

LA TENEUR EN OR DU BATHOLITE DE FLAVRIAN, ROUYN-NORANDA, QUÉBEC

GUY PERRAULT, LOUIS SABOURIN ET PIERRE TRUDEL

Département de génie minéral, École polytechnique, Case postale 6079, succursale A, Montréal, Québec H3C 3A7

SOMMAIRE

Le batholite de Flavrian (ca. 120 km²) est un complexe intrusif felsique pré- ou syn-tectonique dans la séquence volcanique du Groupe de Blake River, Rouyn-Noranda, Québec. Il est constitué 1) de diorite quartzifère, 2) de tonalite et de roches hybrides, 3) de trondhjémite et 4) de brèches tonalitiques, toutes comagmatiques. Il est recoupé par des diorites tardives et par la brèche de St-Jude. Ces roches ont des teneurs Au lognormales: médiane à 0.7 ppb Au, P₁₆ à 0.2 et P₈₄ à 2.5 ppb Au. La trondhjémite est la principale lithologie du batholite (80%); les propriétés statistiques de la distribution Au sont donc principalement celles de la trondhjémite, mais les quelques analyses des autres roches intrusives donnent des teneurs du même ordre. Le batholite de Flavrian ne saurait constituer une roche source pour l'or des gîtes avoisinants; les teneurs primaires sont jugées trop faibles et l'or est vraisemblablement contenu dans la structure du plagioclase et n'est pas facilement disponible pour solutions hydrothermales. La faible teneur en or du batholite de Flavrian impose une restriction importante aux modèles génétiques; puisque l'or n'est que peu appauvri en différenciation magmatique ou en fusion partielle, le matériau d'origine ne pourrait avoir contenu beaucoup d'or. Les roches tholéïtiques de la ceinture volcaniques de l'Abitibi contiennent généralement moins d'or que les roches calco-alcalines; il est possible que les séquences volcaniques tholéïtiques de la base du Groupe de Blake River soient faibles en Au et soient alors à l'origine du batholite de Flavrian par fusion partielle.

Mots-clés: or, batholite de Flavrian, métallogénie, Rouyn-Noranda, Québec, trondhjémite, roches granitiques, diorite quartzifère.

ABSTRACT

The Flavrian batholith (120 km²) is a pre- or syntectonic felsic complex intruded into Archean volcanic rocks of the Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Quebec. It is made up of 1) quartz diorite, 2) tonalite and hybrid rocks, 3) trondhjemite and 4) tonalitic breccias, all comagmatic. It is cut by late diorites and by the St-Jude breccia. Rocks have a lognormal Au distribution: median at 0.7 ppb Au, P₁₆ at 0.2 and P₈₄ at 2.5 ppb Au. Trondhjemite comprises 80% of the batholith; statistical properties of the above Au distribution are thus principally those for trondhjemite. However, the few analyses for other rock types show a similar pattern. The rocks are unlikely source-rocks for the Au in the neighboring deposits; primary Au contents are too low. The metal is likely fixed in the plagioclase structure and, thus, not readily available for hydrothermal solutions. The low concentration of gold in the Flavrian batholith imposes an important constraint on models for its genesis; since gold is only very slightly impoverished by mag-

matic differentiation or partial fusion, the original materials must not have held high concentrations. Tholeiitic rocks of the Abitibi greenstone belt generally contain less gold than calc-alkaline rocks; thus tholeiitic volcanic sequences from the base of the Blake River Group may contain very little gold and may thus be likely materials to generate magmas that formed the Flavrian batholith *via* partial fusion.

Keywords: gold, Flavrian batholith, metallogeny, Rouyn-Noranda, Quebec, trondhjemite, granitic rocks, quartz diorite.

