD N., 1958 - Un nouvel affleurement de roches cristallines sur la feuille de Langres. C.R. sommaire Soc. Géol. de France, 6ème série, t. 8, p. 207 - 208.
- THIEBAUT L. 1928 - Découverte de Vanadium à la mine de plomb de Souleïman Saïsky. Kazakstan - Turkestan. Revue de l'Industrie Minérale. t. 2, p. 197. St Etienne.
- THIRRIA E. 1833 - Statistique minéralogique et géologique du département de la Haute-Saône. Besançon.
- THIRION C. 1932 - Le gîte de manganèse de Saphoz près Faucogney (Haute-Saône) - Note de métallogénie. C.R. somm. Soc. Geol. de France - 5ème série n°2, p. 183 - 184.
- THIRION C. 1932 - Contribution à l'étude des gîtes miniers des Vosges hercyniennes. Les gîtes de manganèse et de fer de Saphoz près Faucogney - Belfort 1932.
- THIRION C. 1935 - Etude géologique sommaire des gîtes de manganèse et de fer de Saphoz (Hte-Saône). Congrès International Mines Métal. Geol. Appl. t. I, p. 165 - 172.
- VAN DILLA M. A. et TAYSUM D.M. - Scintillation counter for of Radon Gas - Nucleonics - Fev. 1955, n° 2, p. 12.
- de VAUCOULEURS G. - FARAGGI H. - Techniques générales du Laboratoire de Physique. C.N.R.S. 1952.
- VELAIN C. - MICHEL - LEVY A. 1910 - Les terrains primaires du Sud des Vosges. C.R. Ac. Sciences - V. 61, p. 1080 - 1082. Paris.
- VELAIN C. - MICHEL-LEVY A1. 1911 - Compte-rendus des collaborateurs Service de la Carte Feuille de Lure. Bull. Serv. Carte géologique de France. Paris, t. XXI, n° 128, p. 90 - 98
- VELAIN C. 1913 - Le Permien des Vosges - Bull. Soc. Géol. de France. 3ème série, t. XIII p. 536 - 542.
- VIGNERON L. 1950 - Mesure de traces de particules nucléaires dans l'émulsion photographique Microscopie. Mai p. 27 - 52.
- VINE J.D., SWANSON V.E. et BELL K.G. - 1958. Le rôle des acides humiques dans la géochimie de l'Uranium. 2ème Conf. utilis. Pacif. Energie Atomique. Genève. 1958, t. II, p. /779 p. 187 - 191.

- VISTELIUS A.B. 1958 - Paragenese of Na, K, and U. in volcanic rocks of Lassen volcanic National Park - California. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Londres. V. 14, p. 19 - 34.
- WHITHAM D. 1952 - The application of recent counting techniques to geophysical research. Part 2. Laboratory scintillation counters applied to some geophysical problems. *Trans. Amer. Geophysical Union*. V. 33, n° 6, p. 902 - 911.
- WHITE D.E. 1955 - Thermal springs and epithermal ore deposits - *Economic Geology - Fiftieth Anniversary Volume* ; Lancaster, p. 99 - 154.
- WIMMENAUER W. 1955 - Ueber den Mineralbestand der uranhaltigen Manganerze von Eisenbach und einiger anderer "Psilomélane" des Schwarzwaldes. *Jahresh. Geol. Landesamt Baden Württemberg*. H. 1. p. 72-78.
- YAGODA H. 1946 - The localisation of U. and Th. minerals in polished section. *American Mineralogist*. 31 p. 87 - 124.
- YAGODA H. 1949 - *Radioactive measurements with Nuclear Emulsions*. J. Wiley. New-York.
- ZACHARIASEN W.H. - 1931 - A set of empirical crystal radii for ions with inert gas configuration. *Zeitchf. Krist.*, t. 80, p. 137.
- ZIEGLER V. - BIZARD C. 1950 - Mission préliminaire des Vosges - Rapport inédit. Direction des Recherches et Exploitation minières - Commissariat à l'Energie Atomique - Fort de Chatillon - Fontenay-aux-Roses.

APPENDICE

RÉSULTATS D'ANALYSES

Teneurs en Uranium et en Thorium des roches
sédimentaires des Vosges méridionales

I - Conglomérat du sommet du grès vosgien

N°	Localisation Géographique Lambert	Uf	$\alpha / \text{cm}^2/\text{s}$ $\times 10^{-3}$	Uf équi- valent $\alpha / \text{cm}^2/\text{s}$	Th α	Th	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	C/S AVP
898 - 341	898 010 - 341 000	3,8 ppm	0,710	0,528	0,182	4,6 ppm	1,2	20
908 - 338	908 040 - 337 920	2,1	0,464	0,3	0,164	4,2	2,2	20
412 - 127	412 260 - 127 100	1,3	0,215	0,171	0,044	1,1	0,9	18,5
897 - 342	897 120 - 341 950	2,9	0,556	0,4	0,166	4,14	1,45	21

II - Couches intermédiaires inférieures

N°	Localisation Géographique Lambert	Uf	$\alpha / \text{cm}^2/\text{s}$ $\times 10^{-3}$	Uf équi- valent $\alpha / \text{cm}^2/\text{s}$	Th α	Th	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	C/S AVP
889 - 338	888 950 - 337 200	0,9 ppm	0,141	0,124	0,019	0,47ppm	0,5	19
890 - 341	890 020 - 340 970	4	0,080	-	-	-	-	22
891 - 342	891 040 - 342 000	2,85	0,032	-	-	-	-	20
892 - 343	892 020 - 342 980							20
894 - 337	894 180 - 337 000	4,5	0,058	-	-	-	-	22
899 - 324	898 940 - 323 870							18
- 340	899 100 - 339 860							21
900 - 334	900 040 - 334 000							22
- 335	900 010 - 335 010	1,7	0,67	0,234	0,437	11	6,5	23
- 341	899 950 - 341 000	1,48	0,063	-	-	-	-	21
901 - 325	900 870 - 324 970	1,33	0,187	0,183	0,004	0,1		21,5
904 - 336	904 030 - 336 020	4,05	0,785	0,559	0,226	5,7	1,4	24
905 - 323	904 880 - 323 040							22,5
906 - 331	905 900 - 330 960							27
907 - 330	907 060 - 330 000	1,25	0,342	0,172	0,170	4,29	3,44	24
908 - 325	908 000 - 324 990	3,2	0,132	-	-	-	-	19,5
909 - 326	909 080 - 326 000	2,2	0,9	0,303	0,597	2,28	1,04	22
406 - 117	405 900 - 117 060	2,1	0,420	0,290	0,130	3,28	1,56	24,5
408 - 121	407 780 - 121 000	-	-	-	-	-	-	23
411 - 123	411 060 - 123 880	3	0,350					18,5
414 - 126	414 140 - 126 250							20
406 - 118 (Cote 374,9)	406 180 - 118 040	1,07	0,216	0,147	0,69	1,74	1,63	22

III - Couches intermédiaires supérieures

N°	Localisation Géographique Lambert	Uf	$\alpha / \text{cm}^2/\text{s}$ $\times 10^{-3}$	Uf équi- valent $\alpha / \text{cm}^2/\text{s}$	Th α	Th	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	C/S AVP
891 - 340	890 920 - 340 020							21,5
893 - 342	892 940 - 342 050	1,02 ppm	0,489	0,140	0,349	8,81 ppm	8,5	23
894 - 342	893 900 - 342 050	2,5	0,825	0,345	0,280	7,07	2,8	22
898 - 342	898 000 - 341 900	2,81						21
899 - 341	898 900 - 341 010							19
- 342	899 000 - 342 020	2,2	0,710	0,303	0,407	10,27	5	21
900 - 339	899 880 - 338 920	1,6	0,256	0,220	0,034	0,85	0,53	23,5
- 343	900 000 - 343 000	0,8	0,558	0,110	0,448	11,31	14	21
901 - 322	901 280 - 322 070	2,1	0,500	0,290	0,210	5,30	2,5	24
- 335	900 960 - 334 940	4,41	0,247	-	-	-	-	24,5
- 341	900 960 - 340 980	2						17
902 - 322	902 000 - 322 010	0,65	0,092	0,127	-	-	-	22
- 323	902 090 - 323 010	3,9	0,167	-	-	-	-	24
903 - 322	903 220 - 322 020	0,97	0,418	0,133	0,285	7,19	7,4	25,5
903 - 335	903 200 - 334 600	0,47	0,415	0,062	0,353	8,91	19,7	23
904 - 327	904 070 - 327 000	0,66	0,456	0,091	0,365	9,21	14	21,5
- 329	904 040 - 329 080	0,79	0,136	0,109	0,027	0,68	0,86	30
905 - 331	904 650 - 331 040		0,306					25,5
907 - 342	906 990 - 341 960	2,38	0,673	0,328	0,345	8,71	3,6	20
909 - 324	908 900 - 324 200	2,5	0,041					26
407 - 118	407 050 - 118 080	1,77	0,995	0,244	0,751	18,96	10,7	25,5
- 123	407 320 - 123 000	3,5						24
- 124	406 840 - 123 640	4,30	0,785	0,593	0,192	4,84	1,13	28
407 - 131	407 140 - 130 800	1,04	0,785	0,143	0,642	16,21	1,56	20
408 - 131	408 240 - 130 780	2,62	0,425	0,364	0,064	1,61	0,59	21
409 - 130	409 000 - 130 000	3,05	0,232	-	-	-	-	18,5

IV - Grès à Voltzia

a) Blanc

N°	Localisation Géographique Lambert	Uf	$\alpha/\text{cm}^2/\text{s}$ $\times 10^{-3}$	Uf équi- valent $\alpha/\text{cm}^2/\text{s}$	Th α	Th	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	C/S A V P
889 - 336	889 140 - 336 000	1,4 ppm	0,243	0,193	0,050	1,26 ppm	0,9	23
890 - 336	890 050 - 336 040	4,41	0,331	-	-	-	-	22
881 - 337	890 600 - 337 200	4,2	0,124	-	-	-	-	22
338	891 350 - 338 040	2,4	0,450	0,331	0,119	3,00	1,85	22
893 - 339	892 960 - 339 130	2,00	0,294					23
896 - 339	896 000 - 338 940	0,62	0,430	0,085	0,355	8,96	14,5	20
895 - 338	895 000 - 337 860	0,68	0,273	0,093	0,180	4,54	6,7	19
343	895 120 - 343 020	2,2	0,467	0,303	0,164	4,14	1,9	19
896 - 339	896 000 - 339 000	2,5	0,467	0,345	0,122	3,08	1,23	19,5
897 - 335	897 000 - 335 060	3,01						20
340	897 040 - 340 000	2,64	0,540	0,364	0,176	4,44	1,68	24,5
898 - 334	897 980 - 334 000	1,75						26
338	897 970 - 337 900	0,73	0,394	0,100	0,294	7,42	10,1	23,5
339	898 010 - 339 020							23
340	898 000 - 339 990	0,37	0,304	0,051	0,253	6,38	17,3	24
899 - 339	899 010 - 339 000	2,5	0,284	-	-	-	-	21
900 - 337	900 000 - 337 000	4,23						22
342	900 170 - 341 950	0,87	0,388	0,120	0,268	6,76	7,8	21
901 - 338	901 010 - 338 000	3,8	0,558	0,524	0,034	0,85	0,22	20,5
903 - 322	903 210 - 322 020	0,97	0,418	0,133	0,285	7,19	7,4	21
323	902 880 - 322 860	0,97	0,292	0,133	0,159	4,01	4,1	23
903 - 336	902 960 - 336 020	3,3	0,193	-	-	-	-	22
339	903 000 - 339 020	2,00	0,269	-	-	-	-	22
904 - 322	904 200 - 322 020							24
331	903 970 - 331 100	2,30	0,269	-	-	-	-	33
339	904 040 - 339 050	6,7	1,021	0,925	0,096	2,42	0,36	24
905 - 324	904 940 - 324 040	0,97	0,256	0,133	0,123	3,10	3,2	22
330	905 020 - 329 920							30
907 - 324	907 300 - 324 000	3,00						22
333	906 980 - 332 960	0,35	0,384					19
340	906 960 - 339 980	2,5	0,288	-	-	-	-	20
909 - 325	909 010 - 325 010	3,9	0,321	-	-	-	-	25,5
335	909 010 - 335 000	1,5	0,600	0,207	0,393	9,92	6,6	25,5
336	909 040 - 335 920	3,15	0,284	-	-	-	-	23

b) Amarante

N°	Localisation Géographique Lambert	Uf	$\alpha / \text{cm}^2/\text{s}$ $\times 10^{-3}$	Uf équi- valent $\alpha / \text{cm}^2/\text{s}$	Th α	Th	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	C/S AVP
890 - 337	890 000 - 337 160	2,9 ppm	0,309					19,5
903 - 333	903 040 - 333 010							23
904 - 323	904 010 - 323 010							27
325	904 000 - 325 060	3,0	0,420	0,414	0,006	0,15 ppm	0,5	25,5
328	904 040 - 328 000	1,19	0,557	0,164	0,393	9,92	8,3	26,5
906 - 330	905 740 - 329 980	1,94	0,282	0,267	0,015	0,37	0,19	34,5
332	905 940 - 332 200	1,25	0,388	1,72	0,216	5,45	4,35	35,5
907 - 334	907 140 - 333 940	4,7	0,870	0,649	0,221	5,58	1,19	32
908 - 330	908 010 - 330 000	1,25	0,370	9,172	0,198	5,00	4	25,5

V - Transition Ruaux et grès de Ruaux

N°	Localisation Géographique Lambert	Uf	$\alpha / \text{cm}^2/\text{s}$ $\times 10^{-3}$	Uf équi- valent $\alpha / \text{cm}^2/\text{s}$	Th α	Th	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	C/S AVP
891 - 339	890 960 - 338 980	2,75 ppm	0,596	0,379	0,217	5,47 ppm	1,98	21
892 - 342	891 980 - 342 010	3,2	0,332	-	-	-	-	24
899 - 334	899 010 - 334 020	2,15	0,304	0,296	0,008	0,20	0,09	22
900 - 322	899 700 - 322 330		0,374					30
900 - 340	900 040 - 340 000	3,3	0,678	0,455	0,224	5,65	1,7	22
905 - 324	904 930 - 324 060	0,97	0,256	0,133	0,123	3,10	3,2	22
905 - 328	905 140 - 328 040	3,7	0,452	-	-	-	-	28
906 - 341	905 900 - 341 120	1,95	0,194	-	-	-	-	19

