

Intérêt des mesures systématiques de la radioactivité au scintillomètre. L'exemple de l'île d'Ouessant (Massif armoricain) *

*Interest of systematic scintillometer
measurements of radioactivity:
example of Ushant island (Armorican massif)*

Louis CHAURIS (1)

Mots-clés : Radioactivité (Scintillométrie), Micaschiste, Granite, Leucogranite, Trondhjémite, Roche métasomatique (Tourmalinite), Analyse majeurs, Analyse éléments trace, Anatexie, Mylonitisation, Kaolinisation, Finistère (Ile Ouessant).

Résumé

La note souligne l'intérêt des mesures systématiques de la radioactivité, effectuées directement sur le terrain, au scintillomètre, présenté comme un outil de travail dans le cadre des levés de la carte géologique détaillée. Elle prend pour exemple l'île d'Ouessant (Finistère) où les mesures sur 73 sites, correspondant à vingt-deux formations, facilitent la discrimination entre les différents faciès d'un même ensemble, apportent des aperçus originaux sur les concepts d'héritage et de transformation pétrologique (métamorphisme, anatexie, processus deutériques, mylonitisation...), soulèvent même des problèmes restés inaperçus lors des investigations classiques.

Abstract

The paper draws attention to the interest of systematic measurement of radioactivity in the field by scintillometer, as a tool in detailed geological mapping. It takes as an example Ushant Island (Finistère), where measurements on 73 outcrops, corresponding to 22 formations, facilitate the discrimination between the different facies of the same unit, supply original views upon the concepts of heritage and transformation in petrology (metamorphism, anatexis, deuteritic processes, mylonitization,...), and raise problems not perceived during the classical investigations.

Les mesures systématiques de la radioactivité effectuées directement sur le terrain, à l'aide du scintillomètre, ne semblent guère utilisées en France lors des levés entrepris pour l'établissement des cartes géologiques à 1/50 000. Pourtant les informations chiffrées obtenues par cet appareil s'avèrent précieuses dans l'examen des différentes formations pétrographiques. En plus des données, intéressantes en elles-mêmes, sur la radioactivité des diverses roches, elles facilitent la discrimination entre les différents faciès d'un même complexe ; elles peuvent, dans certains cas, contribuer à la solution de problèmes pétrologiques, voire même soulever des questions insoupçonnées par les autres outils d'investigation. A titre d'exemple des possibilités de ce genre de mesures, la note présente les résultats obtenus à l'occasion des levés effectués à l'île d'Ouessant dans le cadre du Service de la Carte géologique de la France.

L'étude lithologique et structurale d'Ouessant établit (Chauris, 1966 et travaux inédits en cours) que l'île peut être, en première approximation, divisée en deux zones majeures (fig. 1) :

— **une zone méridionale.** Des micaschistes séricito-chloritiques ou muscovitiques, à almandin et staurotide, avec quelques minces niveaux d'amphibolite (métamorphisme mésozonal) constituent les formations les plus anciennes. Les micaschistes séricito-chloritiques sont recoupés par des intrusions sodiques (stocks et filons) à affinité trondhjémitique. Au sud de l'île, un granite à biotite — dit granite de Porzguen — injecte les micaschistes ;

— **une zone septentrionale.** Les éléments les plus anciens sont représentés par un complexe migmatitique — dit de Kenzi — (catazone), passant au nord à des

* Manuscrit reçu le 30 janvier 1991, accepté le 10 septembre 1991.

(1) Département des Sciences de la Terre, URA 1278, Faculté des Sciences, Université de Bretagne Occidentale, 29287 Brest Cedex.