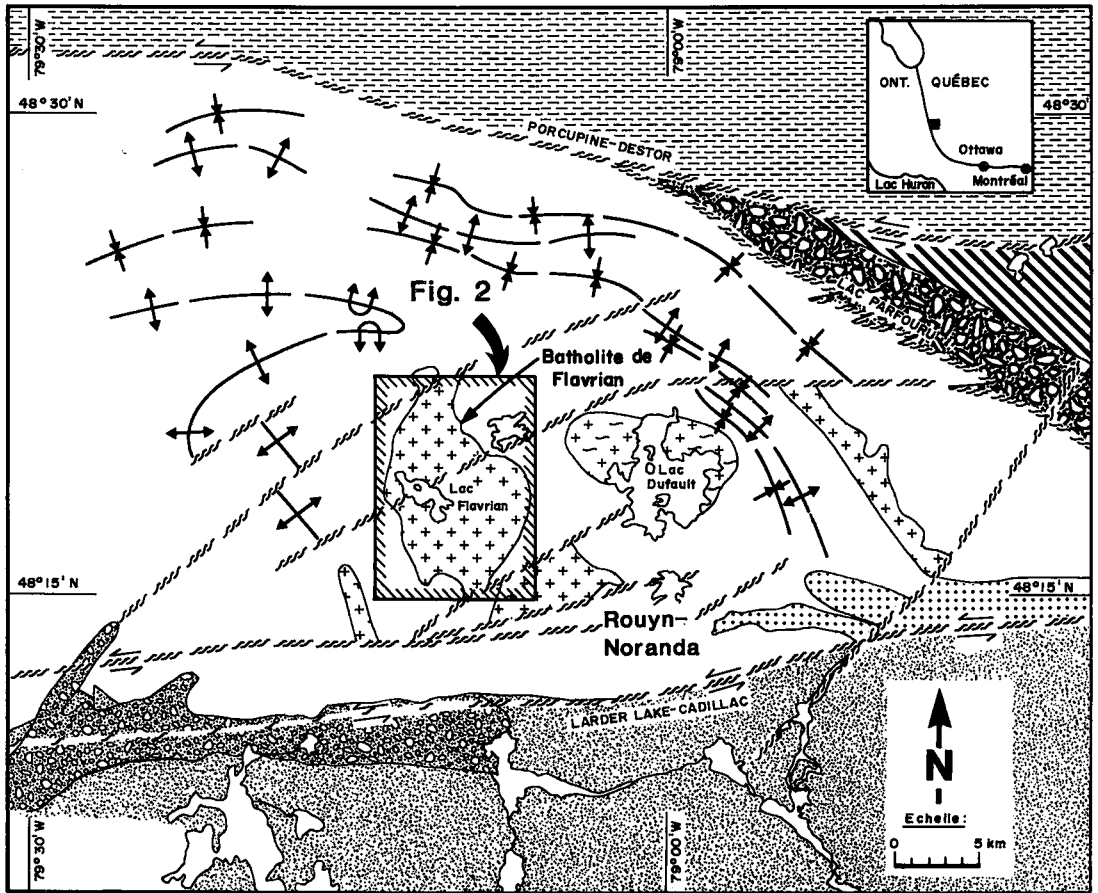
INTRODUCTION

Le batholite de Flavrian est une étendue de 120 km² de roches granitiques et tonalitiques de la région de Rouyn-Noranda au Québec. Deux gisements d'or (Eldrich et Elder) ont leur lieu à l'intérieur de ses limites, et deux autres gîtes sont dans sa bordure immédiate (Quesabe et Flavrian). Dans la note qui suit, nous faisons rapport sur la teneur en or des roches non-minéralisées du batholite de Flavrian; l'objet de notre recherche était de déterminer si la roche granitique ou tonalitique de ce pluton pouvait être une roche source pour l'or des mines avoisinantes.

CADRE GÉOLOGIQUE

Le batholite de Flavrian fait partie de la ceinture métavolcanique de l'Abitibi. Cette ceinture d'âge archéen (ca. 2.7 Ga) est constituée de roches volcaniques et sédimentaires que traversent de nombreux massifs intrusifs, le tout s'étendant sur environ 600 km de longueur (E-O) par 250 km de largeur (N-S). Le métamorphisme régional a transformé ces roches surtout aux faciès préhnite-pumpellyite et schistes verts, mais aussi au faciès amphibolite au pourtour des principaux batholites (Jolly 1978).

Les roches volcaniques de la région de Rouyn-Noranda font partie du Groupe de Blake River, qui se divise en séries tholéïtiques (en périphérie surtout) et en séries calco-alcalines plus volumineuses (au centre du complexe). Les séries tholéïtiques sont dominées à la base par des basaltes contenant quelques rares horizons rhyolitiques, tandis qu'au sommet de la stratigraphie, ce sont les andésites qui dominent. Les séries calco-alcalines sont, pour leur part, formées de plusieurs séquences d'andésite et de roches pyroclastiques felsiques (Gélinas *et al.* 1984).