Analyses Chimiques

Références	Coordonnées Lambert Nord de Guerre	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Uf	P. N. $\alpha/\text{cm}^2/\text{s}$ 10^{-3}	$\alpha/\text{cm}^2/\text{s} \times 10^{-3}$ Scintillométrie	C/S AVP
407 - 119	407 050 - 118 860	49,10	17,99	5,97	5,86	0,23	5,71	6,60	3,65	1,00	2,03	0,23	3,2	0,270		
408 - 115	408 020 - 114 760	70,50	14,42	3,13	1,68	0,07	2,35	0,30	1,35	2,60	0,69	0,17	3,3	0,304		32,5
408 - 120	407 880 - 119 920	47,71	17,22	3,41	7,50	0,19	5,92	6,75	3,50	1,40	1,78	0,30	10,30	0,848		
409 - 116 A	409 040 - 115 960	50,18	15,23	4,73	6,20	0,16	5,56	8,10	4,25	0,55	1,53	0,28				) 23
409 - 116 B	409 040 - 115 960	51,30	15,77	5,87	4,08	0,15	5,56	7,60	4,45	0,65	1,54	0,28				)
410 - 116	410 060 - 116 080	68,33	17,32	1,48	1,17	0,04	0,41	0,15	5,00	3,70	0,22	0,18	5,74	0,810		51,5
410 - 117 A	410 060 - 117 050	71,04	14,55	2,31	0,87	0,17	0,99	0,45	3,80	4,30	0,47	0,18				) 43
410 - 117 B	410 060 - 117 050	71,19	13,60	2,27	0,97	0,17	1,30	0,38	3,80	4,30	0,44	0,18				)
410 - 120	409 800 - 120 080	67,12	15,10	1,37	2,17	0,06	2,35	0,75	1,85	6,90	0,69	0,39	6,65	2,036		48
410 - 121	409 940 - 120 940	64,20	14,86	1,25	2,08	0,11	3,10	4,25	2,28	5,88	0,66	0,69	6,7	1,300		53
410 - 129	409 980 - 128 980	62,02	15,85	1,53	2,98	0,07	3,98	2,10	2,60	5,40	0,91	0,63				35,5
411 - 118	411 030 - 118 080	43,92	18,90	6,73	7,03	0,24	6,63	3,90	3,75	0,60	2,76	0,57	10,25	0,770		17
411 - 120	410 960 - 119 940	51,45	16,62	5,78	4,74	0,16	3,87	6,00	5,00	0,35	2,09	0,40	3,3	0,440		26
411 - 121	411 040 - 121 240	67,20	11,62	2,78	1,22	0,08	4,08	1,65	0,15	7,30	1,09	0,99	2,5	2,060		55
411 - 121 (25 m)	411 040 - 121 240	63,52	15,12	1,97	2,01	0,09	3,06	0,90	2,95	5,46	0,70	0,51				
412 - 117	411 940 - 116 840	67,65	15,91	2,18	2,23	0,08	1,17	0,52	4,45	4,35	0,47	0,19	8,95	1,580		52,5
412 - 119	411 740 - 118 900	68,05	14,98	2,72	0,71	0,03	1,22	0,38	4,25	4,30	0,44	0,15				54,5
413 - 118	413 000 - 117 840	53,63	15,64	6,15	4,64	0,12	3,57	5,55	5,70	0,40	1,82	0,30	2,04	0,595		46
413 - 119	412 640 - 118 800	52,20	16,70	6,93	5,82	0,25	3,87	2,62	4,56	0,48	2,14	0,24	1,25	0,595		20
413 - 121	413 160 - 120 840	63,40	15,32	1,77	2,91	0,06	3,14	0,59	2,95	4,70	0,74	0,53	2,92	1,834	5,4	48
413 - 122	413 040 - 122 110	67,29	12,98	1,47	3,57	0,06	3,58	0,85	0,80	8,10	0,65	0,23	4,15	1,349		39
413 - 123	412 960 - 123 000	65,39	14,90	2,18	3,87	0,06	1,24	0,72	1,54	5,58	0,61	0,75	5,83	1,154		
414 - 115	413 960 - 114 960	64,33	18,43	3,54	3,11	0,06	1,22	0,15	2,85	3,65	0,66	0,12	2,18	0,760	2,00	34
414 - 116	414 000 - 115 920	61,68	16,10	2,13	5,94	0,12	3,12	0,75	4,70	2,85	0,91	0,26	2,38	0,515		44
414 - 119	414 020 - 119 160	61,88	15,69	2,15	5,41	0,05	2,15	1,97	4,70	4,00	0,92	0,27	1,39	0,288		35,5
414 - 121	414 060 - 121 040	65,10	14,40	0,84	3,11	0,08	3,25	1,41	2,30	6,00	0,71	0,56	2,7	1,375	5,3	49
414 - 122	414 040 - 122 020	67,80	14,69	1,42	2,70	0,08	1,98	0,30	2,41	5,46	0,41	0,61	5,75	1,655		42
414 - 124	414 040 - 123 860	70,10	15,87	2,11	0,68	0,02	0,98	0,44	3,80	4,50	0,37	0,14	2,14	0,659	2,65	35,5
415 - 115	415 250 - 114 060	72,08	14,10	1,84	1,14	0,02	1,34	0,50	2,14	5,10	0,14	0,32	2,3	2,065	6,75	53,5
415 - 116	415 030 - 116 800	67,20	15,65	1,37	2,75	0,11	2,45	0,46	5,23	3,66	0,89	0,23	1,8			38,5
415 - 118	414 860 - 117 970	50,88	16,34	5,47	6,68	0,15	5,31	4,24	3,08	1,45	0,60	0,24	1	0,143		20
415 - 121	415 030 - 120 880	66,95	15,10	1,28	2,45	0,03	2,35	0,74	2,50	5,50	0,56	1,48	5,2	1,452		49
415 - 126	415 020 - 126 040	64,81	14,32	0,82	3,88	0,09	4,10	2,37	3,08	5,34	0,76	0,60	11,2	1,940		41
416 - 116	415 960 - 116 080	63,50	16,17	1,27	3,88	0,15	2,30	1,03	4,00	4,10	0,78	0,20	1,73	0,789		33
416 - 119	416 250 - 119 060	50,35	16,50	5,00	7,39	0,19	6,48	7,09	2,14	0,78	0,61	0,64	2,66	0,062		23
416 - 121	415 900 - 121 020	48,48	16,79	6,22	8,40	0,25	4,78	6,24	1,40	2,64	0,61	0,46	1,05	0,330		
416 - 122	416 060 - 122 080	65,07	16,49	4,07	1,43	0,18	2,66	0,47	3,10	5,30	0,57	0,72	5,65	1,137		63
416 - 123	415 960 - 123 620	64,66	14,11	0,34	3,62	0,27	4,03	2,07	3,00	5,80	0,73	0,53				54
416 - 124	415 780 - 123 950	67,60	13,80	1,04	2,60	0,08	3,28	1,50	2,85	5,60	0,54	0,42	5,3	1,686		43,5
416 - 126	415 960 - 125 900	65,00	14,72	4,35	2,93	0,08	2,96	0,33	1,74	5,52	0,65	0,56	11,4	3,333		56
416 - 128	415 920 - 127 920	53,91	14,24	3,76	2,57	0,10	6,19	4,20	2,10	6,00	1,28	0,99				48

Références	Coordonnées Lambert Nord de Guerre	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Uf	P. N. α/cm ² /s. 10 ⁻³	γ/cm ² / s × 10 ⁻³ Scintillométrie	C/S AVP
417 - 114	416 880 - 113 840	63,80	15,85	2,86	3,67	0,06	1,90	0,44	2,55	4,75	0,80	0,14	1,66	0,482		32
417 - 117	417 020 - 117 020	49,60	15,87	7,23	6,43	0,17	4,43	5,90	3,65	0,85	2,52	0,32	3,48	0,454	0,137	20,5
417 - 118	416 720 - 118 020	67,67	14,87	1,57	2,93	0,06	1,27	0,30	3,35	4,95	0,37	0,13	5,6	0,773	3,8	21
417 - 119	416 950 - 119 100	65,78	16,46	1,50	2,72	0,06	1,01	0,98	4,15	5,22	0,39	0,19	10,2	1,741	4,5	52,5
417 - 120	416 980 - 119 980	67,22	15,68	3,14	2,22	0,11	0,46	-	2,01	4,80	0,43	0,36	3,16	2,195	2,68	40
417 - 124	417 060 - 124 000	65,64	16,57	1,44	2,57	0,05	2,18	0,75	2,65	5,65	0,48	0,20	4,45	1,155		36,5
418 - 116	418 060 - 116 180	68,37	15,04	2,21	1,79	0,04	0,96	-	3,02	5,40	0,20	0,49	1,17	1,503		45
418 - 118	417 880 - 118 060	72,65	14,47	1,47	1,38	-	0,48	-	3,10	5,30	0,16	0,04	6,1	1,587	7,76	
418 - 119	417 920 - 119 090	65,00	16,31	1,82	1,84	0,07	2,25	1,03	2,70	5,25	0,49	0,30	4,8	1,829	3,75	48
418 - 121	417 980 - 120 820	64,20	15,66	1,53	2,86	0,08	2,45	1,97	3,02	4,98	0,54	0,28	3,32	1,060	2	42
418 - 122	418 140 - 121 960	63,48	15,34	1,75	4,08	0,05	2,56	0,43	2,54	4,32	0,47	0,23	4,46	1,020	2,8	42
418 - 123	418 260 - 123 140	65,51	14,40	2,78	3,08	0,07	2,67	-	2,08	5,40	0,65	0,44	11,66	1,510		72
418 - 125	417 960 - 125 180	65,23	14,54	1,51	3,67	0,07	3,33	1,50	2,40	6,60	0,65	0,44	6,6	1,647		48,5
419 - 119	418 960 - 119 040	66,42	14,66	1,51	3,26	0,06	2,70	1,05	2,30	6,70	0,56	0,40				26
419 - 120	418 960 - 119 900	68,00	15,15	1,29	2,19	0,05	2,30	1,77	3,05	4,25	0,47	0,22	2,92	1,033	5,55	35,5
419 - 121	419 040 - 121 200	64,76	14,60	0,85	4,39	0,05	3,75	1,33	2,70	4,35	0,69	0,73	8,16	1,567		47
419 - 123	419 120 - 122 780	62,35	15,60	2,14	2,96	0,07	3,00	1,04	2,48	6,06	0,71	0,45	4,7	1,252		57
419 - 125	419 030 - 125 070	65,40	16,72	1,47	3,29	0,05	1,56	0,57	2,14	5,10	0,42	0,18	4,5		2,9	36
420 - 111	419 800 - 111 260	66,70	16,46	1,32	5,25	0,09	1,30	0,28	4,40	3,25	0,78	0,23	2,5	0,912	3,7	42,5
420 - 114	419 900 - 113 840	68,60	15,02	1,66	4,17	0,12	0,82	0,25	4,70	2,40	0,67	0,23	1,4	0,623		39,5
420 - 116	420 000 - 116 000	51,23	16,98	4,24	9,86	0,22	8,16	2,97	2,75	0,66	0,55	1,04	0,97	0,121		21,5
420 - 118	420 080 - 118 000	67,73	14,84	1,13	1,94	0,05	0,30	1,94	3,01	4,98	0,48	0,26	2,5	0,535	3,1	
420 - 118	420 080 - 118 000	63,84	13,67	1,34	3,51	0,10	4,31	0,43	1,74	4,86	0,63	0,92	2,3	1,089		33
420 - 119	420 020 - 119 020	64,92	15,83	1,00	2,50	0,06	1,65	2,55	3,35	4,86	0,52	0,32	6,6	1,029	2,3	36,5
420 - 120	419 960 - 119 920	68,61	15,35	1,10	2,43	0,04	1,04	0,57	2,07	4,32	0,40	0,75	2,5	1,003	1,94	32,5
420 - 122	420 020 - 121 960	67,48	14,29	0,43	4,28	0,08	2,25	0,94	3,15	4,85	0,63	0,46	4,6	1,020		69
420 - 123	420 000 - 123 280	63,95	15,75	0,89	2,80	0,06	2,62	2,62	2,95	5,76	0,69	0,41	8,66	1,196	6,9	48,5
421 - 113	421 100 - 113 280	67,44	13,91	1,27	5,30	0,14	1,64	0,98	2,45	4,75	0,57	0,15	5,36	0,366	1,3	35
421 - 114	421 060 - 114 040	64,50	16,53	1,55	4,53	0,15	1,37	1,68	4,60	3,80	0,83	0,22	1,9	0,675	1,1	37
421 - 117	421 880 - 116 970	64,33	16,10	3,27	1,68	0,08	2,25	2,24	3,02	4,98	0,55	0,29	2,3	1,618	7,9	55
421 - 118	420 900 - 118 240	66,54	14,95	0,70	2,81	0,06	1,65	2,35	3,42	3,96	0,48	0,17	7,69	1,289		35
421 - 120	421 020 - 120 040	66,90	14,80	0,96	2,09	0,08	1,80	1,92	3,95	4,62	0,44	-	14,3	0,632	2,85	33,5
421 - 121	420 970 - 121 080	64,00	14,63	0,71	4,56	0,14	3,12	1,31	2,81	5,70	0,75	0,50	7,35	1,402		58
421 - 122	421 060 - 121 900	67,90	12,98	1,28	3,47	0,06	3	1,12	2,61	5,34	0,55	0,48	4,30	1,221		49
421 - 123	421 000 - 123 080	48,05	18,19	2,94	6,56	0,17	6,87	10,84	2,75	0,85	0,99	0,15	0,75	0,066		22,5
422 - 116	422 160 - 116 150	65,62	14,84	2,38	2,14	0,04	1,96	1,63	2,40	5,50	0,39	0,27	5,78	0,981		49
422 - 117	422 100 - 117 200	66,21	14,44	1,45	2,29	0,07	2,40	1,94	3,48	3,96	0,59	0,24	4,86	1,753	4,8	50
422 - 118	422 130 - 118 140	63,90	15,29	1,38	2,35	0,06	1,80	2,24	3,42	5,16	0,51	0,20	6,05	0,835	3,7	37
422 - 119	422 220 - 118 700	67,49	15,28	3,02	2,72	0,06	1,45	-	3,02	3,00	0,39	0,22	3,32	1,776		35
422 - 120	422 020 - 119 960	65,47	14,38	1,97	3,15	0,08	3,40	-	1,54	6,00	0,67	0,58	5,59	1,502	5,6	42
422 - 121	422 060 - 121 040	67,03	15,72	1,53	2,60	0,07	2,10	0,59	3,22	5,04	0,43	0,20	4,5	1,042	3,6	37
422 - 123	422 080 - 123 120	66,16	15,32	1,68	2,35	0,07	2,55	0,74	2,15	5,25	0,62	0,98	1,79	1,210	4,4	43
423 - 115	423 050 - 115 060	66,37	15,17	3,01	1,48	0,11	1,53	1,35	2,25	6,70	0,53	0,27	11,5	2,495		61,5