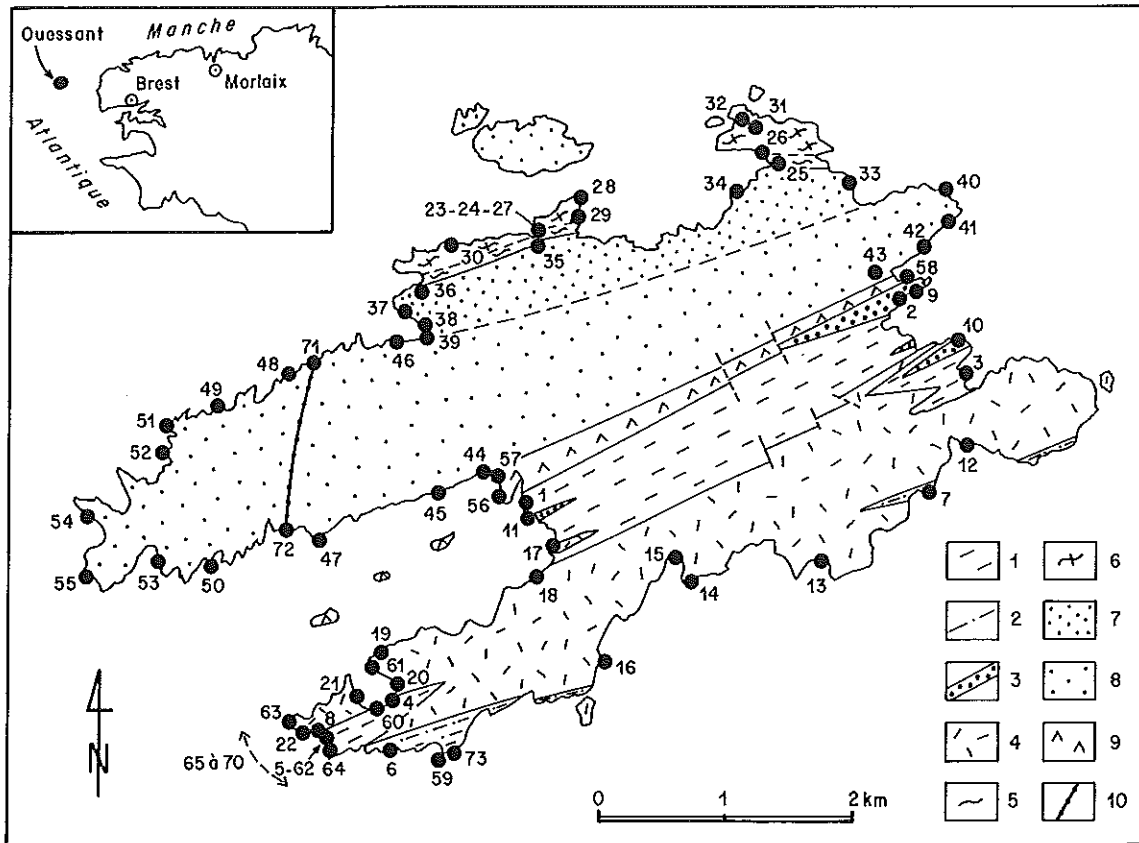


Fig. 1. - Esquisse géologique de l'île d'Ouessant (Chauris) et localisation des soixante-treize sites de mesures de la radioactivité au scintillomètre SPP2.

1. Micaschistes séricite-chloritiques. 2. Micaschistes à muscovite. 3. Intrusions sodiques à affinité trondhjémitique. 4. Granite à biotite de Porzguen. 5. Gneiss migmatitique de Kenzi. 6. Granites anatectiques de Yusin et de Kadoran. 7. Leucogranite de Beninou. 8. Leucogranite de Lokeltas. 9. Granite porphyroïde cataclastique de Lampaul. 10. Filon de microsyénite. Amphibolites ; cataclasites et mylonites ; filons de leucogranites tardifs et tourmalinites n'ont pas été figurés.

Fig. 1. - Geological sketch map of Ushant Island (Chauris) showing the location of the 73 sites where radioactivity was measured with an SPP2 scintillometer.

1. Sericite-chlorite micaschists, 2. Muscovite micaschists, 3. Sodic intrusions with trondhjemitic affinities, 4. Porzguen biotite granite, 5. Kenzi migmatitic gneiss, 6. Yusin and Kadoran anatectic granites, 7. Beninou leucogranite, 8. Lokeltas leucogranite, 9. Lampaul cataclastic porphyritic granite, 10. Microsyenite vein. Amphibolites; cataclasites and mylonites; veins of late leucogranite and tourmalinites are not shown.

granites anatectiques (Yusin, Kadoran) ; au sud, les migmatites sont en contact faillé avec le leucogranite de Beninou ; le leucogranite de Lokeltas (environ 310 Ma, Leutwein *et al.*, 1969) est intensément mylonitisé le long de sa bordure méridionale selon la direction WSW-ENE.

Ces deux zones — de niveau métamorphique nettement différent (micaschistes-migmatites) — sont séparées par une longue et étroite lame de granite porphyroïde rose potassique cataclastique. Les venues tardives sont représentées par des dykes et des filons de leucogranites à grain fin, souvent à tourmaline, des tourmalinites massives (Jérémine *et al.*, 1957), des filons de quartz et des filons de microsyénite. Il est possible que les leucogranites de la partie septentrionale de l'île apparaissent également, à assez grande profondeur, sous la partie méridionale de l'île. C'est à leurs émanations apicales que seraient rattachés les stocks et filons de leucogranites à grain fin responsables, à leur tour, de la tourmalinisation. Dans notre interprétation, le granite porphyroïde rose joue le rôle de granite de suture entre les deux zones majeures de l'île. Son origine,

comme celle des autres granites roses de Bretagne septentrionale (Barrière, 1977 ; Chauris, 1981) pourrait être relativement profonde (infra-crustale) alors que les autres granites d'Ouessant ont une source crustale. L'injection des filons microsyénitiques subméridiens vers 285 Ma (Bellon *et al.*, 1985) appartient à une évolution différente, postérieure aux mouvements directionnels cisailants, WSW-ENE, qui ont si fortement affecté l'île d'Ouessant.

L'appareil utilisé est un scintillomètre (du modèle SPP2), employé également par les prospecteurs d'uranium. Il comprend un scintillateur (substance qui émet une lueur à chaque impact de particule [iodure de sodium activé au thallium]) ; un photomultiplicateur qui transforme la lueur en impulsion de courant ; un appareillage électronique avec alimentation en tension continue du photomultiplicateur ; un blindage optique contre toute lueur parasite. Le contrôle de l'appareil s'effectue à l'aide d'une « pastille » de Cs¹³⁴ radioactif. La reproductibilité des mesures est bonne et les comparaisons entre les différents sites ne présentent aucune difficulté.