Protérozoïque



9



6



3

Archéen



8



5



2



7



4



1

FIG. 1. Carte géologique centrée sur le Groupe de Blake River, Rouyn-Noranda, Québec. 1 Kinohévis, basaltes et gabbros; 2 Malartic, basaltes et roches ultramafiques; 3 Blake River, basaltes et rhyolites; 4 massifs intrusifs pré- ou syn-tectoniques; trondhémite; 5 massifs intrusifs post-tectoniques; granodiorite; 6 Cadillac: conglomérats, grès; 7 Kewagama: grauwwackes; 8 Pontiac: grauwwackes; 9 Cobalt: conglomérats. D'après Gélinas *et al.* (1984).

Deux failles majeures traversent la région et contrôlent partiellement la distribution des roches sédimentaires: il s'agit de la faille Porcupine-Destor, qui constitue en partie la limite nord, et de la faille Larder Lake-Cadillac, constituant par endroits la limite sud du Groupe de Blake River (Fig. 1). La tectonique de la région semble avoir été contrôlée par un

coulissage senestre («wrench-fault tectonics») le long de ces deux failles, et subséquentement, par une compression N-S perpendiculaire à ces fractures majeures (Hubert *et al.* 1984). Les déformations apparentes sont deux systèmes de plis précoces orientés ONO-ESE et E-O de même qu'une série de failles normales et inverses orientées à 45° et 60°.

Les roches intrusives du Groupe de Blake River forment deux suites principales (Fig. 1): 1) une suite trondhjémitique-tonalitique, métamorphosée en partie, paraconcordante avec la stratigraphie (aspect de filon-couche) et associée aux séries volcaniques calco-alcalines du centre du complexe comme par exemple, le batholite de Flavrian, et 2) une série granodioritique plus récente recoupant la stratigraphie, comme par exemple la granodiorite de Dufault (Gélinas *et al.* 1984). On interprète (*e.g.*, Goldie 1976, Gélinas *et al.* 1984) la première suite comme pré- ou syn-tectonique et la seconde comme post-tectonique. Des roches intrusives tardives (*ca.* 2.2 Ga, diabase) forment des dykes de direction 45° mais aussi N-S, de pendage vertical et de faible puissance (5-50 m); ils ne sont pas représentés sur la Figure 1.

La région de Rouyn-Noranda est l'un des principaux camps miniers de l'Abitibi; les sulfures massifs de Cu-Zn avec Au et Ag de même que les veines de quartz aurifères y forment les principaux gîtes économiques.

LE BATHOLITE DE FLAVRIAN

Le batholite de Flavrian résulte d'une intrusion pré- ou syn-tectonique dans les roches volcaniques du Groupe de Blake River. Les roches intrusives du batholite sont: 1) les diorites quartzifères (Unité Méritens), 2) les tonalites et les roches hydrides, 3) les trondhjémites et 4) les brèches tonalitiques. Ces roches intrusives sont recoupées par des diorites tardives et par la brèche de St-Jude. Les études les plus