Références	Coordonnées Lambert Nord de Guerre	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Uf	P. N. α/cm/s. 10 ⁻³	α/cm ² / s × 10 ⁻³ Scintillométrie	C/S AVP
423 - 117	422 850 - 116 980	69,00	14,91	1,28	1,68	0,04	2,26	0,08	2,14	5,22	0,32	0,24	7,86	1,675	5	45,5
423 - 118	423 120 - 117 900	66,00	15,26	1,58	1,78	0,09	2,71	-	2,28	5,94	0,36	0,26	6,3	0,665	6	49
423 - 119	422 960 - 118 920	67,68	16,39	0,94	2,58	0,06	1,85	0,22	3,75	3,78	0,38	0,21	3,25	0,970	3,4	36,5
423 - 120	422 980 - 120 100	94,46	1,12	0,13	2,65	0,02	0,29	0,59	-	0,10	0,05	0,04				48
423 - 120	422 980 - 120 100	70,00	13,30	0,74	3,31	0,07	3,90	-	1,67	4,50	0,45	0,51				
423 - 121	422 880 - 120 820	69,00	13,66	2,30	5,75	0,06	1,82	0,68	3,68	0,90	0,32	0,18	3,47	0,582	1	25,5
423 - 123	422 940 - 122 970	71,28	15,11	2,25	1,29	0,02	0,30	-	2,08	6,72	-	0,21	2,8	0,112	0,37	42,5
424 - 114	423 670 - 116 020	65,33	15,93	2,22	1,48	0,08	2,25	2,05	2,75	5,35	0,56	0,30	6,85	2,240	5,25	54,5
424 - 117	423 980 - 117 160	68,86	14,63	1,49	1,93	0,06	2,75	0,42	2,35	4,44	0,42	0,28	11,6	1,792	7	55,5
424 - 119	424 020 - 119 040	53,31	20,34	4,54	4,77	0,21	5,31	0,56	2,88	2,40	0,99	0,43	0,77	0,291	0,75	25
424 - 120	424 030 - 119 980	67,85	14,39	0,69	2,65	0,06	1,88	0,75	3,15	5,46	0,41	0,16	7,4		5,3	35,5
424 - 120	424 030 - 119 980	56,90	14,06	1,55	4,13	0,12	4,50	3,85	2,95	5,04	1,24	0,78				47
424 - 121	423 880 - 120 850	75,32	12,06	0,94	2,24	0,04	1,86	0,06	3,02	2,16	0,31	0,21	2,67	0,680	3	
424 - 122	424 030 - 121 960	64,43	15,44	0,63	3,22	0,06	2,70	1,40	2,55	5,40	0,53	0,51	1,6		3,1	50
425 - 113	424 960 - 112 960	63,27	16,20	2,29	1,53	0,06	2,55	2,14	3,62	4,80	0,48	0,24	9,54	2,373	6,7	54,5
425 - 118	425 120 - 118 020	51,90	19,65	2,33	6,10	0,26	3,75	6,14	4,35	3,06	0,81	0,26			0,84	38
425 - 119	425 120 - 118 880	53,31	21,12	2,60	5,51	0,15	4,94	3,26	2,48	3,06	0,85	0,32	4,35	0,341	1,6	34
425 - 120	425 100 - 119 940	45,70	19,58	3,65	7,83	0,24	6,00	6,05	3,69	1,56	1,26	0,17	0,93	0,207	0,08	21,5
426 - 112	426 060 - 112 060	65,17	15,35	2,30	2,36	0,07	3,07	1,30	2,41	4,20	0,46	0,63	15,14	1,440	9,3	57
426 - 113	426 010 - 113 140	63,37	16,33	2,53	1,58	0,05	1,80	2,04	3,35	5,64	0,45	0,41	6,65	2,132		60
426 - 114	426 140 - 114 040	62,94	15,84	1,97	2,08	0,07	2,54	1,95	3,15	4,50	0,46	0,34	7		4,2	53,5
426 - 115	426 040 - 114 980	66,15	14,76	1,58	2,29	0,04	1,48	1,72	2,77	4,26	0,19	0,28	2,5	1,358	3,94	49
426 - 120	425 820 - 119 960	68,40	14,98	0,64	4,43	0,07	2,75	0,16	2,01	5,28	0,51	0,42				45
427 - 112	426 700 - 112 030	62,10	14,83	1,91	2,14	0,07	3,30	2,96	3,35	5,22	0,53	0,31	8,20	0,500	6,2	57
427 - 114	427 060 - 113 940	66,16	15,23	1,66	2,00	0,04	2,07	1,08	3,22	4,86	0,37	0,34	3,59	2,295	7	60
427 - 115	427 120 - 114 840	67,32	14,32	0,98	1,17	0,04	2,85	3,06	3,42	5,22	0,28	0,29	2,5	1,911	8,6	57,5
427 - 118	426 880 - 118 010	49,28	22,03	3,34	7,37	0,18	3,66	3,46	2,35	2,82	1,18	0,41	8,57	1,419	0,64	29
427 - 119	426 820 - 119 040	73,70	15,14	1,54	1,71	0,02	0,59	0,45	4,55	0,48	0,32	0,06	0,88	0,460	1,55	25,5
427 - 120	427 040 - 120 000	63,34	15,63	2,07	3,58	0,11	4,29	0,50	1,95	5,40	0,15	0,56	10	2,200	5	55,5
428 - 114	428 260 - 113 900	66,24	14,05	2,58	1,91	0,08	2,25	3,06	3,95	4,32	0,54	0,32	11,44	2,319	13,1	51,5
428 - 115	428 080 - 115 080	66,25	13,13	1,72	2,50	0,08	2,00	2,52	3,72	4,86	0,41	0,25	6,32	0,932		51
428 - 117	428 030 - 116 820	63,02	16,12	2,45	2,37	0,06	2,56	2,21	3,02	4,74	0,37	0,40	4,41	1,710	3,9	52,5
428 - 119	428 050 - 119 100	54,91	18,34	4,84	8,87	0,18	1,85	2,08	1,95	1,98	1,51	0,27			0,2	29,5
429 - 114	428 980 - 114 040	64,91	14,29	1,50	2,72	0,04	2,73	1,35	2,15	3,96	0,39	0,73	4,5		3,9	48,5
429 - 116	428 920 - 115 960	68,31	12,95	1,38	1,84	0,09	2,25	1,94	3,08	4,86	0,40	0,19	4,9	1,455		48,5
429 - 117	428 920 - 117 160	61,18	17,08	2,79	4,36	0,14	0,60	1,43	4,49	4,20	0,77	0,30	3,84	1,299	1,9	32
429 - 118	429 120 - 118 060	76,60	12,39	0,46	1,79	0,05	0,49	0,39	4,10	0,60	0,20	0,06	0,96	1,200	2,7	28
429 - 119	429 050 - 118 970	71,20	13,00	1,18	4,39	0,09	1,88	0,56	4,15	1,32	0,61	0,07	0,83	0,262		28,5
430 - 115	430 030 - 115 100	64,35	15,25	2,89	1,65	0,06	1,83	0,86	2,41	5,76	0,31	0,23	2,3		6	55
430 - 116	430 060 - 116 030	67,63	15,87	2,35	1,99	0,06	2,20	1,18	2,75	5,22	0,47	0,26	11,01	2,617	11,2	61,5
430 - 119	429 980 - 118 930	72,51	13,44	0,69	2,51	0,07	0,62	0,17	4,35	2,28	0,33	0,11	1,33	0,292		29,5
899 - 336	899 550 - 336 080	66,84	16,30	1,51	1,33	0,03	1,19	1,27	2,61	4,98	0,39	0,29	5,13	0,655		
904 - 335	904 140 - 335 040	61,92	15,32	1,35	2,25	0,06	4,70	0,44	2,81	7,20	0,67	0,51				
909 - 331	908 880 - 331 100	71,98	16,42	0,52	0,31	-	0,14	0,81	2,95	5,10	0,12	0,02				

Références	Coordonnées Lambert Nord de Guerre	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Uf	P. N. α/cm ² /s. 10 ⁻³	α/cm ² /s x 10 Scintillométrie	C/S AVP
C.E. n° 219	413 300 - 131 600	73,17	8,72	1,78	1,21	0,02	1,21	-	0,13	2,16	0,51	0,72				65
18 - 31	417 470 - 124 050	60,50	15,70	0,79	4,80	0,08	3,85	2,04	2,41	5,68	0,23	0,89	10,5	2,720	6,4	69
33 m A Sondage	340 860 - 893 080	63,79	15,34	3,57	0,86	0,03	1,40	0,89	0,54	9,48	0,52	0,58				
J. T. V. 144	902 860 - 334 250	89,12	0,55	7,34	-	0,20	0,46	-	-	0,42	0,06	0,04				77
J. T. V. 88 g	908 320 - 338 800	73,09	11,27	1,51	0,69	-	1,25	3,36	0,20	6,24	0,40	0,35	27			55
J. T. V. 153	413 200 - 131 600	65,30	14,26	2,08	1,47	0,08	4,36	0,17	1,47	5,88	0,57	0,55				57
J. T. V. 96	906 820 - 337 700	65,10	12,61	2,18	0,48	0,04	2,62	3,62	0,40	8,40	0,42	0,44				45
J. T. V. 89	906 820 - 337 700	58,40	5,02	0,79	0,25	0,01	1,70	16,00	0,13	2,76	0,20	0,21				
J. T. V. 150	413 150 - 131 600	62,40	14,94	2,13	1,45	0,08	4,73	0,33	1,88	6,18	0,65	0,73				55
Murger Blanc	904 040 - 340 750	71,00	15,67	0,92	0,84	0,05	0,42	-	3,22	5,10	0,22	0,17	1,5	0,730		
J. T. V. 152	413 145 - 131 600	63,00	14,61	1,05	2,07	0,08	4,75	1,02	2,14	6,00	0,71	0,76				
Plombières S 10	907 820 - 337 700	63,55	14,96	2,58	1,21	0,04	2,43	-	0,93	8,40	9,62	0,70				
Chateau Lambert	426 870 - 118 010	72,13	16,17	0,89	1,73	0,02	0,64	-	2,88	5,76	0,17	0,08	3	2,420	8,3	
Tunnel " "	426 000 - 118 300	51,60	18,81	3,96	3,62	0,22	5,48	0,66	2,68	3,54	0,82	0,29	2,43	0,831	1,1	
" " "	425 900 - 118 160	61,80	17,10	3,32	1,63	0,13	2,14	3,04	5,50	3,18	1,02	0,35	6,5	1,940	2,7	
1998	412 880 - 128 500	67,30	16,42	1,45	0,56	-	1,33	0,45	2,14	7,80	0,42	0,24	2,1	0,216		52,5
1914	412 010 - 120 830	63,65	15,20	2,34	3,16	0,03	3,06	1,50	3,01	6,24	0,84	0,47	8	1,195		43
1996	411 000 - 125 300	69,84	15,24	2,24	0,10	-	0,71	0,60	3,15	6,54	0,09	0,11	0,87	0,376		47
1983	410 470 - 130 740	68,88	15,76	1,74	0,36	-	0,82	0,60	2,88	5,88	0,36	0,15	3,70	1,717		50,5
909 - 334	909 010 - 333 990	65,58	12,55	2,29	1,53	0,04	4,52	0,90	2,15	6,80	0,72	0,56				
Carrière R.S.	417 500 - 125 140	69,77	14,07	1,34	1,94	0,07	1,72	0,53	3,90	4,45	1,00	0,24	2,1	0,288		43,5
Fontenoy	880 880 - 337 060	72,25	14,13	1,53	1,07	0,04	1,17	0,56	0,10	7,00	0,28	0,27				

Teneurs en Uranium des eaux de diverses origines
dans les Vosges Méridionales.

Sources

a) Sources des grès du Trias inférieur et du Permien.

Localisation géographique	Nom local	pH	Teneur γ/litre
892 900 - 337 700	Le Raval	6	0,3
893 600 - 339 800	Préverdot	6,4	0,8
894 900 - 336 580	Bois du Clerjus	6	0,8
895 080 - 336 550	"	6	0,54
893 840 - 337 200	"	6	0,6
892 900 - 337 100	Trêmeures	6,2	2,3
889 860 - 338 460	La Pipée	6,2	0,3
895 600 - 340 480	Charfoing	6,2	1,5
896 080 - 340 360	Chênes Semouse D ₂₀	6,2	0,3
902 420 - 339 300	Vallée de la Senouse (D ₂₀)	6	0,76
900 620 - 341 660	Source du Martinet	5,8	0,77
903 650 - 339 600	Sce de Bédèle		0,1
899 020 - 338 900	Sce de la Rochère	5,8	0,1
904 040 - 340 900	Tréfilerie du Blanc Murger	5,7	0,1
898 260 - 341 020	Blanche Roche	5,8	0,1
891 860 - 342 960	Jean Melin	6,0	0,1
900 100 - 340 020	Fontaine La Louan	5,8	0,1
901 080 - 338 060	La Parque	5,8	0,1
896 100 - 335 420	Fontaine Denis	5,8	0,1
900 230 - 339 480	Source La Maix	5,8	0,1
898 200 - 338 300	Sce Ruisseau du Hallot	5,7	0,7
899 300 - 339 400	La Fontaine Ridaux	6,0	0,9
898 620 - 338 680	Source du Noirmont	5,8	0,5
899 060 - 341 340	Source de Haudompré	6,0	0,5
896 680 - 338 660	Source Etang de la Picarde	6,0	0,4
898 740 - 339 850	Source de Corbefaing	6,0	0,8
898 800 - 340 800	Fontaine Savronnière	5,8	0,25
889 150 - 336 160	Fontaine aux Chênes	5,8	0,8

Localisation géographique	Nom local	pH	Teneurs γ/litre
897 800 - 336 620	Source du Clerjus	6,0	0,2
892 740 - 339 980	Source Préverdot	5,7	0,5
893 660 - 339 100	Source La Bourguignotte	5,7	1,1
898 640 - 338 660	Source de la Rochère	5,7	0,9
895 060 - 339 800	Source des Grands Près	5,8	0,8
902 500 - 340 250	Fontaine du Dragon	6,0	0,4
905 200 - 337 120	Fontaine aux Chênes Ruaux	5,8	0,6
904 840 - 337 120	Source captée de Ruaux	6,0	0,4
905 960 - 337 120	Fontaine Stanislas	5,7	0,7
902 380 - 333 600	Source Haie des Grands Côtés	5,7	0,7
906 480 - 342 970	Source de Bellefontaine	5,8	0,8
900 460 - 335 180	Fontaine aux Fers	5,7	0,6
903 240 - 336 400	Source Bois le Tertre	5,7	0,8
897 880 - 343 060	Source Cense Terrier	5,8	0,7
901 540 - 339 900	Sce Retenue de Forge Neuve	5,7	0,6
903 140 - 340 200	Sce Les Débans	5,7	0,6
903 250 - 334 580	Source Bois du Grand Poirmont	5,8	0,7
902 660 - 335 760	Sce ferme Coulichot	5,5	1
899 600 - 335 000	Sce Fne Mourotte	5,7	0,6
894 920 - 338 700	Fne de la Gare de Bains	6,0	0,7
901 640 - 342 680	Source le Pergis	6,0	0,50
908 060 - 336 180	Le Petit Moulin	6,0	0,9
901 800 - 333 200	Fontaine Robert	6,0	0,7
892 500 - 335 250	Bois Merry	6	1
904 100 - 325 600	St Valbert	5,7	1
905 540 - 333 320	Source Berret		0,7
909 120 - 334 420	Tranchée des Gardes	5,7	1,4
	Le Fallot		1,3
908 960 - 333 980	Le Chanot		0,7
411 300 - 128 400	Vallon de Courrupt	6,0	0,7
906 420 - 327 240	Source Hameau des Forges	6,0	1
413 000 - 127 700	Sce Les Fains Potot	6,0	0,8
411 240 - 128 200	Vallon de Courrupt	6,0	1,1
407 000 - 123 700	Chateau Gaillard	6,0	0,7
406 000 - 130 540	Fne Guizot	6,0	1,8

b) Source en massif cristallin

Localisation géographique	Nom local	pH	Teneurs γ /litre
903 120 - 334 760	Moulin Rouge Bac	6,0	0,75
409 600 - 128 600	Source Usine de Faymont	6,0	1,42
414 620 - 124 200	Le Marchessant		1,
429 200 - 114 560	Cote 1 102,4	6,0	1,4
411 900 - 121 380	Source Ecole Effreney	5,4	0,4
421 540 - 118 040	Menil	5,8	1
426 680 - 117 940	Chateau Lambert	5,4	1
425 080 - 118 050	Source		0,7
426 720 - 117 900	Chateau Lambert	5,8	1,25
413 450 - 131 650	Petite source près du T.B. Hérival	5,6	1,62
425 680 - 117 740 (p. k. 30,380)	Tunnel versant Est 15 m. de l'entrée H.S.	5,8	1,76
426 000 - 118 340 (p. k. 31,100)	Tunnel 1/3 côté Thillot	5,6	1
413 300 - 131 600	T.B. Hérival	5,6	4,5
428 800 - 117 080	Mon Forestière de la Pransière	6,0	3,96
425 900 - 118 120 (p. k. 30,750)	Tunnel : fissure 1/3 H.S.	5,8	12,5
426 660 - 117 840	T.B. Chateau Lambert (pluie)	6,0	2,25
413 250 - 131 450	Hérival Prieuré		3
409 740 - 130 160	Mine de Faymont T.B. supérieur	5,2	1
426 660 - 117 840	T.B. Chateau Lambert		12,2
901 930 - 321 760	Sondage de la Fontaine Leclerc	6,2	2,6
417 020 - 124 100	Source de la Rosière	5,7	0,2
423 560 - 118 650	Bozon du Dessous	6,0	0,3
423 340 - 119 000	Bozon du Milieu	6,0	0,3
424 240 - 119 320	Bozon Noël	6,0	0,2
411 780 - 121 280	Effreney		0,2
417 620 - 124 300	Les Hulets	6,0	0,3
417 040 - 123 760	Ecole de la Rosière	5,4	0,3
416 880 - 113 020	Source		0,2
422 520 - 118 760	Bozon du Dessus	6,0	0,2