Nature pétrographique	Localisation des sites sur la fig. 1	Nombre de sites examinés	Radio-activité moyenne en C/S	Mesures ponctuelles en C/S	
				minimum	maximum
Micaschistes sérécito-chloritiques	1 à 5	5	119	96	138
Micaschistes muscovitiques	6 et 7	2	131	114	150
Amphibolite	8	1	52	45	60
Trondhjémite	9	1	47	42	54
Microtrondhjémite	10 et 11	2	31	21	42
Granite à biotite de Porzguen	12 à 22	11	169	120	270
Migmatites de Kenzi	Gneiss plagioclasiq.	23	111	108	114
	Septa gneissique	24 et 25	138	114	150
	Faciès anatectique	26 et 27	207	170	290
Granite anatectique	. à biotite (Yusin...)	28 à 30	175	130	210
	. à 2 micas et parfois tourmaline	31	116	90	150
	. riche en tourmaline	32	96	93	102
Leucogranite de Beninou	33 à 39	7	141	99	185
Leucogranite de Lokeltas	40 à 55	16	136	99	250
Granite rose cataclastique	56 à 58	3	250	200	400
Leucogranite tardif à 2 micas	59	1	133	120	170
Leucogranite tardif à muscovite	60 à 64	5	107	75	170
Tourmalinite	. intra-micaschisteuse	65 à 67	123	63	190
	. intra gr. Porzguen	68	173	90	240
	. intra-leucogranitique	69 et 70	76	63	81
Microsyénite	71 et 72	2	170	132	210
Quartz filonien	73	1	48	36	54

Tabl. 1. - Radioactivité des différents ensembles de l'île d'Ouessant mesurée sur le terrain au scintillomètre SPP2 (C/S = chocs par seconde).

Table 1. - Radioactivity of the different units on Ushant Island, measured in the field with an SPP2 scintillometer (CIS = counts per second).

Dans notre étude, chaque affleurement (ou « site ») examiné représente, selon les cas, la moyenne de 10 à 40 mesures ponctuelles ; cette manière d'opérer permet d'estomper les variations dues aux micro-reliefs (effet de paroi) et aux éventuelles anomalies locales. Selon l'habitude française, les résultats sont exprimés en chocs par seconde (c/s). Plus que par ses valeurs absolues, la méthode s'avère surtout intéressante par les comparaisons qu'elle offre immédiatement entre les différents ensembles du district examiné.

Les résultats des mesures de radioactivité sont reportés dans le tableau 1. Au total, 73 sites différents, représentatifs des diverses formations de l'île (au nombre de 22), ont fait l'objet de mesures. Pour chaque type de roches, le nombre des sites examinés correspond approximativement à la surface relative occupée par les affleurements des formations considérées ; seuls, font exception à cette règle, les leucogranites tardifs à muscovite et les tourmalinites, dont le volume est très restreint. La confrontation des résultats obtenus avec les données pétrographiques et structurales permet de formuler plusieurs remarques (fig. 1).

Forts écarts de radioactivité entre différentes roches

Les écarts notés entre certaines roches frappent dès l'abord. Deux pôles extrêmes ont été mis en évidence : les microtrondhjémites (radioactivité moyenne [= rm] : 31 c/s et le granite porphyroïde rose [rm = 250], soit un rapport de 1 à 8. Les écarts s'avèrent encore plus importants si l'on considère les mesures ponctuelles (minimum et maximum) : microtrondhjémite : 21 — granite rose : 400, soit une variation de 1 à 20. Cette première constatation montre que diverses roches peuvent être facilement séparées par leur radioactivité. L'examen du tableau 1 évite de multiplier les exemples.

Dans plusieurs cas, des variations ponctuelles assez importantes apparaissent au sein de la même formation pétrographique. De tels écarts indiquent (éventuel effet de paroi étant par ailleurs pris en considération) que les éléments radioactifs peuvent être irrégulièrement répartis dans un même ensemble. Ainsi se comprend la nécessité de multiplier les mesures (parfois plus de 40 par site) dans le cas de grandes variations ponctuelles.

Les roches sodiques à affinité trondhjémétique d'Ouessant se singularisent par une très faible radioactivité (moyenne de 36 c/s pour les 3 sites). Le fait paraît général, comme le suggèrent les recherches sur d'autres formations à affinité trondhjémétique du nord-ouest de la Bretagne (Chauris, travaux en cours). Ainsi, dans la région de Morlaix sensu lato, l'examen de neuf sites a montré un rm de 41 c/s (avec des moyennes de 29 à 47 selon les sites). A Ouessant, les filons microgrenus sodiques se distinguent immédiatement des filons microgrenus potassiques (microsyrénite) dont la rm (170 c/s) apparaît ainsi près de 5 fois supérieure. De même, près de Morlaix, les filons de microgranites potassiques se séparent facilement des intrusions sodiques voisines par leur radioactivité nettement plus élevée (153 c/s, moyenne de 2 sites). La faible radioactivité des intrusions sodiques à affinité trondhjémétique d'Ouessant peut refléter leur origine profonde par différenciation magmatique de roches basiques (cf. Barker, 1979) — dont les teneurs en éléments radioactifs sont toujours basses. A Ouessant, les seules manifestations basiques sont représentées par quelques lits d'amphibolite (anciennes coulées basaltiques ?) dont la radioactivité reste faible (52 c/s).