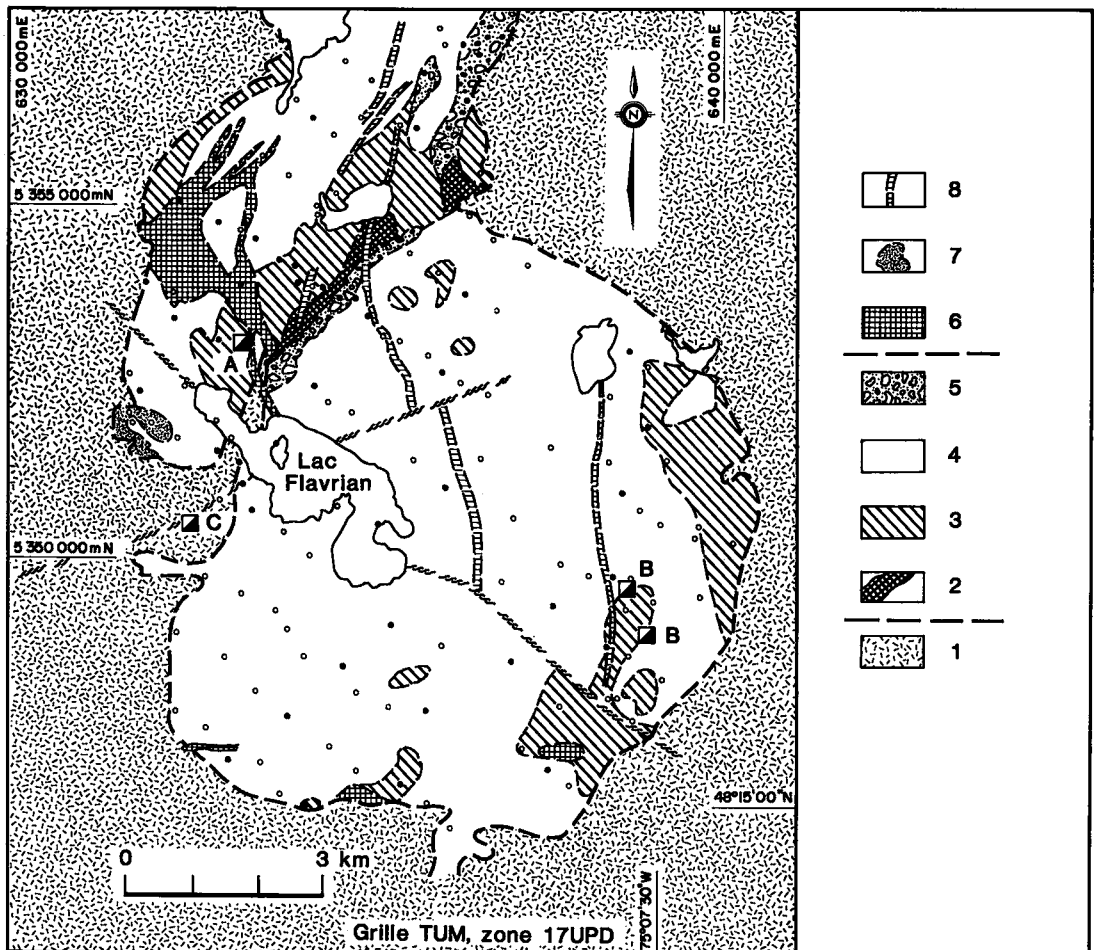


FIG. 2. Le batholite de Flavrian. Roches encaissantes: 1 roches volcaniques du Groupe de Blake River. Roches intrusives principales: 2 diorite quartzifère (unité Méritens), 3 tonalite et roches hydrides, 4 trondhjémite, 5 brèche tonalitique. Roches intrusives tardives: 6 diorite, 7 brèche de St-Jude, 8 diabase. Cercle plein: échantillon avec analyse AANR; cercle vide: échantillon avec analyse AANI. A mine Eldrich, B mine Elder, C mine Quesabe. Carte géologique d'après les informations de SOQUEM.

récentes du batholite de Flavrian sont celles de Goldie (1976, 1978, 1979), Paradis (1984), Kennedy (1984) et Sabourin (1986).

L'interprétation de la séquence lithologique varie peu d'un auteur à l'autre (Fig. 2). La diorite quartzifère (2) est acceptée par tous les auteurs comme étant l'unité la plus ancienne du batholite. Elle est suivie par la tonalite et ses roches hybrides (3) puis par la trondhémite (4), principale constituante de l'étendue intrusive. Une interaction complexe entre les magmas trondhémite et tonalitique a permis la formation de la brèche tonalitique (5).

L'intrusion de la diorite tardive (6), la mise en place de la brèche intrusive de St-Jude (7) et les dykes de diabase (8) appartiennent à des cycles magmatiques plus récents.

PÉTROGRAPHIE

La diorite quartzifère, la plus ancienne des roches intrusives du batholite, contient plagioclase, quartz, actinote, hornblende, épidote et minéraux opaques (Tableau 1). Son grain cristallin est fin (1 mm). Son plagioclase est de l'albite couverte de clinozoïsite, résultant probablement de l'altération isochimique d'un plagioclase plus calcique à l'origine. Le quartz est interstitiel et plus fin ($\bar{d} \approx 0.2$ mm); il est fréquemment craquelé et contient du plagioclase et des minéraux ferromagnésiens dans ses fractures.

Les tonalites sont indissociables des roches hybrides sur le terrain. Les tonalites contiennent les mêmes minéraux que la diorite quartzifère en proportions différentes; en plus, elles contiennent de la stilpnomélane (Tableau 1). Leur grain cristallin est moyen ($\bar{d} \approx 1.5$ mm); leur plagioclase est altéré en clinozoïsite. Le quartz est interstitiel ($\bar{d} \approx 1$ mm) et occasionnellement poecilitique ($\bar{d} \approx 5$ mm), contenant des inclusions de plagioclase et de minéraux ferro-

magnésiens. Le caractère distinctif des tonalites relève de la texture des amphiboles: agrégats ramifiés de cristaux allongés de hornblende. Les *roches hybrides* sont constituées de diorite quartzifère, tonalite et trondhémite en proportions variables et en contact franc ou graduel (Goldie 1978).