Teneurs en Uranium des Rivières et des Ruisseaux

Situation géographique du prélèvement	Localisation Lieu-dit	pH	Teneurs γ/litre
893 760 - 340 520	Bains-les-Bains (Amont) Baignerot	6,4	1,3
907 380 - 333 250	Pont Thieloup	6,2	0,5
897 800 - 335 240	La Chaudeau	6	0,7
892 280 - 340 560	Bains-les-Bains (Aval) Baignerot	6,2	2,9
902 200 - 339 300	Ruisseau de Forge Neuve		0,77
900 500 - 336 460	Ruisseau d'Allongis	6,0	0,1
901 980 - 337 660	Ruisseau de Pétimpoiche	6,0	0,1
901 940 - 337 720	Semouse Pétimpoiche	6,2	0,1
902 180 - 339 120	Semouse (Forge Neuve)	6,2	0,1
894 960 - 339 980	Grands Prés	6,4	0,5
899 620 - 339 920	Ruisseau Cote 333, Vallée de Semouse	6,2	0,5
900 420 - 336 460	Semouse Cote d'Allongis	6,2	0,5
898 500 - 336 100	Semouse, Cote 324, Aval du Pont	6	0,5
900 780 - 336 920	Ruisseau de Boulacé	6,0	0,5
898 540 - 336 140	Ruisseau (passerelle)	6,0	0,4
899 300 - 336 000	Côte 333, Semouse	6,2	0,2
900 720 - 336 920	Boulacé, Semouse	6,0	0,8
904 800 - 341 440	486		0,8
903 400 - 340 380	441	6,2	0,6
901 040 - 333 000	Thieloup Augrogne		0,6
903 420 - 340 460	441 Ruisseau Vallée Semouse		0,6
904 100 - 335 060	341 Ruisseau Vallée Augrogne	6,0	0,9
901 060 - 333 080	Ruisseau de Thiéloup	6,0	0,7
904 060 - 334 940	341 - Augrogne	6,0	0,9

Situation géographique du prélèvement	Localisation Lieu-dit	pH	Teneurs γ/litre
902 260 - 333 960	Les Grands Côtés	6,0	1,0
	Ruisseau Hérival		1
	Ruisselet 60 m Est Hérival		4,5
	" 50 " "		3,96
410 840 - 125 100	Ruisseau de Méreille		0,8
410 820 - 125 100	Vallon de la Méreille	6,0	1
908 680 - 338 000	Augrogne Amont Plombières	6,0	1,1
407 600 - 126 720	Combeauté Amont, Ruisseau de Méreille	6,2	0,7
409 660 - 129 600	Combeauté Pont, Vallée des Roches	6	0,8
906 940 - 336 500	Augrogne Aval du Bohlâ	6,4	1,4
907 000 - 336 500	Bolhâ (ruisseau)	6	2,4
408 540 - 126 660	Ruisseau Tissage de la Croix	6	2
407 540 - 120 240	Ruisseau Fouillis de la Goutte		0,6
410 440 - 115 720	Breuches les Faucogney	6,0	1
409 300 - 119 940	St Bresson	6,2	0,6
411 560 - 118 300	Les Voivres		0,7
408 780 - 116 080	Ste Marie	5,8	0,5
410 900 - 121 000	Les Jamerys		0,5
408 540 - 118 460	St Bresson Grillots	6,0	0,5
410 300 - 121 450	Raddon, Rovillers du Haut	5,8	0,5
414 200 - 122 540	Neuf près	5,8	1
414 800 - 124 650	Ruisseau de la Cote 622,3		1
423 120 - 115 050	Pont de la Pile	6,2	1,2
420 280 - 114 880	Ruisseau des Evaudois Avoinneries	5,8	0,9
414 160 - 121 200	Ruisseau de la Montagne (Longine)	5,8	0,9
426 120 - 115 880	Ruisseau de la Fonderie (Mouhémont)	6,0	1,8
424 450 - 116 120	Ruisseau du Haut du Them	6,0	1
419 580 - 120 080	Breuches la Grande		0,5
418 040 - 121 440	Coravillers Breuches	6	0,4
	Faucogney Esffoz		0,2
413 940 - 123 500	Ruisseau de la Montagne Pont de la Scie	5,8	0,4
422 640 - 117 840	Affluent du Bozon Cote 559	6,0	0,7

Situation géographique du prélèvement	Localisation Lieu-dit	pH	Teneurs γ/litre
429 020 - 116 020	Ruisseau (429 - 116)		1,9
422 620 - 118 730	Ruisseau affluent du Bozon	5,8	0,74
425 650 - 117 320	Ruisseau des Chazeaux 20 m Entrée du Tunnel	6,0	1,25
425 450 - 117 500	200 m Entrée du Tunnel		3,25
426 420 - 117 860	Ruisseau de Chateau Lambert	6,0	1,25
424 940 - 117 250	Ruisseau des Chazeaux	6,0	1,5
426 560 - 117 870	Chateau Lambert	6,2	3,5
426 700 - 117 880	Chateau Lambert	6,0	6,25
428 820 - 115 270	Ruisselet		6,25
426 760 - 117 840	Eau du T.B. de Chateau Lambert	6,0	6,9
428 820 - 116 020	Ruisseau	6,0	7,8
414 140 - 124 420	Le Grand Sancy	5,8	1,2
417 860 - 119 160	Ruisselet		0,1
420 480 - 118 080	Beulotte	6,0	0,1
414 120 - 119 100	Ruisseau		0,1
428 020 - 113 170	Ruisseau Plein des Voleurs	5,8	1,2
426 700 - 113 000	Goutte Ridère	5,8	2,2
420 800 - 112 940	Reclaxert	6,0	1,1
-	Bessote	-	0,5

Etangs

Localisation géographique	Nom local Lieu dit	pH	Teneurs γ /litre
896 220 - 338 570	Etang de la Picarde	6,8	0,1
896 920 - 339 000	Etang le Dé	6,2	1,1
895 220 - 340 600	Etang de la Ruinée	6,4	0,6
901 520 - 342 200	Etang Pergis	6,4	0,7
891 000 - 335 060	Etang des Arsondieux	6,6	0,6
412 900 - 131 200	Etang du Prieuré Hérival	6,0	0,7
419 800 - 117 670	Etang des Grelloux	6,2	0,7
420 000 - 119 300	Etang Carrefour de Breuche la Grande - cote 671,1 -	6,4	0,7
420 320 - 119 980	Etang des Mauffins	6,2	0,2
412 260 - 121 160	Etang Effreny	6,2	0,2
412 060 - 120 400	Etang d'aux Grèves	6,4	0,3
422 420 - 121 030	Etang route stratégique	6,2	0,2
420 300 - 116 000	Etang	6,4	0,7
419 880 - 113 760	Etang	6,2	0,3
420 860 - 119 200	Etang les Barberys	6,0	0,1
415 760 - 126 800	Etang Ferme Noiraut	6,0	0,1
425 360 - 118 660	Etang de la Plaine	6,2	0,1
417 140 - 113 880	Etang	6,2	0,1
420 850 - 421 100	Etang	6,0	0,1
415 740 - 126 040	Etang des Peux	6,4	0,1

Teneur en Radon, Radium et Uranium d'eaux
de diverses régions de France

— Vosges —

Campagne 1958

Région du Ballon de Servance

Echantillons	Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l (limite 2×10^{-11} g/l)	Uranium 10^{-6} g/l
Goutte de la Fonderie	380	5×10^{-11}	1,2
Petite source dans fissures près du chemin des Landres à la Verrerie	330,50	3×10^{-11}	0,7
Carrière Saint-Blaise	218	≈ 2	0,9
Source près de l'école de la Pile	203,28	5	1
Source dans les écarts de la Pile	199,41	4	1,2
Source près d'une ferme au-dessus des Hulets (versant Moselle)	151,72	≈ 2	0,7
Fontaine - Place du village de Miéllin	118,65	≈ 2	0,3
Les Landres de dessus (Miéllin)	117,88	3	0,5
La Jumenterie	112,45	3	1
Source dans les éboulis - Chemin des Landres à la Verrerie	111	≈ 2	0,7
Petite source en contrebas de la route sous le point à autunite (Val d'Ajol)	87,72	9	4,5
Source des Hulets	82,07	< L. D.	0,3
Source près du mémorial (Ballon d'Alsace)	77,48	3	0,9
Source de la goutte du Curé Alt. 1.000 m.	73,31	3	0,7
Source dans un pâturage flanc sud de la vallée de la Moselle	62,82	<	0,5
Fontaine la Soeur Hérival	57,51	4,5	2,5
Source alimentant une ferme à 200 m. au nord du point à autunite (V.A.)	54,39	3	1,5
Source ferme abandonnée (près du chemin allant de Mouhémont au Fray)	53	4	1

Echantillons	Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l (limite 2×10^{-11} g/l)	Uranium 10^{-6} g/l
Source alimentant la ferme se trouvant à 600 m. au NNE de l'école de Moiseaubeau	51,41	≈ 2	0,5
Eau d'une petite fontaine près de la fontaine La Soeur	50,41	3	1,2
Petite source en bordure du chemin près Croisette vers Hérival	50	<	0,3
Hameau entre la Longine et la Voie du Grand Ban	47,20	≈ 2	0,5
Source alimentant la ferme (croisement chemin après Magny Maubert)	45,81	2	0,4
Source ferme Le Frenet (flanc E vallée de l'Ognon)	43,24	3	0,4
Source Bozon du Milieu	39,66	3	0,3
Petite source dans carrière servant à l'entretien des chemins (Le Fray)	37,89	4	0,9
Eau de ruissellement à 100 m. de la maison forestière du Fray (zone humide) après une nuit de pluie	37,08	<	0,4
Source ferme du Bozon Noël	34,36	≈ 2	0,2
Source parement O 25 à 35 m. de l'entrée du tunnel de C.L. côté Thillot	31,58	6	1,2
Source abreuvoir prieuré d'Hérival	26,41	≈ 2	2
Eau fissure dans tunnel C.L. (flanc O à peu près à mi-chemin de l'entrée)	26,10	5	7,5
Source captée sous la route de Faymont flanc O de la vallée	25,47	<	0,3
Source S.E. vallée de l'Ognon à Servance Pierrier de rhyolite et de quartz	24,72	<	0,2
Source de la ferme de Mouhémont	22	≈ 2	0,5
Petite source au bord de la route du Val d'Ajol aux Granges	21,71	3	0,8

Echantillons	Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l (limite 2×10^{-11} g/l)	Uranium 10^{-6} g/l
Source dans éboulis avec arènes Ecart de la Pile 424 et 425-114	21	3	1
Source au-dessus de la ferme de la Fosse	20,40	<	0,5
Source en contrebas de la route stratégique.	19,23	<	0,3
Source ferme du Breuil (sur le chemin d'Hérival)	19,10	<	0,5
Petite source en bordure du chemin conduisant à l'école du Buisson	18,52	<	0,2
Eau deuxième maison de Château- Lambert	17,33	4	1,25
Goutte du Curé. Zone d'éboulis près du ruisseau	17,07	<	1
Source flanc O vallée de la Rosière	16,91	3	0,7
Source maison forestière de la Pompeuse (en descendant vers le Val d'Ajol)	16,68	<	0,1
Source au bord de la route Château- Gaillard (au grès)	16,62	<	0,1
Fontaine maison près du pont du Chêne (croisement avec l'ancienne grande route)	16,32	3	0,5
Trop plein de la mise en charge (Parc à voitures Ballon d'Alsace)	15,62	<	0,2
Petit filet d'eau alimentant la maison forestière du Fray	15,39	4	1,2
Eau ancien T.B. mines du Baudy	15,32	<	0,3
Source troisième maison du Chêne en descendant du col	14,28	3	0,5
Source ferme en contrebas du bois des Breuches	14,02	2	0,3
Prélèvement dans un regard près du petit percement du BRGG côté Thillot	12	4	0,9

Echantillons	Teneur en Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-6} g/l
Fontaine de la ferme avant le petit chemin descendant vers Lepange	5,18	<	0,1
Source alimentant une ferme (en montant au Girmont).	5	<	-
Source flanc sud petit ruisseau de la Pile	4,85	≈ 2	1,8
Captage eaux. Tissage de Menisot en descendant de Montandré	4,73	<	0,2
Exutoire source alimentant une ferme. Route du Fray	4,53	3	1,2
Source écarts de la Pile	4,47	3	0,9
Source sous le grès vosgien. Vallon en montant au Girmont.	4,40	<	0,1
Source alimentant la ferme à la croisée de la route stratégique et de la route de Beulotte-Saint-Laurent	4,30	<	0,1
Petite source croisement routes de Miellin et Servance	4,30	<	0,3
Source des Charrières	4,13	<	0,1
Le Girmont 1ère maison à droite en montant de Courrupt	4	<	0,3
Fontaine Stanislas (au grès)	3,70	<	0,1
Eau d'un petit filet proche du T.B. (entrée) de Château-Lambert	3,69	4	7
Petite source parement Est côté H.S. à 20 m entrée dans tranchée	3,44	4	1,2
Eau provenant d'un étang sur les rhyolites de Montandré	3,24	<	0,3
Ecole de Bolmont	3,16	<	0,3
Source première maison du Chêne	2,98	<	0,3
Petit ruisseau flanc O de la vallée de Miellin.	2,81	<	
Petit ruisselet au bord du chemin près du T.B. d'Herival	2,72	3	1
Captage près d'une maison au-dessus de Servance	1,84	<	0,2
Source du hameau du Buisson	1,73	<	0,1
Source Vallée du Fray. Entre les 2 dernières fermes en remontant vers la maison forestière	1,59	3	0,6

Echantillons	Teneur en Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-6} g/l
Fontaine Guizot	11,10	<	1,2
Rupt. Ecole Robinet sous préau	10,82	<	-
Petite source fontaine à 200 m à l'O de l'école d'Envers la Grève	10,75	<	0,2
Ferme station de la Pile	9,38	≈ 2	0,3
Eau T.B. Hérival	10,42	<	4,4
Source captée alimentant la maison fo- restière de la Verrerie	9	3	0,4
Fontaine près de la mairie Haut du Them	8,85	3	0,5
Eau fissure parement est dans le tunnel 30 m de l'entrée (côté H.S)	8,52	<	1,8
Petite source - boucle en-dessous du Col des Croix	8,45	<	0,4
Petite source du lieudit de la Fonderie	8,23	3	0,7
Source maison isolée croisement sortie Girmont vers la Croisette	7,77	≈ 2	0,4
Lavoir des Evaudois	7,65	<	0,1
Source ferme de la Croisette d'Hérival	7,52	<	0,3
Source hameau de Montandré	7,03	<	0,2
Source école du Buisson	7	<	0,1
Source en contrebas de la route du Fort de Rupt à la Croisette (sous placage de grès vosgien - conglomérat)	6,45	<	0,1
Petite source près du ruisseau de la Goutte des Voleurs	6,38	≈ 2	0,3
Source sous la voie du Grand Ban (au pied d'arkose et d'arènes - après pluie)	5,82	<	0,2
Source près de la feuillée Dorothée (au grès)	5,72	<	0,1
Source d'une ferme à l'O de la Beuille	5,71	≈ 2	0,3
Source dans éboulis sud de la Goutte des Voleurs en bordure du chemin	5,50	-	-
T.B. Château-Lambert	5,25	5	12,5