Les micaschistes de la zone sud et les septa gneissiques conservés dans les migmatites de la zone nord ne présentent guère de variations significatives : micaschistes séricito-chloritiques (119), micaschistes muscovitiques (131), septa gneissiques (138), gneiss plagioclasiques (111). Si l'on met à part les gneiss plagioclasiques dont l'origine reste difficile à préciser (anciens tufs ?), les micaschistes et les gneiss précités paraissent avoir une origine pélimitique à semi-pélimitique, où le zircon — ici principal porteur des éléments radioactifs — est hérité. Les anciens sédiments étaient relativement matures, d'où une certaine homogénéité dans leur composition et leur radioactivité.

Les formations anatectiques peuvent, dans certains cas, présenter une radioactivité sensiblement plus élevée et, surtout, plus irrégulièrement répartie. Cette inhomogénéité s'explique bien par l'anatexie où les remobilisations et les déplacements de matière sont caractéristiques du processus. On note, en règle générale, que les formations anatectiques à biotite ont une radioactivité sensiblement plus élevée (par exemple, à Yusin *sensu lato*, $rm = 175$, avec des variations ponctuelles de 130 à 210) que les formations anatectiques nettement leucocrates (par exemple, à Kadoran, $rm = 116$ (90 à 150) : cette différence est due essentiellement à la concentration préférentielle du zircon (porteur de Th et U) dans les biotites. A ce sujet, il n'est peut-être pas sans intérêt de noter (en l'absence de données analytiques sur Th et U) que les teneurs en zirconium à Yusin et à Kadoran sont respectivement de 258 et de 107 ppm (analyses BRGM). Toutefois, dans quelques cas, le néosome est sensiblement plus radioactif que le paléosome : ce fait suggère ici un porteur de la radioactivité (actuellement indéterminé) différent du zircon.

Le granite intrusif à biotite de Porzguen présente une radioactivité moyenne (169 c/s pour 11 sites), très proche de celle des granites anatectiques du district de Yusin *s.l.* (175). La composition chimique des deux ensembles est assez comparable tant en ce qui concerne les éléments majeurs que les éléments en traces. A titre d'hypothèse, la source du granite de Porzguen pourrait être recherchée dans la remise en mouvement par

anatexie des formations du type Yusin. En première approximation, la radioactivité du granite de Porzguen présente d'est en ouest une décroissance sensible (est = 194 ; centre = 172 ; ouest = 158 ; extrême ouest = 135) dont aucune observation pétrographique ou structurale n'est venue, à ce jour, rendre compte.

L'étude détaillée du leucogranite de Lokeltas conduit à présenter quelques observations.

a) Ce massif allongé constitue l'ossature septentrionale de l'île sur plus de 8 km. Il va en s'élargissant progressivement d'est (0,6 km) en ouest (au moins 1,6 km) ; sa bordure sud est fortement mylonitisée ; sur sa bordure nord, l'écrasement est nettement moins intense et reste localisé. Il présente fréquemment vers son extrémité occidentale des amas pluricentimétriques disséminés de tourmaline poecilitique. Les analyses chimiques indiquent une composition qui rappelle celle du granite anatectique à deux micas de Kadoran. Cette observation et l'aspect même de la roche laissent à penser que le leucogranite de Lokeltas pourrait représenter le terme ultime de l'évolution, en profondeur, du complexe anatectique du nord de l'île injecté ici, plus tardivement, dans une zone de discontinuité tectonique. Son allure en massue s'élargissant vers l'ouest suggère que le massif est particulièrement extravasé dans cette direction. Cette interprétation s'accorde avec le développement de la paragenèse pneumatolytique (tourmaline).

b) La radioactivité moyenne de 16 sites étudiés (tabl. 2) (136 c/s) présente, en fait, d'importants écarts dus en particulier : (1) à l'intense mylonitisation de la bordure méridionale ; (2) à une kaolinisation très localisée. Il apparaît que seul le faciès fortement mylonitisé offre une radioactivité nettement supérieure à la normale (avec des mesures ponctuelles atteignant 250 c/s) ; les faciès plus ou moins cataclastiques (écrasement en lames espacées) ne présentent pas de variations significatives par rapport aux faciès indemnes d'écrasement. Il existe donc un seuil au-dessus duquel l'accentuation de l'écrasement entraîne une sensible augmentation de la radioactivité (probablement circulation, puis dépôt de l'uranium déstabilisé — par la mylonitisation — dans les bandes très écrasées).

c) Indépendamment de l'écrasement et de la kaolinisation, il apparaît une différence significative entre une zone est, étroite (district du Stiff) : rm de 3 sites = 167 c/s et une zone ouest, large (district de Lokeltas stricto sensu) : rm de 9 sites = 124 c/s, qui coïncide approximativement avec le développement de la tourmaline dans le leucogranite. On notera par ailleurs la grande homogénéité des mesures à l'extrémité occidentale de la presqu'île de Lokeltas (cinq sites ayant donné respectivement 129, 126, 126, 124 et 130 c/s). Les mesures n'ont pu être effectuées dans la partie médiane du massif leucogranitique qui n'atteint pas la mer. [Sur le rivage affleure seulement le leucogranite de Beninou où l'on peut aussi — curieusement — distinguer au point de vue radioactivité une zone est (2 sites = 176 c/s et une zone ouest (5 sites = 128 c/s)].