La trondhémite constitue l'unité qui est de loin la plus répandue des roches intrusives du batholite de Flavrian (Fig. 2), et ses affleurements en définissent le relief accidenté. Son aspect et sa granulométrie (\bar{d} 1 à 7 mm) sont variables. Nous utilisons le terme *trondhémite* dans le sens de Streckeisen (1976): prédominance de feldspath plagioclase (albite ou oligoclase), 20% ou plus de quartz, 10% ou moins de feldspath potassique et 10% ou moins de minéraux ferromagnésiens. Les textures suivantes sont courantes dans la trondhémite: granitique, granophyrique, porphyrique (phénocristaux de plagioclase) et glomérophyrique (phénocristaux de quartz). L'épidote se retrouve occasionnellement en boules de quelques cm ou en veines.

Les brèches tonalitiques contiennent des fragments subanguleux à arrondis de tonalite surtout mais aussi de diorite quartzifère, dans une trame trondhémite. Les fragments sont généralement de taille importante (\bar{d} de 0.5 à 5 mm).

Pour Paradis (1984), il ne fait pas de doute que trondhémites, tonalites, roches hybrides et gabbros (Unité Méritens, *i.e.*, notre diorite quartzifère) sont comagmatiques. Les observations géochimiques portant sur les éléments traces montrent une augmentation de Nb, Zr et Y de «gabbro» vers trondhémite et l'inverse pour Ti, Sr, Rb et Ba. Les rapports Zr/Y, Y/Nb et Rb/Sr sont constants. Paradis (1984) utilise les arguments cartographiques et géochimiques pour promouvoir un modèle pétrogénétique fondé sur le mélange entre deux magmas: un magma felsique produit par la fusion partielle (10 à 15%) d'une

TABLEAU 1. COMPOSITION MODALE ET TEXTURES DES ROCHES DU BATHOLITE DE FLAVRIAN

LITHOLOGIES (no sur la fig. 2)	Diorite quartzifère (2)	Tonalite (3)	Trondhémite (4)	Diorite (6)
MINÉRAUX ()				
Plagioclase	40 - 50	50 - 55	40 - 50	50
Quartz	5 - 15	20 - 25	40 - 50	
Actinote-hornblende	39 - 42	11 - 27	0 - 8	33
Épidote	Tr. - 3	1 - 2	0 - 8	
Stilpnomélane		0 - 7	0 - 3	
Chlorite			0 - 8	5
Pyroxènes				10
Opaques et acces.	2 - 3	1 - 2	0 - 2	2
TEXTURES OBSERVÉES	- massive - interstitielle	- interstitielle à agrégats mafiques allongés	- granitique - agrégats mafiques - porphyroïde - granophyrique - glomérophyrique	- Subophitique

croûte océanique épaisse ou épicontinentale et un magma mafique tholéiitique.

La diorite tardive (6 sur la Figure 2) est mésocrate, verte à grains assez fins ($\bar{d} \approx 1$ mm). Elle contient un plagioclase en prismes allongés, altéré en clinozoisite et des minéraux ferromagnésiens, surtout du pyroxène presque entièrement transformé en actinote, hornblende et chlorite. Ces cristaux de pyroxène forment de grandes plages (\bar{d} de 3 à 4 mm) d'apparence hypidiomorphe et contiennent des prismes de plagioclase (texture subophitique).

La brèche de St-Jude affleure sur une superficie très petite (< 1 km²) à l'extrême ouest de la partie centrale du pluton (Fig. 2). Elle est constituée de frag-

ments angulaires de taille variable (0.1 à 0.5 m; exceptionnellement 6 m) de diorite, d'andésite et de granite dans une matrice de microgranite aphanitique.

Il semble généralement admis que la diorite tardive appartient à un autre cycle magmatique. Quant à la brèche de St-Jude, son origine n'est pas claire; nous ne l'avons pas étudiée. Le Tableau 1 présente un résumé de la minéralogie et de la texture des principales roches du batholite de Flavrian.

ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSE

Le batholite de Flavrian affleure assez bien sur la

TABLEAU 2. CONCENTRATION DE L'OR (ppb) DANS LE BATHOLITE DE FLAVRIAN

Ech. No (3)	Au, ppb		Coordonnées Nord	TUM (1)		Est	lithologie (2)
	AANR	AANI					
			De 5 358 000 à 5 357 001		Croissant		
35			620	636 070			1G
34.2		29	380	140			1G
34.1	2.7		360	380			2T(h)
33		43	260	570			2Th
			De 5 357 000 à 5 356 001		Croissant		
83	0.3		340	634 280			1G
57	0.6		170	5 750			1G
56	1.7		950	5 850			2T(h)
60	1.0		560	6 430			2Th
			De 5 356 000 à 5 355 001		Croissant		
88	5.0		130	632 350			2D
			De 5 355 000 à 5 354 001		Croissant		
87	0.4		810	632 420			1G
85	0.0		580	3 480			1G
76	12.0		310	3 780			2T(h)
77	1.0		200	4 000			2T(h)
110	0.9		380	4 880			2T
50	0.2		5 000	36 150			2T(h)
			De 5 354 000 à 5 353 001		Croissant		
97	0.7		970	631 850			1G
96		22	790	2 260			2D
95	1.4		440	2 280			1G
67-(9.1)	20.7		120	2 730			2D
94	0.7		930	3 240			2D
91	0.5		980	4 040			2T(h)
93	3.1		650	4 210			2T
75	3.2		900	4 380			2T
74	0.3		760	4 630			2T
73	4.6		740	4 860			1G
72	1.3		490	5 020			1G
99	0.6		800	6 420			1G
134	0.1		000	9 780			1G
			De 5 353 000 à 5 352 001		Croissant		
3	1.3		360	631 780			1G
12		36	450	2 400			1G
44	1.0		470	4 280			1G
39	2.4		690	6 110			1G
41		17	360	6 760			1G
101		15	340	8 510			1G

Ech. No (3)	Au, ppb		Coordonnées Nord	TUM (1)		Est	lithologie (2)
	AANR	AANI					
			De 5 352 000 à 5 351 001		Croissant		
5		19	930	631 680			1G
9		34	710	2 300			1G
60-(37.4)	0.4		780	2 790			1G
60-(110.3)		21	780	2 790			1G
8	0.5		320	2 870			1G
10	0.5		360	3 190			1G
11	2.0		080	3 250			1G
43	1.2		640	3 740			1G
106	3.7		050	6 180			1G
132	0.6		920	9 050			2T(h)
			De 5 351 000 à 5 350 001		Croissant		
61-(15.2)		28	810	633 280			1G
61-(231)	0.7		810	3 280			1G
14	0.9		680	3 390			1G
48	0.1		500	5 210			1G
109	0.1		490	8 700			1G
			De 5 350 000 à 5 349 001		Croissant		
21		29	280	633 730			1G
29	0.2		090	5 380			1G
103	2.0		350	7 680			1G
121	0.1		800	8 550			1G
			De 5 349 000 à 5 348 001		Croissant		
23	0.1		460	634 720			1G
31	0.3		520	7 110			1G
124	0.1		760	8 490			1G
			De 5 348 000 à 5 347 001		Croissant		
63	0.3		120	633 110			1G
26	0.2		760	3 920			1G
28	3.7		830	5 910			1G
136	0.1		010	7 600			1G
			De 5 347 000 à 5 346 001		Croissant		
65		22	650	633 820			1G
66	2.8		490	4 210			2D
69	0.4		810	5 530			2Th

81 autres échantillons ont donné Au < 15 ppb à l'AANI. Détails dans Sabourin (1986). (1) zone 17 UPD, (2) lithologies: 2T Diorite quartzifère (MÉritens), 2T(h) Tonalite, 2Th Tonalite hybride, 2T Brèche tonalitique, 1G Trondhjemite. (3) Tous les échantillons à numéro composé [e.g., 67-(9.1)] proviennent de trous de forage; le numéro complet de SOQUEM comporte aussi le numéro de projet [e.g., 498-67-(9.1)], omis dans notre tabulation. Le chiffre entre parenthèses [e.g., (9.1)] correspond à la profondeur en m suivant le trou; le premier chiffre [e.g., 67] correspond au numéro SOQUEM du trou de forage.

presque totalité de la superficie qu'il occupe. Nous l'avons donc échantillonné surtout sur ses affleurements (139 échantillons); là où les affleurements faisaient défaut, des trous de forage étaient disponibles, et nous avons pu compléter l'échantillonnage par des prélèvements de demi-carottes (7 échantillons). Chaque échantillon de surface est un composite d'une masse de 2 à 4 kg constitué de blocs de roche aussi fraîche que possible; nous avons évité d'inclure les veines et veinules hydrothermales ou métamorphiques dans ces prélèvements. Certains échantillons de forage sont constitués des demi-carottes des trois premiers mètres du trou. Les lieux d'échantillonnage sont indiqués à la Figure 2; les coordonnées TUM pour chaque échantillon sont données au Tableau 2.