Echantillons	Teneur en Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-6} g/l
Source de la 2ème ferme des Sapins du Haut	1,48	≈ 2	0,5
Source de la ferme route du Thillot au col des Croix	1,30	≈ 2	0,5
Landres du dessous	1,20	3	0,6
Source près de l'école de Moiseaubeau	1,20	≈ 3	0,6
Petit filet d'eau près de la ferme 423 - 111	0,92	<	0,3
Source alimentant un petit étang à la Besse. des Fontaines 420 - 115	0,80	<	0,2
Source près d'une ferme en ruines en bordure de la route stratégique au point de prélève- ment 427 - 117	0,77	4	1,5
Prélèvement dans l'ouvrage entre les 2 tra- vaux du B.R.G.G. (mais plus rapproché du Thillot)	0,65	3	1
Goutte du Curé. Ruissellet avant sa disparition dans le cône d'éboulis à 20 m du chemin	0,55	2	0,8
Source alimentant une maison en bordure de la route (424 - 112).	0,26	<	0,2

- VOSGES -
Campagne 1959
Région de Plombières

Origine	Coordonnées Lambert	t°c	Teneur en Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Limite de détection 2 × 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁸ g/l
Sce Savoureuse (Est)	Ballon d'Alsace (mesure de contrôle)	4,5	580	< = ₃ < ²	0,7
Sce Yoccope	907,8 - 337,3	8,5	141	< L.D.	0,3
La Bertincote	417,4 - 122,7	7,5	137	< L.D.	1
Sce Gare de Plombières	907,2 - 337,1	9	131	< L.D.	0,8
Savonneuse n° 5	907,8 - 337,6	21,5	100	≈ 2	0,7
Savonneuse n° 4	" "	20	97	2	0,5
Sce hameau (près Ecole) Effreny	419,8 - 121,3	7,5	95	< L.D.	0,4
Ecole Effreny	411,9 - 121,4	7,5	92	< L.D.	0,2
Savonneuse n° 7	907,8 - 337,6	25,5	79	3	2,8
Savonneuse n° 6	" "	23	79	2	1
Grand captage ville de Plombières	907,6 - 337,1	8,5	74	≈ 2	0,8
Petite Sce ouest de Breuches les Fauconney	410,6 - 115,4	9,5	70	< L.D.	1
Marchessant	414,6 - 124,2	7,5	68	< L.D.	1
Sce près du pont de la Scie	414,1 - 123,5	7,5	67	< L.D.	0,7
Sce pré entre Groslière et voie du Grand Ban	413,4 - 123,3	7	65	< L.D.	0,0
Savonneuse n° 3	907,8 - 337,6	18	62	< L.D.	1,5
Savonneuse n° 10	" "	33	59	≈ 3	3,1
Busonmagny (3)	414,7 - 122,9	7,5	52	< L.D.	0,6
Les Prés Benons (Sce)	406,1 - 121,7	7,5	52	< L.D.	0,3
Fne Ferme Ecart Esmoulières	416,6 - 117,9	7,5	51	< L.D.	0,2
Sous la Voie du Grand Ban Groslière	412,8 - 123,5	7	51	< L.D.	0,1
Fne Ferme = Route Chapendu R.N.		9,5	50	< L.D.	0,6
Sce La Forêt	896,1 - 342,1	9	46	< L.D.	0,3
Flanc Sud Mont de Fourche (Couchot)	417,65 - 122,85	7,5	44	< L.D.	0,8

Origine	Coordonnées Lambert	t°c	Teneur en Radon 10 Ci/l	Radium 10^{-10} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-6} g/l
Fne La Soeur	412,75 - 131,25	7,5	44	4	1,8
Molieu 2è Source ds le bois	900,6 - 341,3	8,5	43	< L.D.	0,3
Hernefroy (Corravillers)	417,4 - 121,4	7,5	41	< L.D.	0,9
Les Mottes-Esmoulières	416,3 - 117,6	8,5	40	< L.D.	0,4
Sce N. Eglise Molieu (forêt)	900,7 - 341,3	8,5	40	< L.D.	0,3
Sce Fne le Grand Founot	903,3 - 332,2	9	37	< L.D.	0,2
La Groslière	413,7 - 123,2	7	36	< L.D.	0,3
Sce des Trémeures (Zone minéralisée)	892,8 - 337,1	9,5	35	< L.D.	2,1
Collecteur Romain-Plombières	907,8 - 337,6	52	33	-	2,5
Sce Babel (Plombières)	907,7 - 337,3	7,5	32	< L.D.	0,8
Sce Fne Faucogney (St-Bresson)	411,2 - 118,6	7,5	31	< L.D.	0,3
Sce (Les Granges V.A.)	407,2 - 127,3	8	28	≈ 3	2,2
Sce Les Trémeures	893,8 - 337,2	9,5	28	< L.D.	2,3
Hernefroy (Corravillers)	417,6 - 121,3	7,5	28	< L.D.	1
Sce pré	417 - 121	7,5	28	< L.D.	0,9
Sce Bois Durand Martin		8	25	< L.D.	0,7
Sce Jacquot	907,7 - 337,2	8,5	24	< L.D.	0,2
Sce Fne Le Champ	907,1 - 331,7	8	23	<	0,1
Sce près du transforma- teur Le Roulier (A)	901,4 - 340,7	8	22	<	0,1
Sce Carrefour Rosières (Hulets)	417,05 - 124,1	7,5	21	<	0,0
Vallée Plombières flanc O Sortie Sud	906,4 - 336,1	8,5	21	<	0,4
Le Grand Sancy	414,2 - 124,6	7,5	21	<	0,7
Savonneuse n° 8	907,8 - 337,6	26	20	≈ 2	3
Puits Ecart Faucogney (St - Claude)	411,8 - 116,7	9,5	19	<	0,2
Ferme du Breuil	411,75 - 130,8	8	19	<	0,2
Entre Voie du Grand Ban et Effreny	411,7 - 122,25	7,5	19	<	0,1
Sce Forêt du Lyaumont	894,9 - 336,6	9	18	<	0,2
Sce Abreuvoir Esmoulières	416,3 - 117,5	7,5	18	<	0,4
Sce Ecluse Port de Bains	891 - 342,1	10	18	<	0,5
Sce Granges de Châtillon	412,2 - 122,3	7,5	18	<	0,4

Origine	Coordonnées Lambert	t°c	Teneur en Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Limite de détection 2 × 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁶ g/l
Sce Vendredi Saint (Plombières)	907,7 - 337,2	8	17	<	0,2
Raie des Fontaines	893,4 - 341	9	17	<	0,5
Lassus D 12 cote 472	900,3 - 339,5	8	15	<	0,1
Sce Le Roulier Est	901,5 - 340,7	8	15	<	0,2
Le Clerjus cote 395	897,7 - 336,7	9	14	<	0,8
Fne Abreuvoir - Fouillies de la Goutte	407,6 - 120,7	7,5	14	<	0,2
Sce St-Pierre (Granges de Plombières)	906,4 - 336,6	8	14	<	0,1
Marchessant (N° 2)	414,5 - 124,1	7,5	14	<	0,7
Sce flanc O vallée Plombières (H.S. et V.)	903,9 - 335,05	9,5	13	<	0,3
Hernefroy (Corravillers)	417,4 - 121,5	7,5	13	<	0,7
Sce Contrebas Petit Sancy	414,7 - 125,1	7	13	<	0,5
Fne Entrée du Clerjus	897,4 - 336,3	9	13	<	0,25
Sce Captée S. du Girmont	411,7 - 129	7,5	13	<	0,3
Raie des Fontaines	896,5 - 340,8	9	12	<	0,3
Sce Captée les Trémeures	893,8 - 337,2	9,5	12	<	1,8
Sce Prieuré Hérival	413,3 - 131,3	8	12	<	0,8
Rougemont (Vallée de Plombières)	903,5 - 334,6	9	12	<	0,4
Ecole de la Landre	895,6 - 339,4	9	12	<	0,6
Sce Lavoir Haudompré	899 - 341,45	8	12	<	0,1
Fne le Dé (Noirmont)	897 - 339,25	7,5	12	<	0,1
Sce Carrefour Rte les Mottes Esmoulières	416,6 - 119,2	7,5	12	<	0,3
Sce pré (ruisseau du Mallot) D 12	898,2 - 338,3	9	11	< L.D.	0,7
Le Roulier (A)	901,3 - 340,6	8	11	<	0,2
La Rochère (cote 564,4)	899 - 338,9	7,5	11	< L.D.	0,1
Le Sarcenot	904,7 - 333,8	8	11	<	0,2
Ecart Sud Esmoulières	416,2 - 116,9	7,5	10	<	0,3
Fne Guizot	406 - 130,5	8	10	<	1,2
La Terre Chaudot	892,9 - 337,7	9,5	10	<	1
Berret	905,5 - 333,3	8	10	< L.D.	0,75

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Limite de détection 2 x 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁶ g/l
Les Forges (Rte Raddon)		8	9	<	1
Sce captée le petit Sancy	414,7 - 125,1	7	9	<	0,3
Fne La Louan	900,1 - 340	8	9	< L.D.	0,1
Sce chemin Feuillée-Dorothée (conglomérat)	407,3 - 128,1	7,5	9	< L.D.	0,1
Le Roulier (B)	407,1 - 130,6	8	9	< L.D.	0,1
Fne Les Chevreux	-	8,5	9	< L.D.	0,2
Sce près Ecole de la Landre	895,6 - 339,5	9,5	9	< L.D.	0,4
La Forêt - Abreuvoir	895,6 - 341,9	9,5	8	< L.D.	0,1
La Gabiotte (RN 57)	-	8,5	8	< L.D.	0,7
Chatillon (Effrenay)	412,9 - 122	7,5	8	<	0,3
Sce La Vierge du Paquis	901,8 - 340,2	8	8	<	0,1
Fne le Renard (Noirmont)	897 - 339,4	7,5	8	<	0,1
Sce Contrebas Route d'Ail- levillers	900,3 - 332,3	10	7	<	0,2
Fne Amélie Plombières	907,6 - 337,5	8	7	<	0,3
Captage Trémonzey D 20	891,8 - 337,7	9,5	7	<	0,2
Sce Prémourey	905,6 - 331,4	8	7	<	0,1
Vieille chaussée (Raval)	893,8 - 337,7	9	7	<	0,4
Sce Fne Les Grands Prés	895,1 - 339,8	9,5	7	<	0,8
Route des Mottes à Esmou- lières (puits)	413,7 - 118,6	7,5	7	<	0,2
Sce Haudompré	899,1 - 341,3	7,5	7	< L.D.	0,5
Sce transformateur Le Roulier (B)	901,3 - 340,6	8	7	<	0,2
Sce captée le Raval	893,1 - 338,1	9	7	< L.D.	0,3
Fne maison-Ecart Roulier D 479	901,5 - 340,7	8	6	<	0,2
Sce Etang du Martinet	900,55 - 341,65	8	6	<	0,77
Fne Mourotte-Maison Fores- tière du Bas-Poirmont	899,6 - 335	9	6	< L.D.	0,65
Sce Petit Founot	903 - 333,5	9	6	<	0,2
Sce Maison Faucogney- St-Bresson	411,3 - 116,8	7,5	6	<	0,4
Sce Fne D 68 - La Chaudeau	897,2 - 335,3	9,5	5	<	0,3
Deshayes	905,6 - 332,05	8,5	5	<	0,1

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-6} g/l
Sce Moulin de Ruaux	904,25 - 339	8	3	<	0,1
Sce captée La Forêt	895,8 - 342	9	3	<	0,1
Fne le Petit Corravillers	417,7 - 122,1	8	3	<	0,4
Sce Fne du Renard (Plombières)	908,6 - 338,9	8,5	3	<	0,2
Fne Jacquot Plombières	907,8 - 337,3	8	3	<	0,2
Sce des Grands Côtés	902,4 - 333,6	8,5	2	< L.D.	0,7
Ermitage St-Valbert	-	8,5	2	<	0,0
Sce Rte Remiremont: Peutet	410,8 - 131	7	2	<	0,3
Captage Gruey	888,5 - 343,4	8,5	2	<	0,7
Busonmagny (1)	414,7 - 122,9	7,5	2	<	0,4
Les Baraques (Ecart Fontenoy)	889,6 - 340,4	10	2	<	0,1
Fme en descendant vers la Rochotte	412,9 - 121,7	7,5	2	<	-
Sce Ville St-Mosey (Dis- tillerie)	903,9 - 332,1	8,5	2	<	0,0
Busonmagny (2)	415,1 - 122,8	7,5	2	<	0,7
Sce Fne Rompeux	903,2 - 331,8	9	2	<	0,1
Fne Ouest de Breuches- la-Grande	419,6 - 120,1	7,5	1	<	0,3
La Landre (Ecart)	896 - 339,9	9,5	1	<	0,1
Le Roulier (D) Sce captée	902,7 - 341,5	8	1	<	0,1
Le Grand Sancy	414,1 - 124,6	7	1	<	0,4
Captage Mon Fre Val d'Ajol (Rte de Plombières)	909,1 - 334,3	9	1	<	1,0
Fne La Jeancote (Corravillers)	418,1 - 121,1	7,5	1	<	0,7
Abreuvoir près Ecole Es- moulières	416,2 - 117,6	8	1	<	
Sce Moulin du Géhard	412,3 - 129,4	8	1	<	0,7
Sce Usine Electrique La Pipée	889,85 - 338,45	8,5	0	< L.D.	0,3
Sce captée Amage	-	9	0	<	
Sce en montant au Préverdot	893,6 - 339,8	9	0	<	0,8
Eau alimentant une maison La Rosière	416,9 - 123,1	8,5	0	<	0,2

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Limite de détection 2 x 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁶ g/l
La Forêt	896,1 - 342	9,5	5	<	0,1
Captage Vallée de Méréille	410 - 125,4	7	5	<	0,3
Le Roulier (C)	407,1 - 130,6	8	5	<	0,1
Sce Ecart Sud Girmont	411,9 - 128,6	7	5	<	0,2
Henry	903,7 - 332,5	8,5	5	<	0,1
Colas Rossey (N° 1)	904,3 - 333,5	8,5	5	<	0,1
Source Captée la Forêt	896,3 - 341,8	9,5	5	<	0,0
Sortie N.E. Girmont (Rupt)	412,4 - 129	7	5	<	0,3
Colas Rossey (N° 2)	904,1 - 335,6	8,5	5	<	0,1
Sce Fne Captée Fougerolles (Raddon)	-	9,5	5	<	0,2
Sce Forêt du Lyaumont	895,1 - 337,55	8,5	5	<	0,0
Sce Fne ferme cote 434 D 12	898,1 - 338,2	8,5	5	<	0,1
Sce Fne Place St-Valbert	-	8,5	5	<	0,0
Sce le Blanc Rouchot Fne	902,5 - 332,5	8,5	4	<	0,2
Sce Trémeures	893,2 - 335,6	9	4	< L.D.	2,3
Fne Le Loup	897 - 339,5	7,5	4	<	0,2
Sce Bas de Lanceran Fougerolles	-	9	4	<	0,2
Ecole Haudompré	898,7 - 341,6	7,5	4	<	0,0
Sce ferme Gueu du Saut	903,1 - 341,2	8	4	<	0,1
Sce le Reposoir:Esmoulières	420,9 - 119,6	7	4	<	0,3
Le Petit Founot-Sce bord du bois	903 - 333,7	8,5	4	<	0,0
Henry	903,7 - 332,6	8,5	3	<	0,1
Sce La Carre	889,1 - 343,6	9,5	3	<	0,1
Plombières flanc Ouest	903,2 - 334,6	8,6	3	<	0,2
Sce captée Ecole de la Forêt	895,5 - 341,8	9,5	3	<	0,0
Cité Tréfilerie Blanc Murger	904,05 - 340,9	8	3	<	0,2
Sce Ferme Robert	901,8 - 333,2	8,5	3	< L.D.	0,78
Fne aux Fers (Poirmont)	900,5 - 335,2	8,5	3	< L.D.	0,65
Entrée T.B. Hérival	413,3 - 131,7	7	3	2	3
Sce Franoux (La Rochère)	898,7 - 338,7	7,5	3		
Sce Henry	903,5 - 332,6	8,5	3	< L.D.	0,1