Les leucogranites tardifs se classent en deux groupes. Les venues à deux micas (type Roc'h Hir), « précoces » sont caractérisées par une radioactivité plus élevée (133 c/s) que les filons hololeucocrates (souvent à tourmaline), plus récents (107 c/s). Dans ce dernier groupe, on note ainsi un abaissement sensible de la radioactivité

Localisation des sites sur la fig.1	Radioactivité moyenne en C/S	Mesures ponctuelles en C/S		Remarques pétrographiques ou structurales
		minimum	maximum	
40	165 [20]	120	200	Assez grossier, orienté
41	165 [17]	140	180	Ecrasement en lames
42	171 [12]	160	180	Très grossier, écrasement en lames
43	116 [10]	111	120	Faciès kaolinisé (carrière)
44	189 [22]	150	250	Mylonitisation intense
45	135 [15]	123	153	Ecrasé
46	118 [25]	105	135	Ecrasé
47	122 [12]	108	135	Ecrasement en lames
48	108 [20]	99	120	Grossier, orienté
49	116 [25]	105	141	Orienté
50	137 [17]	126	150	
51	129 [14]	123	144	Avec nids de tourmaline
52	126 [12]	117	132	
53	126 [15]	117	144	
54	124 [14]	111	141	
55	130 [20]	117	150	Avec nids de tourmaline

Tabl. 2. - Radioactivité du leucogranite de Lokeltas au scintillomètre SPP2 (C/S = chocs par seconde). Mesures indiquées d'est en ouest [] = nombre de mesures ponctuelles.

Table 2. - Radioactivity of the Lokeltas leucogranite measured with an SPP2 scintillometer (C/S = counts per second). Measurements indicated from east to west; [] = number of spot measurements.

par rapport au leucogranite du type Lokeltas (136) dont la différenciation ultime est présumée être à l'origine de ces filons.

Les tourmalinites d'Ouessant ont été décrites pour la première fois par E. Jérémme et A. Sandréa (1957). De nouvelles recherches (Chauris, travaux en cours) sur ces formations massives qui peuvent atteindre 2 à 3 mètres de puissance, ont permis de distinguer, dans le district de Feunteun Velen, trois types de tourmalinites selon la nature de la roche encaissante : tourmalinites intra-filons granitiques leucocrates ; tourmalinites intra-micaschisteuses, tourmalinites intra-granite de Porzguen. Dans tous les cas, les teneurs en bore sont très élevées et peuvent dépasser 20 000 ppm. Dans le premier type, la concentration du bore s'est effectuée au sein de la structure filonienne granitique elle-même, avec passage très rapide (sur 1 à 2 cm) du leucogranite à tourmaline disséminée à la tourmalinite massive. Dans le second type, les émanations borées, liées à l'ultime différenciation leucogranitique, se sont échappées du magma et ont pénétré dans les micaschistes antérieurement faillés et fracturés, voire disloqués. Dans le troisième type, comme dans le type précédent, la tourmalinisation a été favorisée par la fissuration. Les fluides borés ont intensément transformé les roches encaissantes à la faveur des fracturations, entraînant en particulier de fortes concentrations en fer (moyenne de cinq analyses de tourmalinites = Fe = 7,25 %) et en magnésium (Mg = 2,79 %). Le rapport Fe/Mg = 2,6 indique une tourmaline intermédiaire entre la schorlite et la dravite, avec dominante du pôle schorlite.

La radioactivité des tourmalinites du district de Feunteun Velen présente de fortes variations, tant en ce qui concerne les moyennes de chaque site examiné (6

(73 à 173 c/s) que les mesures ponctuelles sur chaque site (63 à 240 c/s). Ces différences sont évidemment en relation avec le pourcentage des minéraux radioactifs observés [zircon ; monazite ; apatite ; thorite (très rare, Jérémme *et al.*, 1957)]. La teneur en zirconium (le zircon est l'un des porteurs de Th et de U) des tourmalinites varie de 83 à 1 101 ppm.

Il apparaît une relation assez remarquable entre la radioactivité des roches encaissantes (micaschistes, granite à biotite de Porzguen, granite hololeucocrate) et la radioactivité des tourmalinites. (1) Tourmalinites intramicaschistes : 3 sites (moyenne 123 c/s) ; moyenne des micaschistes : 7 sites, également 123 c/s. (2) Tourmalinites intra-granite de Porzguen : 1 site (moyenne : 173 c/s, avec de fortes variations ponctuelles : 90 à 240) ; moyenne des 4 sites du granite de Porzguen situés dans le district des tourmalinites (147 c/s), avec de nettes variations ponctuelles : 120 à 190. (3) La comparaison est moins évidente pour les tourmalinites intra-leucogranitiques : deux sites (moyenne : 76 c/s) et les leucogranites encaissants (trois sites : moyenne : 108). A leur manière, ces données suggèrent que la nature de la roche encaissante a joué un grand rôle dans la composition des tourmalinites. Dans les cas (1) et (2), l'origine, au moins partiellement métasomatique de la tourmalinisation, s'accompagne d'une radioactivité héritée. La diminution de la radioactivité des tourmalinites intra-leucogranites tardifs indique par ailleurs que la concentration des fluides borés, au stade pneumatolytique de l'évolution tardi- à post-magmatique, n'a pas été accompagnée d'éléments radioactifs. La même constatation a été faite pour le leucogranite anatectique de Kadoran, où le développement de la tourmalinisation se traduit par une décroissance de la radioactivité (116 → 96 c/s).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	54,60	72,60	70,40	65,40	66,50	69,90	69,60	62,90	63,00
Al ₂ O ₃	21,70	17,30	17,60	16,70	15,30	15,60	14,80	17,00	15,30
Fe ₂ O ₃	7,60	<1,0	<1,0	3,20	2,10	<1,0	1,10	3,00	3,60
MnO	0,17	0,02	0,03	0,06	0,05	0,05	0,04	0,08	0,12
MgO	2,20	<1,0	<1,0	1,50	<1,0	<1,0	<1,0	1,00	1,70
CaO	<1,0	<1,0	1,0	2,40	1,80	<1,0	<1,0	2,30	2,70
K ₂ O	4,30	1,10	0,60	5,00	7,00	6,00	6,90	6,50	7,20
TiO ₂	0,80	0,12	0,11	0,47	0,36	0,07	0,11	0,44	0,50
Li	329	17	30	103	85	77	51	62	93
V	121	11	11	43	24	<10	<10	35	52
Cr	118	34	38	58	48	28	36	40	81
Ni	56	21	24	28	28	20	35	24	40
Cu	46	8	7	11	5	6	6	6	11
Zn	118	36	34	66	41	27	51	64	88
Sr	110	477	541	260	208	118	89	200	919
Ba	460	272	283	707	438	151	213	510	2613
La	46	<20	<20	41	43	<20	<20	55	59
Ce	104	<10	<10	81	95	10	18	114	128
Pb	47	26	30	46	54	55	47	55	91
Zr	188	149	124	218	258	107	269	466	439
C/S	119	47	31	169	175	116	136	250	170

Tabl. 3. - Composition chimique partielle de quelques roches d'Ouessant (Li à Zr en ppm) et radioactivité moyenne (en C/S) de ces différents ensembles pétrographiques. 1. Micaschiste. 2. Trondhjémite. 3. Microtrondhjémite. 4. Granite à biotite de Porzguen. 5. Granite anatectique à biotite de Yusin. 6. Granite anatectique à deux micas. 7. Leucogranite de Lokeltas. 8. Granite porphyroïde rose de Lampaul. 9. Microsyénite.

Table 3. - Partial chemical composition of several rocks from Ushant (Li to Zr in ppm) and average radioactivity (in C/S) of the different petrographic units. 1. Micaschist, 2. Trondhjemite, 3. Microtrondhjemite, 4. Porzguen biotite granite, 5. Yusin anatectic biotite granite, 6. Anatectic two mica granite, 7. Lokeltas leucogranite, 8. Lampaul pink porphyritic granite, 9. Microsyenite.

De même, l'extrémité occidentale du leucogranite de Lokeltas, souvent à nids de tourmaline poecilitique, offre, dans l'ensemble, une radioactivité inférieure à la moyenne du pluton (tabl. 2).

Le granite porphyroïde cataclastique de Lampaul est, de loin, la roche la plus radioactive de l'île d'Ouessant. Ce fait peut constituer un nouvel argument pour rapprocher ce granite de la ceinture des granites roses de Bretagne septentrionale, dont certains plutons sont caractérisés par une radioactivité élevée (Chauris, travaux en cours) : à l'île de Callot en baie de Morlaix, la radioactivité peut dépasser 300 et même 400 c/s ; dans le granite de Ploumanac'h, elle peut également dépasser 300 c/s et même, localement, 500 c/s.

Le quartz filonien présente des valeurs très faibles. En fait, l'expérience montre que seuls les filons quartzeux avec une minéralisation uranifère présentent des valeurs très élevées. A Ouessant, de telles occurrences n'ont pas été observées.

Conclusions

a) Causes des variations dans la radioactivité

Les mesures systématiques de la radioactivité au scintillomètre SPP2 fournissent des données chiffrées

sur un paramètre physique des différents ensembles pétrographiques, qui résulte de leur diversité chimico-minéralogique. Elles trouvent toutefois leur limite dans le fait que les sources de la radioactivité ne peuvent pas être déterminées. A défaut d'analyses sur les teneurs en éléments radioactifs (Thorium et Uranium), les résultats des mesures peuvent toutefois être éclairés par l'examen des roches au microscope, avec la mise en évidence des minéraux-porteurs (Coppens, 1973). Dans le cas d'Ouessant, le zircon et accessoirement la monazite et l'apatite, exceptionnellement la thorite, ont pu être déterminés. Le zircon — concentré essentiellement dans les biotites — paraît jouer un rôle majeur. Il rend compte des différences significatives entre granites anatectiques à biotite (type Yusin) et leucogranites anatectiques (type Kadoran), entre les granites à biotite (type Porzguen) et les leucogranites (type Lokeltas), entre les filons granitiques tardifs à deux micas (type Roc'h Hir) et les filons tardifs hololeucocrates à tourmaline... Le cas du potassium doit être également considéré. Son abondance relative peut aussi jouer un rôle non négligeable ; à ce sujet, on notera la faible radioactivité des intrusions sodiques à affinité trondhjémitique (K₂O = 0,98, moyenne de 5 analyses) ; la radioactivité déjà forte du granite porphyroïde de Porzpaül, très potassique (K₂O = 6,5 %) et de la microsyénite, également potassique (K₂O = 5,95 %, moyenne de 4 analyses (tabl. 3).

b) Héritage et transformations diverses

(métamorphisme, anatexie, processus deutériques, mylonitisation...)