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-6} g/l
Sce dans un pré Esmoulières	415,7 - 117,5	8	0	<	0,3
La Landre	895,5 - 339,6	9	0	<	0,1
Fne de la Scierie du Gueu du Saut	903,3 - 341,5	8	0	<	0,1
Hameau du Moncel	899,5 - 338,5	8	0	<	0,1
Petit captage le Breuil	411,3 - 130,9	8	0	<	-

— Vendée —

Campagne 1958

Région de la Chapelle-Largeau

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-6} g/l
Treize Vents	357,5 - 218,3	11	1 296,30	6	5
Sce Fontaine Pré l'Abretière	359,2 - 216,3	12,5	1 027,74	7	8
Le Coup Chapon (Document C.E.A)	358,8 - 217,7	12,5	950,60	5	5
Source Poupet	355,5 - 218,4	11	831,75	7	1
St Malo du Bois n° 2	353,6 - 219,5	12	803	6	3
Puits près de Poupet	355,3 - 218,55	11	791	4	2
Source fontaine	355,75 - 218,40	11,5	739,18	-	-
Source St Malo du Bois	353,8 - 219,5	12	722,76	4	2
Saint Malo du Bois	353,6 - 219,5	-	714	-	-
Saint Malo du Bois	356,6 - 219,5	-	590	-	-
Saint Malo du Bois	353,6 - 219,5	-	540	-	-
Saint Malo du Bois	353,6 - 219,5	-	501,8	-	-
Source fontaine le Veau	356,25 - 219,2	12,5	497,54	5	3
Saint Malo du Bois - n° 2	353,6 - 219,5	-	493,81	-	-
Saint Malo du Bois	353,6 - 219,5	-	466,74	-	-
Saint Malo du Bois	353,6 - 219,5	-	412,68	-	-
Saint Malo du Bois	353,6 - 219,5	-	397,5	-	-
Saint Malo du Bois	353,6 - 219,5	-	377,23	-	-
Source fontaine	356,56 - 218,2	11,5	367,19	-	-
Mallièvre-Laurec-fontaine	356,2 - 217,42	12	362,65	9	3
Source pré	357,2 - 218,2	12	355,30	3	2
Source Treize Vents	357,5 - 218,3	11,5	352,65	4	5
Petite Yègue-Service d'eau	255,42 - 215	13	343,82	3	3
Source le Veau	356,30 - 219,14	11,5	329,25	5	4
Fontaine dans un pré	356,5 - 215,5	12	324,10	3	1

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Limite de détection 2 x 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁶ g/l
Source fontaine	358,54 - 219,80	12,5	324,82	4	3
L'Audebretière	355,05 - 216	11,5	321,71	≈ 3	2
La Peine Perdue	355,3 - 217,6	11,5	304,4	5	3
Source fontaine	357,1 - 216,9	12	287,42	≈ 2	1
Puits	354,68 - 219,10	12,5	285	3	3
Source fontaine	356,45 - 218,54	11,5	284	4	-
Source sous la Renollière	357,35 - 219,20	11	264,69	≈ 2	1
Source	353,70 - 218,60	12,5	247	3	1
Source Moulin Neuf	356,5 - 216,5	11,5	239,23	2	0,8
Puits - Pré	359,36 - 219,46	12,5	210,34	-	0,7
Saint-Malo du Bois	353,6 - 219,5	12	210,73	-	-
Lavoir La Chataigneraie	355,70 - 218,320	17	204,81	2	0,5
Source de la Péserie	356,9 - 216,3	11	195,34	≈ 3	0,7
Source	355,4 - 216,10	11,5	192,30	3	0,9
La Bête - Pré	357,9 - 218,8	12,5	192,24	≈ 2	2
Les Epesses - Pompe	353,4 - 214,5	13,5	190	<	1
Les Epesses-pompe place.	353,4 - 214,4	13,5	186,80	≈ 2	1,5
Source ferme	356 - 219,60	11,5	183,67	3	0,8
Source ferme de la Tuilerie	356,10 - 215,26	12	179,10	≈ 3	0,9
Puits ferme du Château Tillé - Mandin	352,2 - 216,5	12	178,87	5	4
Source près de la Gratière	359,7 - 216,8	11,5	169,26	<	4
Grande Yègue, Service d'eau	355,36 - 215	14	157,76	<	1
La Puchère	354,5 - 217,9	12	147,40	4	0,8
Puits - service d'eau de la Gilbaudière	358,6 - 219,4	13,5	144,40	3	0,8
Source Sud de Mallièvre	356,14 - 217,18	12	144,75	5	2
Le Domaine Normand-ferme	355,4 - 217,0	11,5	142	≈ 2	2
L'Arbretière - Puits	359,3 - 216,2	12,5	140,04	<	5

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-6} g/l
La Tuilerie - Puits	356,10 - 215,26	12,5	134,43	<	0,9
Pompe Puits Treize Vents	357,5 - 218,3	13	132	3	4
Puy Masson	355,4 - 219,25	12	107,52	<	2
Puits de la Filouzière	354,25 - 216,30	12,5	105,80	-	-
Puits le Gast	357 - 220,60	12,5	105,50	<	3
Saint Malo du Bois	353,6 - 219,5	11,5	80,11	2	1
Source ferme	358,05 - 216,45	11,5	78,47	-	-
La Meilleraye	353,4 - 216,4	12,5	78,26	5	3
Petite Rigale	354 - 217,5	12	72,62	2	1
Puy Moisson	355,3 - 219,3	11,5	72	<	0,8
Source de la Tidoire	357,7 - 217,3	12	69,62	<	0,8
Trou d'eau Yègue	353,8 - 295,10	13,5	69,87	<	0,5
Fontaine dans un pré	357,15 - 218,35	12	66,36	<	0,3
Puits ferme de Villeneuve	356,9 - 221,30	12,5	59,17	≈ 2	3
La Coumaillère: Source	353,5 - 215,5	12	57,14	<	1
Source fontaine de la Lavelière	353,20 - 216,70	12,5	55,29	-	-
Source dans un pré-la Barère	358,2 - 217,1	11,5	51,62	-	-
Puits	357,2 - 216,7	12	48,30	-	-
Station de pompage - Château de Roche Neuve	358,30 - 219,85	13,5	45	≈ 2	2
Puits ferme	356,74 - 218,4	12	45,17	<	0,8
Source dans un pré	357,10 - 218,9	12	44,81	<	0,7
Source dans un pré	355,7 - 215,10	11,5	43,26	<	0,5
Petite Yègue - Puits	355,4 - 215	12,5	43,26	<	0,3
Puits le Cottureau	352,90 - 215,9	12,5	41,91	<	0,2
Puits la Marinière	356,70 - 220	13	41,86	<	0,3
Source	353,4 - 214,5	12	41	<	0,3
La Bête	356 - 218,6	11,5	38	<	0,5
Puits La Lavelière	353,2 - 216,7	12,5	38,05	<	0,2

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Limite de détection 2 × 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁸ g/l
Puits	357,9 - 216,6	12,5	37,17	<	0,2
Source dans un pâturage	355,14 - 217,40	11,5	35	<	0,2
La Bernetière	357,2 - 217	12	32,37	<	0,3
La Coumaillère	353,40 - 215,5	12,5	31	<	0,4
Moulin de Chambon	356,05 - 219,70	11	31,10	<	0,2
Source dans un pré près de la Chevrerie	356,65 - 219,30	12	29,77	<	0,5
La Commanderie	359,85 - 218,70	12,5	28,57	<	0,8
Grande Rigale	353,8 - 217,6	11,5	26,54	<	-
Source	356,02 - 218,02	11	26	<	0,2
Puits Livet	353,70 - 218,85	12,5	24,63	<	0,2
Puits de la Poiselère	354,95 - 217,05	12,5	22,20	<	0,3
Puits Crépaud	354 - 218,30	13	18,72	<	0,3
Source Treize Vents	357,8 - 218,4	11	18	<	1,5
Treize Vents	357,3 - 218,2	12	16,72	<	0,9
Sce fontaine l'Aujardière	259,9 - 215,3	12,5	16	<	0,5
Source	219,8 - 366,70	11	16	<	0,2
Fontaine-Pré	358,4 - 215,5	13	15,71	<	0,3
Petite source de l'Arbretière	359,4 - 216,05	11,5	14,76	<	2
Puits et Service d'eau	358,45 - 215,35	12,5	11	<	0,4
Petite mare	356,2 - 220,9	14	9,56	<	0,1
La Roche Bordron	356,11 -	12	9,24	<	0,2
Puits de la Coumaillère	353,5 - 215,5	12,5	9,12	<	0,4
La Girardière	357,16 - 214,9	11,5	9	<	0,2
La Laurière	338,10 - 215,40	12	7,56	<	0,3
Source dans un pré	354,76 - 217,80	11,5	7,51	<	0,2
Source dans zone tourbeuse	357,55 - 218,35	13	7,5	<	0,2
Puits	354 - 219,10	12,5	7,26	<	0,3

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-6} g/l
Fleuriais - Radio	C.E.A. Mortagne	-	7,25	<	-
Fleuriais - Radio	- -	-	6,15	<	-
Zone drainée sud des Treize Vents	357,4 - 218	14	6,8	<	0,3
Le Boulet	354,8 - 215,6	12	5,55	<	0,2
Drainage zone humide	354,9 - 219,06	13,5	2,75	<	0,2
Ruisseau	353,6 - 219,5	-	2,71	<	-
Source pré	356,6 - 217,4	11,5	2,53	<	0,1
Puits dans un pré	357,5 - 220,50	12,5	2,30	<	0,2
Source	-	-	1,65	<	-
Puits ferme	354,9 - 215,4	13	0,97	<	0,3
Source Etang les Epesses	353,3 - 215,0	12	0,46	<	-
Source dans un pré	356,70 - 215,320	11,5	0,44	<	0,2

— Vendée —
Campagne 1959
Région de la Chapelle Largeau

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Limite de détection 2 × 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁶ g/l
St-Malo n° 2	353,6 - 219,5	12,5	1 625	6	4
Le Cloudy n° 1	357,6 - 221,5	12,5	1 224,2	8	6
Le Cloudy n° 2	357,6 - 221,6	12,5	921	10	5
Sce Roche Authée	358,3 - 220,3	12	676,2	5	7
Sce près route de Bressuire	357,3 - 221,3	13	566,2	≈ 2	7
St-Malo n° 1	353,6 - 219,5	12	551	5	4
Le Cloudy, n° 3	357,5 - 221,6	12,5	504	4	5
Fme La Chatte	-	12,5	385	≈ 2	4
Fme Bas-Bodin	360,5 - 219,6	12	374	-	-
Pipaudière	358,7 - 220,7	13	306	3	5
Le Bouc	357 - 222	12,5	262	6	3
Bois Léger (Puits)	360,2 - 220,6	12,5	256	3	2
Le Cloudy (ferme)	357,6 - 221,5	13	206	3	4
La Roche Galouin (Puits)	357 - 222,3	12,5	183	-	4
Laudonnière	358,7 - 220,7	12,5	151	6	5
Q 17 et Q 18	357,5 - 221,75	13,5	146	5	2
Ferme Q 22	357,6 - 224,7	13	139	-	-
Sce Eglise Chapelle-Largeau	358,6 - 221,2	12,5	136	4	5
N.O. Chapelle Largeau	358,3 - 221,6	13	135	≈ 2	5
Basse Geloussière	359,5 - 221,6	12	123	≈ 2	0,8
Fme Creuselière	356,9 - 222,9	12	95	-	-
Abreuvoir Sortie Chapelle Largeau	358,8 - 221,3	17,5	90	4	0,9
Lavoir Pont Pipaudière	358,3 - 220,8	18	87	5	1,2
La Roche Authé	358,3 - 220,3	13	85	3	4
Le Bordage des Landes	358,2 - 221,8	12,5	84	-	1
Puits Chapelle Largeau	358,5 - 221,1	13	70	7	7
Vergnaye (Service d'eau)	356,4 - 221,7	15	70	<	1
Sce Vergnaye	356,4 - 221,7	12	65	<	0,9

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Limite de détection 2 x 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁶ g/l
Sce La Borderie	359,2 - 221,2	12,5	64	<	0,7
Pte Sce Vergnaye	356,4 - 221,7	13	64	<	0,8
Lavoir Chapelle-Largeau	358,5 - 221,2	17,5	46	≈ 2	2
N.E. Borderie T ₁₆	359,1 - 221,1	13	35	-	-
Puits Rte Bressuire	359,3 - 219,4	13	31	<	0,7
Abreuvoir Loublande	358,1 - 224,5	16,5	29	<	0,3
S.O. Vergnaye	358,8 - 221,1	13	26	<	0,6
La Morinière	358,2 - 224,1	13	20	<	0,2
Abreuvoir N. DU Bouc	357,1 - 222,2	16,5	17,5	<	0,2
Rte de Bressuire	359,2 - 219,5	12	17	<	0,1
La Guesnière	359,5 - 220,9	12,5	15	<	0,3
Loublande E.	358,9 - 224,6	13	12	<	0,2
Robinet face Ecole Chapelle-Largeau	358,3 - 221,2	14	12	<	0,5
Lavoir de Bordage	357,5 - 221,8	17,5	12	<	0,2
Pierre Blanche	358,8 - 221,8	13	12	<	0,2
Loubland V23	359,9 - 224,6	12,5	11	<	0,1
Sce pré Chapelle-Largeau	358,3 - 221,5	13	8	5	2
Sce pré entre Pipaudière et Chapelle-Largeau	358 - 220,8	13	7	≈ 2	3
Sce Q 22	357,5 - 224,1	12,5	6,5	<	0,3
Fme T 23	359,2 - 224,5	13,5	6,5	<	0,2
Chapelle-Largeau Sortie E	358,8 - 221,3	13	5,5	<	-
Roche Authé zone Humide	358,4 - 220,4	14	5,5	<	2
La Sauvagère Q 20	357,5 - 223,2	12,5	5	<	0,2
Loubland O.	358,1 - 224,4	13	5	<	0,1
Puits Basse Geloussière	359,6 - 221,5	13	4	<	0,2
Sce vers Moulins	360,3 - 221,3	13,5	3,5	<	0,5
Sce pré Q 22	357,4 - 223,8	1,5	3,5	<	0,2
Loubland S.	358,7 - 224,4	13	2	<	0,2
Abreuvoir T. 17	359 - 221,5	17	1,5	<	0,2

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-6} g/l
Abreuvoir Vergnaye	359,3 - 221,5	17,5	1,5	<	0,2
Gde Ecurie	359,7 - 223,7	13,5	1	<	0,2
Mare Laudonnière Pipaudière	358,7 - 221,4	18	1	<	0,7
Sce Q 22	357,5 - 224	13	0,5	<	0,2