Ces données fondamentales en pétrologie peuvent être également quelque peu appréhendées par les mesures de radioactivité. La radioactivité des sédiments pélitiques matures (actuels micaschistes) est en partie au moins héritée des fins zircons détritiques disséminés. Dans le cas des roches hautement métamorphiques, il semble bien que l'anatexie (avec séparation du néosome et du paléosome) introduise des redistributions locales significatives (cas des migmatites de Kenzi). Dans le cas des leucogranites, les importantes variations constatées peuvent être dues : 1) aux processus de différenciation magmatique ultime : la diminution de la radioactivité coïncide avec la tourmalinisation poeciloblastique ; 2) aux processus deutériques tardifs : la kaolinisation entraîne une décroissance de la radioactivité ; 3) aux processus d'écrasement post-magmatique : ici la radioactivité n'augmente qu'à partir d'un seuil élevé de mylonitisation. L'étude des tourmalinites a conduit à

préciser le concept d'héritage, qui appuie l'interprétation d'une genèse au moins *pro parte* métasomatique ; les fluides borés ne sont porteurs d'aucun élément radioactif.

c) Mise en évidence de faits insoupçonnés

Les mesures de radioactivité peuvent ainsi éclairer l'évolution pétrologique et étayer certaines interprétations. Dans quelques cas, elles soulèvent des problèmes restés jusqu'alors cachés aux investigations pétrographiques et structurales classiques. Elles obligent alors à affiner les observations et peuvent être le point de départ pour de nouvelles découvertes... Ainsi, à Ouessant, à quel facteur faudra-t-il attribuer la décroissance de la radioactivité d'est en ouest dans le granite de Porzguen ?

[Les analyses chimiques (BRGM) dont il est fait mention dans cet article seront publiées *in extenso* dans la notice de la carte géologique « île d'Ouessant » à 1/50 000 (Chauris) en cours de préparation].

Références bibliographiques

BARKER F. (1979). - Trondhjemites : definition, environment and hypotheses of origin. In : « Trondhjemites, dacites and related rocks », F. Barker, edit. Elsevier, pp. 1-12.

BARRIÈRE M. (1977). - Le complexe de Ploumanac'h (Massif armoricain). Thèse Univ. Brest, 291 p., 1 carte h.-t.

BELLON H., CHAURIS L., FABRE A., HALLEGOUET B., THONON P. (1985). - Age du magmatisme fissural tardi-hercynien, à l'extrémité occidentale du Massif armoricain (France). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 301, (2), pp. 297-302.

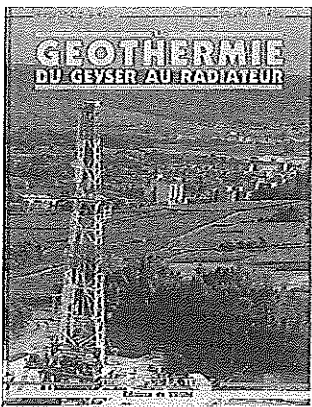
CHAURIS L. (1966). - Vue d'ensemble sur la géologie de l'île d'Ouessant (Finistère). *Bull. Soc. géol. minéral. Bretagne*, Nlle série, pp. 87-119.

CHAURIS L. (1981). - Une province stannifère : le Massif armoricain (France). *Chronique Recherche Minière*, 462, pp. 5-42.

COPPENS R. (1973). - Sur la radioactivité des granites. In : Les roches plutoniques dans leurs rapports avec les gîtes minéraux, pp. 44-61. Masson, Paris.

JÉRÉMINE E., SANDRÉA A. (1975). - Contribution à l'étude géologique de l'île d'Ouessant (microgranites et tourmalinites). *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, n° 252, pp. 1-7, 2 pl. h.-t.

LEUTWEIN F., CHAURIS L., SONET J., ZIMMERMANN J.-L. (1969). - Études géochronologiques et géotectoniques dans le Nord-Finistère (Massif armoricain). *Sci. de la Terre*, Nancy, 14, n° 4, pp. 329-358.

**LA GÉOTHERMIE du geyser au radiateur**

Jean-Michel COUDERT et Florence JAUDIN

Géothermie : le nom peut paraître barbare, il est seulement d'origine grecque : « Gé », qui veut dire Terre et « thermé » qui signifie chaleur. La géothermie concerne donc la chaleur de la Terre. D'où provient-elle, que peut-on en faire, comment peut-on l'utiliser, quel est son avenir, telles sont les principales questions auxquelles ce livre répond.

L'énergie géothermique, cette fausse énergie nouvelle utilisée bien avant le charbon ou le pétrole, est quelque peu méconnue par rapport à l'énergie solaire ou à l'énergie nucléaire. L'impact de l'énergie géothermique, au niveau mondial, ne sera jamais très important mais localement il peut être significatif.

Cet ouvrage se veut plus un point de départ, un livre d'initiation que la somme des connaissances dans le domaine de la géothermie.

Prix 95,00 F + 30 F de frais de port et d'emballage

En vente chez votre libraire habituel ou à défaut aux :

Éditions du BRGM, BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France. Tél. 38 64 30 28
accompagné de votre titre de paiement.

LES FORMATIONS PALÉOGÈNES ÉVAPORITIKES DU BASSIN POTASSIQUE DE MULHOUSE ET DES BASSINS PLUS SEPTENTRIONAUX D'ALSACE

par Marie-Madeleine BLANC-VALLERON

Les sédiments évaporitiques d'âge Eocène supérieur à Oligocène inférieur d'Alsace (bassins de Mulhouse, Sélestat, Strasbourg et Pechelbronn - Haguenau - Rastatt) se sont déposés, en contexte de rift, sur de grandes épaisseurs (1 700 m environ pour le bassin de Mulhouse). Leur étude bénéficie des nombreuses données de subsurface disponibles (recherches minières et pétrolières) et intègre les résultats de diverses analyses minéralogiques, géochimiques, pétrographiques, paléontologiques, stratigraphiques et cartographiques.

1 - Dès la base du Salifère inférieur, dont l'épaisseur peut avoisiner 900 m, la subsidence joue un rôle fondamental. Les produits de l'altération de la couverture mésozoïque se sédimentent conjointement avec des dépôts évaporitiques dont l'importance s'exprime pleinement lors de la formation du sel I. Les fossiles, très peu abondants et diversifiés, ne témoignent que d'eaux douces malgré l'abondance des évaporites, en particulier la halite, dans la partie centrale plus subsidente des bassins (schéma de type cuvette). Dans la partie supérieure du Salifère inférieur (Marnes vertes II + Sel II), alors que le bassin de Mulhouse se structure, les fossiles deviennent légèrement plus abondants mais sont toujours, dans leur majorité, caractéristiques d'eaux douces. Les données analytiques, généralement très ponctuelles, ne permettent pas de caractériser précisément le milieu de sédimentation.

2 - Le Salifère moyen peut atteindre 320 m d'épaisseur. A la base, le Sel III marque, pour le bassin de Mulhouse, l'amorce de modifications majeures du milieu de sédimentation: on note, tout à la fois, l'apparition d'organismes saumâtres, de micro-organismes marins et d'anhydrite stratifiée; parallèlement, les valeurs du brome dans la halite sont beaucoup plus élevées que dans le Salifère inférieur sous-jacent et les valeurs de Carbone organique total (COT) atteignent un premier maximum. Le bassin de Mulhouse se différencie, alors, des autres bassins du fossé rhénan par la présence de bancs de halite. La partie supérieure du Salifère moyen (Zone fossilifère), en revanche, présente des caractéristiques assez semblables sur l'ensemble du fossé qui communique, à ce moment là, avec un domaine marin.

3 - Le Salifère supérieur peut atteindre 630 m d'épaisseur. La base (Sel IV) n'est halitique que dans le bassin de Mulhouse où l'on trouve les deux couches potassiques exploitées (sylvite); par rapport à la Zone fossilifère, on note des valeurs en COT plus élevées (deuxième maximum) mais une moins grande richesse en fossiles. Toutefois, l'existence de rares niveaux à nannoplancton calcaire ou à dinokystes, ainsi que l'évolution des valeurs du brome dans la halite, permettent encore d'envisager une liaison avec un domaine marin. La partie moyenne (Sel V) est remarquable par une activité accrue des failles synsédimentaires. Les apports détritiques grossiers à partir des bordures augmentent d'importance et, progressivement, l'extension des bancs de halite se réduit à la partie centrale des bassins, tandis que les valeurs en brome de la halite et en COT des passées argilo-carbonatées diminuent. La partie supérieure (Marnes sans Sel) correspond à la disparition des conditions évaporitiques, avec des épaisseurs maximales en bordure de la faille rhénane, montrant à nouveau le rôle fondamental de la tectonique dans le remplissage du bassin.

Les caractéristiques générales du Paléogène évaporitique d'Alsace sont synthétisées. Les mécanismes de contrôle de la sédimentation saline sont ensuite abordés à travers les relations évaporites - climat et évaporites - subsidence. Puis les données relatives à l'origine marine ou continentale des sels sont discutées.

A thick evaporitic series of Upper Eocene to Lower Oligocene age has been deposited in the Mulhouse, Sélestat, Strasbourg and Pechelbronn - Haguenau - Rastatt Basins (Alsace France), which belong to the Western European intracontinental rift system. Its study is particularly well documented due to extensive potash and petroleum researches and includes the results of numerous mineralogical, geochemical, petrographical, paleontological, stratigraphical and cartographical analyses.

1 - From the beginning of the Lower Salt deposition (≤ 900 m thick), subsidence is a major factor. But data are too scarce to characterize precisely the sedimentation environment. 2 - The Middle Salt (≤ 320 m thick) shows, from the basis, important changes in sedimentation environment; for example apparition of brackish and marine organisms. In the upper part (Fossiliferous Zone) the basins are linked to a marine realm. 3 - The Upper Salt (≤ 630 m thick) is halitic, first in the Mulhouse basin (Salt IV, with two metric potash seams), then (Salt V) in the central part of all the alsatian basins. During Salt V, synsedimentary faults are more active and detritism increases. Then (Marls without Salt), evaporitic conditions disappear progressively.

In the vicinity of potassic beds, Total organic carbon (TOC) values of the marly layers interbedded with stratified anhydrite can be high and fluctuate in a rhythmic manner with the lithological variations. The control mechanisms of the halitic sedimentation are analysed through the relations evaporites - climate and evaporites - subsidence. Then, data relative to the marine or continental origin of halite are discussed.

Document du BRGM n° 204

Prix de vente : 500 F + 30 F de frais de port et d'emballage

En vente chez votre libraire habituel
ou à défaut aux :
Éditions du BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. : 38 64 30 28
accompagné de votre titre de paiement