- Bretagne -

Campagne 1958

Région de Questembert

Origine	Coordonnées Lambert	t °C	Teneur en Ra 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Lim. détection 2 × 10 ⁻¹¹ g/l.	Uranium 10 ⁻⁶ g/l
Puits - Pré Coët - Bihan	45,6 - 75,3	11	765,66	5	0,4
Limerzel	548,1 - 5277	12	604,35	7	0,3
Zone tourbeuse- ferme Coët Drôt	45,35 - 77,3	13,5	579,66	4	0,5
Lavoir	44,7 - 77,2	13,5	548,29	4	0,4
Abreuvoir - Bois des Plats	45,2 - 77,5	12,5	540,81	6	0,15
Fontaine : ferme-Grée aux chevaux	42,75 - 77,9	11	455,33	5	0,2
Le Boulín	546,7 - 5274,7	11,5	447,86	3	0,5
Fontaine de Brunelay	47 - 78	11	380,64	4	0,3
Montaigu	45,8 - 76,9	12	342,36	3	0,35
Source Kervan	44,5 - 75,2	11,5	296,68	4	0,4
Source ferme	44 - 75,2	11,5	282,12	5	0,3
Kergonadam-fontaine	43,5 - 76,6	12	282,01	3	0,4
Hameau du Kerostier	44,5 - 77,3	12,5	272,21	2	0,25
Puits (Seau)-Le bois des Plats	45,1 - 77,65	12	268,30	5	0,35
Fontaine Kerostier	44,45 - 77,25	12,5	265,88	3	0,3
Fontaine de Kerdin	41,6 - 76,4	12	264,36	3	0,4
Flanc de coteau Kerpage	43,4 - 78,1	13	262,80	4	0,3
Fontaine du Bodan	42,3 - 76,5	12	258,13	3	0,6
Fontaine St Servais	48 - 78,1	11,5	257,60	5	0,2
Fontaine	548,10 - 5276,65	11,5	254,82	3	-
Source de Bréhardec	45,1 - 76,4	11	246,37	4	0,6
Trop plein captage	543,6 - 5278,9	11,5	244,53	3	-
Puits (Pompe) - Kerantal	41,4 - 78,1	12	224,56	3	0,2

Origine	Coordonnées Lambert	t°c	Teneur en R. 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Lim. détection 2 × 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁸ g/l
Source	546,4 - 5277,3	12	214,89	≈ 2	
Fontaine de Kerluidan	546,3 - 5277,1	11,5	214,66	3	0,5
Fontaine Kerjabin	47,5 - 78	11,5	209,80	3	0,45
Fontaine le Sourd	45 - 77,2	12	201,93	4	0,25
Source Carnély	42,7 - 75,35	11	193,07	3	0,6
Puits (Seau), Kergralan	44,05 - 75,75	12	188,64	≈ 2	0,3
Kerpage (Pré)	43,45 - 78,15	13	180,25	≈ 2	-
Fontaine	45,75 - 78,10	12	171,45	3	-
Puits (Pompe) - Tréfevan	43,8 - 75,7	11,5	162,47	<	0,2
Source abreuvoir	44,5 - 75,3	12	146,15	<	-
Source de Kerbon	547,00 - 5277,0	12	141,30	≈ 2	0,4
Source la Grée Michel	43,5 - 77,4	11,5	140,23	<	0,5
Abreuvoir	42,85 - 75,5	13,5	136,40	<	-
Fontaine	47,7 - 79,2	12,5	130,28	<	0,4
Source pré - Coët - Bihan	45,7 - 75,4	12	126,55	≈ 2	0,1
Fontaine le Toso	44,2 - 77,4	11	125,79	<	0,2
Fontaine	47,3 - 78,3	12	110,73	<	-
Puits (Seau)	545,1 - 5275,5	11,5	109,68	<	-
Puits	43,7 - 76,2	11,5	99,63	<	-
Puits (Seau)- Le bois des Plats	45,1 - 77,65	12	91,70	<	0,35
Abreuvoir - Le Sourd	45,1 - 77,25	13	90,07	<	0,2
Kernédre - fontaine	43,4 - 74,8	12,5	79,43	<	0,6
Puits - Pré (Seau)	44,75 - 74,8	12	76,90	<	-
Puits (Seau) Coët Drô	45,6 - 77,3	12,5	74,54	<	0,4
Fontaine Carnély	42,5 - 75,4	11,5	63,58	<	0,3
Source - ferme de Trémélian	44,5 - 75,5	11,5	61,28	<	0,5
Source Kéroger	44,6 - 76,6	12	60,87	<	0,3
Zone drainée	43,4 - 76,6	13	54,89	<	0,1
Source isolée	547,5 - 5276,1	12	53,24	<	0,35

Origine	Coordonnées Lambert	t°	Teneur en R. 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻⁶ g/l Lim. détection 2 x 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁶ g/l
Puits Catrevaux	47,3 - 78,8	12	51,21	<	0,3
Fontaine de Trébehit	43,8 - 74,5	11,5	50,75	<	0,3
Puits (Seau) l'Isle	545,5 - 75,85	12	48,80	<	0,2
Puits Pompe	544,8 - 75,2	13	44,76	<	-
Puits - ferme	546,8 - 74,6	12	44,70		-
Puits - Pompe l'Isle	545,5 - 75,84	11,5	43,87	<	0,2
Fontaine lavoir Limerzel	548,3 - 76,3	13	42,86		-
Kermédric	43,3 - 74,75	12	39,10	<	0,35
Lavoir	44,7 - 74,5	14	38	<	-
Source (Pompe) l'Orne	48,45 - 79,15	12,5	37,43	<	0,3
Trop plein : Kersampé	46,7 - 76,1	12	34,38	<	-
Fontaine sous Coët Faux		12,5	29,2	<	0,4
Fontaine Kersampé	46,8 - 75,95	12	26,47	<	0,3
Fontaine ferme de Kerflot	44 - 74,5	12,5	21,22	<	0,5
Questembert Restaurant Cadoudal		-	17,43	<	-
Puits Kerficas	48,05 - 5276,05	12	16,84	<	0,1
Pénemur (puits)	47,09 - 5276,85	11,5	16,26	<	0,2
Coët Faux	47,1 - 74,8	12	15,76	<	0,3
Puits (Pompe) Ecole Kergralan	44,3 - 75,75	12,5	14,07	<	0,35
Kergonadam - Source	43,55 - 76,6	12	12,92	<	0,5
Fontaine Pré	43,4 - 76,5	12,5	12,55	<	-
Puits (Pompe) Kercabon	41,2 - 76,9	12,5	9,91		0,3
Abreuvoir Pré	44 - 74	14	8,66	<	-
Zone drainée	45,1 - 76,25	13,5	1,34		-
Abreuvoir	45,7 - 77,8	14	1,10		-

- BRETAGNE -
Campagne 1959
Région de Pontivy

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-6} g/l
Sce Rte Linguinnec près Kermelin (A)	201,8 - 352,4	12	394	4	0,2
Kercado - Sce Fne	299,5 - 348,4	12,5	366	3	0,5
Trop plein Source captée Carrière "Echantillon"	202,5 - 354,05	12	303,5	≈ 2	0,1
Sce Fne Sud Kergarec (Fne principale)		12	293	3	0,6
Sce pré Moulin du Sil	201,2 - 351,9	12,5	245	2	0,2
Sce Captée Kerguer	201,7 - 349,8	12	237	≈ 2	0,2
Sce Ravin Kerbépéven	197,9 - 352,05	12,5	234,5	3	0,1
Sce Fne Moulin Roche fendue	201,6 - 351,5	12,5	234	7	-
Sce Fne Est Guern	196 - 350,7	13	234	3	0,6
Sce Fne O le Sourn	202,6 - 351,8	13	233,5	3	0,6
Sce Rte Linguinnec	201,9 - 352,4	12,5	232	≈ 2	0,4
Sce entre Kercado et Pempoul (A)	200,3 - 348,6	12,5	224	3	0,5
Sce Etang Château Malguénac	198,5 - 354,9	11	211	5	0,4
Sce Nord Linguinnec	202,1 - 353,05	12,5	201,5	≈ 2	0,2
Sce pré Moulin du Sil	201,2 - 351,9	11,5	200	≈ 2	0,4
Sce Linguinnec Sud (B)	201,9 - 352,6	12	196	-	-
Sce Linguinnec Sud (A)	201,9 - 352,5	12	195,5	6	0,5
Sce Sud Kergarec			193,5	4	0,7
Sce Chapelle St-Pladic	197,6 - 354,4	13	192	4	-
Pempoul (B)	200,2 - 348,6	12,5	191	-	-
Sce pré Linguinnec (B)	201,9 - 352,6	12	188,5	3	0,4
Sce captée N. Treuguy	202,1 - 354,4	12,5	183	3	0,5
Sce pré Kerhuelue	200,4 - 350,8	12,5	178,5	2	0,3
Pompe. place : Guern	195,5 - 350,7	13,5	178	4	0,3
Sce Fne Captée N. E. Malguénac	199,3 - 356,4	12,5	175,5	4	0,5
Sce N. Kerreh	198,3 - 353,3	12	175	≈ 2	0,4
Sce D2 Le Sourn	203,2 - 351,9	12	173	<	0,1

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Limite de détection 2 × 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁶ g/l
Sous la Sénée (C)	199,6 - 356,3	12,5	163	≈ 2	0,3
Sce Fne Quelven (centre)	197,4 - 350,6	12	156	3	0,3
Rte Guern à Guermeur	195,9 - 348,9	13	154,5	3	0,5
Sce O de St-Pladic	197,4 - 354,2	12,5	148,5	-	-
Sce près de Kerbar	198,3 - 353,5	12,5	148	-	0,3
Sce pré Kéroch	194,9 - 351,4	13	147	3	0,4
Sce Moulin du Resto (C)	203,2 - 353,3	13	147	<	0,2
Sce S.E. Quelven	197,9 - 349,4	12	146	≈ 3	0,2
Puits capt. face Kercher	-	11,5	146	<	0,3
Sce pré N. St-Yves	195,1 - 351,9	13,5	145	<	-
Sce Fne près de St Etienne	194,7 - 355,2	14	144,5	<	-
Sce Fne E. Quistiave	194,8 - 350,4	13	141	3	0,2
Sce Sud Treuguy	202,1 - 354	12,5	137,5	<	0,3
Sce Moulin du Sil (B)	201,1 - 352,1	12	135	<	0,2
Quelven Sce Fne (droite)	197,4 - 350,6	12	133,5	3	0,2
Sce Moulin du Resto (B)	203,2 - 353,3	12,5	133	≈ 2	0,3
Sous la sénéce Sce (B)	199,4 - 356,3	12,5	133	<	-
Entre Peros et D 130	197,1 - 353,5	13	129	3	0,4
Quelven Sce Fne (gauche)	197,4 - 350,6	12	123,5	<	0,2
Sce près Carrefour Peros et D 159	197,5 - 354,1	13	120	<	0,1
Sce Fne Carrefour Pesquen - St-Yves	-	12,5	120	<	0,4
Sce Pré Rte Linguinnec	202,8 - 352,3	12,5	117,5	<	0,2
Sce Captée Kervezel	197,5 - 355,1	12	115,5	<	-
Sce Ergohvelen	200,5 - 350,4	13	115	<	-
Sce S. Quelven (A)	197,9 - 349,9	13	107	≈ 2	0,1
Sce S.E. Quelven	197,9 - 350,2	12,5	104	≈ 2	0,2
Puits captage Moulin du Sil	201,2 - 352,1	11,5	103	5	0,3
Guern (Fne)	195,5 - 350,5	14	101,5	6	0,7
2ème puits : captages St-Nizan	196,4 - 357,1	12	101	3	0,6

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Limite de détection 2 × 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁶ g/l
Sce St-Georges	198,7 - 350,2	12	99	<	0,1
Sce pré Rte Malguénac - Pontivy	199,9 - 355,3	12,5	96,5	<	0,4
Sce Sud Pontivy	205,4 - 353,2	12,5	96	<	0,2
Sce Fne Carrefour Kerlois D 1	197,5 - 352,9	13	95,5	-	-
Sce Sous la Séné	199,6 - 356,3	12,5	92,5	<	0,2
Sce Pré Lesturgan-Kerrouan	198,9 - 357,3	12,5	92	<	0,3
Sce Pré Rte Quelven	197,9 - 369,9	12,5	91	<	0,4
Sce Pré de la Chapelle St-Etienne	194,8 - 355,3	13,5	87,5	<	0,1
Sce N. Kervillain	197,2 - 354,7	13	87,5	<	0,2
Puits captage St Nizan	196,4 - 357,1	12	86,5	3	-
N. Kervillain (A)	197,4 - 354,6	12,5	84,5	<	-
Sce O Kerhandrel D 2 - Vo 1		13	82	<	1
Sce Moulin du Resto (A)	203,05 - 353,3	12,5	80	<	0,3
N. Kervillain (B)	197,5 - 354,6	12,5	74,5	<	0,2
Distribution eau Pontivy		15	73,5	<	0,2
Sce Moulin de Pontois	202,7 - 350,2	12,5	70	≈ 2	0,3
Sce pré Botcouric	199,3 - 356,7	12	67,5	<	0,1
Sce pré Chapelle St Padic	197,6 - 354,1	13	66	<	-
Sce pré E. St-Nizan	196,5 - 356,9	12	65	≈ 2	0,3
Sce pré Colehan		12,5	64,5	<	0,4
Sce Fne N. de Guern	195,5 - 351,1	12,5	63,5	<	-
Sce E. de Keroch	194,9 - 351,4	13	59	-	-
N. Kerphilippe	202,5 - 350,1	12,5	59	≈ 2	-
Moulin du Resto (D)	203,2 - 353,3	12,5	56,5	<	0,3
Le Sourn D 188	202,9 - 351,4	12,5	56	<	0,5
Sce Prairie Chapelle St-Etienne	194,8 - 355,2	13,5	55	<	0,2
Entre Peros et D 130 (B)	197,3 - 353,5	12,5	55	<	-
Sce Sud Kerlois	197,8 - 352,6	12	55	<	0,4

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-6} g/l
Puits Kervegan		13	54	<	0,1
Entre Peros et D 130	197,4 - 353,5	12,5	52,5	<	0,2
Sce Route Ergovelin	200,4 - 350,4	13	52	<	0,2
Kerhandrel D 1 - Vo 1	-	13,5	52	<	-
Sce Fne Sud Boderel	199,5 - 349,5	13	52	<	0,5
O. Kervhen	-	12,5	48,5	<	0,3
Captage puits Kerulhue	200,5 - 350,8	13	48,5	3	1,6
Puits carrefour D 159 - D 130	195,9 - 352,5	13	48	<	0,5
Captage Moulin du Sil	201,1 - 352,1	12,5	46	-	0,2
Sce Sud Montguern	195,1 - 348,4	12,5	43,5	≈ 2	0,6
Sce pré Talverne	201,3 - 354,5	12	43	<	-
Sce pré "Carrière d'Echan- tillon	202,9 - 353,7	12,5	42,5	<	1,1
Quistiave (Puits Est)	194 - 350,3	13	42,5	3	1,5
Sud Quelven	197,9 - 350,1	12	42	<	0,3
M ⁱⁿ du Resto (C)	203,2 - 353,3	12,5	42	<	0,2
Sce pré Château Malguénac	199,9 - 355,3	12	41	<	0,4
Fne Lavoir O de Noyal Pontivy	-	14	40,5	<	0,1
Sce Sud Quelven	197,9 - 349,9	12	39	-	-
Sce Sud Bauzo	200,8 - 352,5	12,5	38,5	≈ 2	0,2
Sce pré St-Blot	204,6 - 357	13	36	<	0,3
Sce cote 200 St-Pladic	197,5 - 354,1	12,5	35	<	0,2
N. 164 (Sce captée)	200,1 - 357,2	12	34,5	<	0,2
N. 164 Pontivy	202 - 357,1	12	33,5	<	-
D 2 - Sce Pontois	202,4 - 350,5	12,5	33	<	0,2
Sce Petite Vallée O. Pontivy D. 2	203,2 - 353,6	12	32,5	<	0,1
Sce fne Sud Stival	203 - 356	13	32	<	-
Puits carrefour D 156 Vo 1	-	13,5	31	<	0,5
Sce près Etang Château Malguénac	198,6 - 354,9	12,5	30	<	0,5

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l Limite de détection 2×10^{-11} g/l	Uranium 10^{-8} g/l
Sce D 150 O. Pontivy	203 - 353,9	12,5	29,5	<	0,8
N. Rergoff	-	13	29	<	0,2
Kerbelin et D. 159	-	13	27	<	0,3
Sce captée E. Resto	203,6 - 353,2	12	27	<	0,1
Guerrhic (B)	199,6 - 353,5	12,5	24	<	-
Zone Humide S.E. Malguénac	199,1 - 355,6	13	23,5	<	0,4
Drainage carrière O Sourn	202,3 - 351,9	14,5	23	<	0,1
Le Sourn N.E.	203,2 - 351,9	12,5	21,5	<	0,2
Sce pré M ⁱⁿ de Pontois	202,8 - 350,3	12,5	21	<	0,3
M ⁱⁿ de Pontois D. 188	202,4 - 350,1	12,5	20,5	<	-
Sce Sud Colehan	-	13	20	<	-
Petite Sce Ergohvelin	200,5 - 350,4	12	20	<	-
N. 164 - Poulglas (1)	199,7 - 357,9	12	17	<	-
N. 164 - (2)	199,8 - 357,9	12	17	<	0,5
Carrefour D. 2 - Vo 1	-	13,5	16,5	<	0,9
Sce Kervinis	-	13,5	16,5	<	0,6
Sce M ⁱⁿ de Pontois	202,3 - 350,3	12,5	15,5	<	0,3
Sce Kerphilippe	202,5 - 350,1	12	15	<	0,4
Sce Kerdanet	202,1 - 349,3	12,5	14,5	<	-
Sce Sud Montguern	195,1 - 348,4	12,5	14	<	-
Entre Peros et D. 130 (A)	197,1 - 353,4	13	14	<	0,3
Sce Chemin du Tréviol	-	13,5	13	<	0,2
Sce pré Guerrhic	199,6 - 353,5	12	12,5	<	-
Puits O. le Sourn	202,3 - 351,9	13	11,5	<	0,4
St-Georges ; Ancienne Fne	198,6 - 350,1	14,5	11,5	<	-
Sce près Rte D. 159 (D)	-	12	11,5	<	0,2
Sce pré Est de Botcouric	199,3 - 356,6	12,5	11	<	-
Entre Peros et D. 130 (C)	197,3 - 353,5	12,5	9	<	0,3
Sce Sud M ⁱⁿ de Pontois	202,8 - 350,2	12	8,5	<	0,1
Sce pré M ⁱⁿ de Pontois	202,2 - 350,5	12	8	<	0,1
Sce pré bordure N. 164 Poulglas	199,6 - 357,9	12	7	<	0,2
M ⁱⁿ de Roche Fendue	201,7 - 351,5	12	7		-

Origine	Coordonnées Lambert	t° c	Teneur en Radon 10 ⁻¹⁰ Ci/l	Radium 10 ⁻¹¹ g/l Limite de détection 2 × 10 ⁻¹¹ g/l	Uranium 10 ⁻⁶ g/l
M ^{ln} du Sil	201,2 - 352	12,5	6,5	<	0,2
Sortie O de Noyal Pontivy	-	13,5	6,5	<	-
Sce chemin du Tréviol	-	13	6	<	-
Rte de la N. 164 à Malguénac	201,6 - 356,9	12,5	6	<	0,3
Sce Rimaison	201,2 - 348,3	13,5	5,5	<	-
Zone tourbeuse N. de Kerven	-	13,5	5	<	0,2
Zone humide Kervillain	197,4 - 354,6	14	4,5	<	-
Sce Fne entre "Carrière" et "Echantillon"	202,9 - 353,7	12,5	4	≈ 2	0,4
Zone tourbeuse M ^{ln} du Pcntois	202,2 - 350,5	13,5	4	<	-
Kervinis		12,5	4	<	0,6
Pierrier Carrière de l'Echantillon	202,7 - 353,8	14	4	<	0,3
Sce Fne route Malguénac à Guern	195,7 - 351,7	13,5	3,5	<	0,2
Sud Kerdanet	201,8 - 349	12,5	3	<	-
Sce pré Sud Malguénac	198,5 - 355,6	12,5	3	<	0,1
Zone tourbeuse du Hayo	195,4 - 356,1	13,5	3	<	0,2
Zone tourbeuse St-Yves	195,1 - 351,9	13,5	3	<	-
Sce Fne St-Paterne	200,4 - 352,8	14,5	2	-	-
Entre Kercado et Pempoul	200,2 - 348,7	12	2	-	-
Zone humide Rte Mur de Bretagne	204,1 - 357,5	13,5	2	-	-

Localisation géographique	Teneur Rn 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l
519 540 - 106 480	1 800	12
519 460 - 106 400	1 103	15
519 820 - 106 460	819,5	8
518 540 - 105 660	690	5
519 080 - 109 110	628	7
521 470 - 106 440	554,5	3
519 130 - 108 610	519	5
520 000 - 105 340	441	6
518 260 - 109 100	439	4
518 150 - 105 480	425,5	3
517 390 - 104 780	397	5
517 650 - 108 120	378	9
520 300 - 105 300	366	3
519 360 - 105 960	365	3
518 790 - 108 090	350	2
523 060 - 106 480	349,5	3
517 990 - 108 670	340,5	5
519 600 - 106 120	327	7
521 220 - 107 240	320	4
521 160 - 107 060	316	3
517 350 - 110 560	315,5	2
519 320 - 108 560	306	2
520 180 - 107 060	303	3
519 700 - 108 850	302	4
519 660 - 106 220	288	7
518 930 - 108 250	273	3
516 850 - 107 900	270	2
522 280 - 104 750	269	2
521 260 - 107 080	268	<
519 200 - 106 580	265	<
519 420 - 104 740	255,5	2
517 770 - 110 560	253	2
526 580 - 105 240	249	3
517 720 - 108 030	245	<
518 390 - 104 300	238	4
522 600 - 104 780	230	<
517 550 - 106 630	229	3
521 250 - 104 440	228	<
520 100 - 108 850	227	2
523 080 - 105 080	224,5	<
526 460 - 105 220	220	5
516 030 - 105 460	220	<
518 940 - 107 390	217,5	2
517 700 - 110 940	210	<
519 910 - 104 560	209	7
524 640 - 104 320	208	<
516 360 - 107 170	207	<
517 880 - 110 800	205	5
521 220 - 105 300	205	2
520 620 - 106 180	203	2
521 800 - 106 380	200,2	<
519 070 - 109 080	193,5	<
518 080 - 110 760	193	<

Localisation géographique	Teneur Rn 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l
519 670 - 104 530	192,5	12 3
521 260 - 104 400	191	<
519 620 - 104 450	189	3
516 790 - 107 910	189	3
517 980 - 107 900	187,5	<
518 840 - 107 620	185,5	7
523 120 - 105 300	185	12 2
517 740 - 110 860	184	<
517 640 - 108 020	181,5	<
517 340 - 106 850	178,5	12 2
520 500 - 108 550	175	12 2
519 420 - 105 780	171	<
519 200 - 104 660	170	<
525 300 - 104 480	168,5	<
525 200 - 104 200	164,5	<
518 360 - 108 140	164	12 2
519 640 - 104 390	157	3
520 640 - 106 580	156	<
518 870 - 105 310	155	<
522 120 - 106 060	155	7
523 500 - 105 840	154	5
518 260 - 104 340	154	<
521 960 - 105 450	149,5	3
515 940 - 107 040	148,5	<
517 580 - 105 880	144,5	<
519 360 - 108 600	137	3
517 580 - 107 920	136,5	<
519 640 - 107 500	134,2	9(?)
517 700 - 107 400	134	<
524 520 - 104 750	133	12 2
522 500 - 105 820	130	12 2
516 080 - 104 100	129	<
525 420 - 107 120	126	<
520 340 - 108 260	125,7	4
517 960 - 106 820	124,2	<
519 700 - 107 300	123,6	3
521 760 - 106 700	122	2
518 770 - 105 420	120	<
518 400 - 109 720	120	<
517 870 - 110 540	119	5
523 360 - 105 800	118,5	12 2
516 320 - 108 550	118,5	<
516 050 - 107 420	115	<
520 880 - 105 700	110,5	<
522 520 - 105 020	108	<
519 410 - 106 960	108	12 2
524 620 - 104 600	104,5	<
517 200 - 107 230	104	<
522 800 - 104 240	102,6	<
518 940 - 106 700	102,5	<
520 920 - 107 400	100	<
519 700 - 105 930	100	12 2
519 930 - 106 710	100	12 2
515 990 - 106 980	99,2	3
521 020 - 105 580	98,8	<
520 340 - 108 200	98,5	<
520 960 - 107 500	98	12 2

Localisation géographique	Teneur Rn 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l
519 330 - 102 820	97	<
526 600 - 105 080	96,8	<
523 300 - 104 640	96,6	<
518 860 - 106 400	96,3	<
517 920 - 109 620	95	<
518 890 - 103 920	88,2	<
519 160 - 109 130	88	<
526 700 - 105 420	87,6	<
518 700 - 109 360	87,6	<
517 960 - 109 200	87	-
521 660 - 105 360	86,4	-
518 210 - 107 670	86	<
516 620 - 108 720	83	<
520 080 - 106 880	82,5	<
519 660 - 105 300	81,3	<
518 960 - 104 990	80,5	<
523 180 - 104 120	77,8	<
518 350 - 104 310	76,4	<
517 750 - 106 430	75,6	<
522 820 - 106 040	73	<
521 770 - 104 620	73	<
526 080 - 105 640	73	<
520 800 - 107 340	72,8	<
518 960 - 106 550	72,6	<
521 280 - 106 370	71,6	<
522 660 - 106 420	69,2	<
523 240 - 104 100	67,7	<
518 260 - 107 700	67,7	<
522 800 - 106 000	67,6	<
522 940 - 104 200	66,5	<
519 570 - 103 000	63,2	<
526 620 - 105 980	62,4	<
526 140 - 105 650	62	<
524 640 - 104 280	61,7	<
519 680 - 106 910	61,5	<
518 060 - 108 940	61,3	<
517 020 - 108 390	58,2	<
520 360 - 105 400	58,2	<
519 100 - 105 740	54,7	<
523 060 - 106 520	54,7	<
522 800 - 104 400	53,9	<
520 100 - 105 260	49,7	-
520 560 - 105 600	49,7	-
519 810 - 105 820	49,5	<
525 780 - 106 740	47,5	<
525 680 - 104 000	47,2	<
527 240 - 106 540	46,8	-
518 910 - 105 360	46,7	<
518 340 - 109 630	46,5	<
518 940 - 106 800	46	<
525 750 - 105 140	45,3	<
518 040 - 109 800	45	-
518 280 - 109 220	44,3	-
517 690 - 108 260	44,2	<
520 540 - 105 830	43,8	-
521 060 - 106 650	43,8	<
519 290 - 106 890	43,4	<
516 160 - 105 540	42,8	<

Localisation géographique	Teneur Rn 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l
519 940 - 104 640	42,5	<
519 960 - 105 330	41,6	<
518 830 - 106 360	41,2	<
522 940 - 104 420	41,1	<
515 790 - 107 190	40,8	-
515 880 - 106 720	39,5	-
517 950 - 105 820	39,3	-
525 380 - 104 340	38,8	<
522 700 - 106 060	37,5	<
519 420 - 104 740	36,7	<
519 860 - 105 720	36,3	<
516 520 - 108 600	36,3	<
519 270 - 108 460	36,3	<
517 100 - 106 560	36	<
518 970 - 108 280	35,5	<
517 630 - 107 970	34,4	<
520 620 - 107 550	34,3	<
520 150 - 105 080	34	<
522 840 - 104 080	33,5	<
517 910 - 109 750	32,8	<
521 930 - 104 320	31,8	-
519 300 - 108 330	31,8	-
518 600 - 104 900	30,3	-
525 520 - 104 300	29	-
517 100 - 109 450	26,6	<
522 500 - 106 450	25,7	<
517 840 - 110 870	24,7	<
522 920 - 106 340	24,5	<
519 040 - 109 100	23,5	<
522 380 - 104 950	22,12	<
519 420 - 106 180	22,1	<
523 260 - 104 170	20,6	<
523 320 - 105 820	20,6	<
525 550 - 106 250	20,4	<
521 140 - 107 140	20,3	<
519 820 - 104 700	20,3	<
518 890 - 106 740	20	<
525 400 - 106 920	19,8	<
521 220 - 106 780	19,4	<
524 260 - 105 100	18,7	<
524 080 - 106 340	18,7	<
522 340 - 105 500	18,4	<
518 760 - 106 430	18,3	<
526 580 - 105 840	15,7	<
518 940 - 107 390	15,3	<
516 180 - 107 740	14,95	<
522 200 - 104 460	14,4	<
518 120 - 108 930	13,6	<
519 020 - 109 030	12,85	<
524 460 - 105 820	12,3	<
526 540 - 103 960	11,8	<
515 680 - 105 280	10,7	<
516 790 - 108 330	10,3	<
524 520 - 105 920	10,2	<
524 920 - 106 900	10,1	<
516 700 - 107 940	9,64	<
516 700 - 108 360	9,6	<
516 840 - 108 300	9,55	<

Localisation géographique	Teneur Rn 10^{-10} Ci/l	Radium 10^{-11} g/l
516 270 - 106 940	9,4	<
524 680 - 106 820	9,35	<
519 130 - 105 560	9	<
524 400 - 105 100	8,8	<
522 960 - 104 060	8,6	<
517 510 - 110 910	8,4	<
519 400 - 105 700	8,3	<
517 820 - 106 420	8,1	<
521 140 - 105 400	7,53	<
522 480 - 105 620	7	<
526 660 - 107 250	6,57	<
522 920 - 104 300	6,34	<
518 200 - 107 040	5,86	<
516 520 - 103 940	5,64	<
518 930 - 107 300	5,3	<
517 580 - 105 620	5,11	<
522 940 - 104 020	5,1	<
523 340 - 105 150	4,7	<
519 560 - 102 940	4,7	<
518 170 - 109 150	4,7	<
517 280 - 106 730	4,67	<
519 380 - 106 330	4,45	<
518 890 - 105 010	4,4	<
519 690 - 107 560	4,35	<
519 740 - 105 390	4,3	<
516 590 - 108 640	4,16	<
520 600 - 105 650	4,09	<
518 400 - 110 650	3,9	<
516 880 - 107 930	3,85	<
519 530 - 104 680	3,5	<
526 480 - 105 100	3,2	<
521 100 - 107 110	3,2	<
519 580 - 106 990	3,14	<
521 920 - 105 420	3	<
519 120 - 106 460	2,96	<
520 740 - 104 750	2,9	<
517 950 - 108 610	2,35	<
522 900 - 104 080	2,3	<
520 600 - 104 440	2,25	<
525 320 - 107 020	2,04	<
519 690 - 105 400	1,65	<
518 960 - 103 940	1,4	<
526 880 - 107 060	1,39	<
518 040 - 106 510	1,31	<
521 700 - 105 880	1,3	<
518 550 - 104 920	1,25	<
521 930 - 106 440	1,2	<
527 180 - 106 660	1,14	<
524 620 - 106 860	1,04	<
526 900 - 106 940	1,03	<
517 140 - 107 130	0,99	<
524 640 - 106 020	0,95	<
521 560 - 105 760	0,95	<
521 380 - 106 650	0,68	<
524 830 - 106 820	0,16	<

FIN