Nous avons apporté une attention particulière dans la préparation de la prise d'essai avant analyse afin d'assurer la représentabilité et d'éviter la contamination. La réduction de la grosseur des grains a été réalisée par concasseur à mâchoires et pulvérisateur à disques verticaux; en plus du nettoyage au jet d'air entre chaque préparation, nous «pré-contaminions» les surfaces actives des instruments par broyage ou pulvérisation d'une première fraction de l'échantillon que nous rejettons. La réduction de masse de l'échantillon (d'environ 3 kg à 2 g) s'est faite par diviseur à chicanes avec des précautions semblables.

La prise d'essai est exposée aux radiations du réacteur Slowpoke de l'Institut de Génie nucléaire de l'École polytechnique (flux de 10^{12} n/cm²/s). Pour l'analyse par activation neutronique, nous utilisons deux variantes: 1) AANI (analyse par activation neutronique instrumentale): exposition de la prise d'essai au flux neutronique du réacteur pour une heure, mesure de ¹⁹⁸Au (411.8 keV) au spectromètre γ pour une durée d'environ 100 minutes. La réduction et l'interprétation des données ont conduit aux propriétés statistiques suivantes: seuil de détection de 15 ppb Au, σ_{inst} mesuré de 3 ppb Au où σ_{inst} est l'erreur strictement fondée sur les valeurs des intensités pour le pic ¹⁹⁸Au et le bruit de fond. 2) AANR (analyse par activation neutronique radiochimique): exposition de la prise d'essai au flux neutronique du réacteur pour une heure, mise en solution de la prise d'essai RADIOACTIVE, séparation de l'or sur acétate d'éthyle, comptage au spectromètre γ (environ 16 heures). Pour ces mesures, le seuil de détection est de 0.1 ppb Au, et σ_{inst} mesuré est de 0.06 ppb Au.

L'erreur d'échantillonnage ou de représentation n'est pratiquement pas mesurable; nous estimons toutefois qu'elle se traduirait par des écarts-types supérieures aux écarts-types instrumentaux et différents pour AANI et AANR puisque, pour des teneurs de plus de 15 ppb, l'or peut être sous forme de particules libres ou contenu dans des sulfures (ca. 2 ppm Au), alors que pour des teneurs de moins de 15 ppb,

l'or est surtout contenu dans le réseau cristallin des feldspaths. Notre expérience des cinq dernières années nous porte à estimer $\sigma_{\text{échant}}$ (AANI) à 6 ppb Au (15 + ppb) et $\sigma_{\text{échant}}$ (AANR) à 0.2 ppb Au (0 à 15) ppb).

Le lecteur comprendra que les mesures par AANR sont beaucoup plus coûteuses, vu les plus nombreuses et plus délicates manipulations du technicien et le temps de mesure instrumentale plus long. C'est pourquoi, des 131 échantillons ayant donné moins de 15 ppb Au à l'AANI, seuls 50 ont été repris par AANR.

La justesse de nos teneurs nous est connue par les mesures du matériau de référence USGS BHVO-1, basalte de Kilauea. Cinq mesures récentes par AANR de cet échantillon ont donné 1.37, 1.52, 2.34, 1.51 et 1.24 ppb Au pour une valeur moyenne de 1.60 ppb Au ($\sigma = 0.43$). Pour ce matériau, Gladney et Goode (1981) rapportent une valeur moyenne de 1.5 ppb Au ($\sigma = 0.3$) pour trois laboratoires participants.

RÉSULTATS

Des 146 échantillons prélevés, 131 ont donné moins de 15 ppb Au à l'AANI, soit 91%. On peut dès lors proposer une population Au à teneur normale très faible et 9% d'échantillons potentiellement anomaux. Dans certains cas, ces échantillons anomaux sont localisés dans le voisinage immédiat de gîtes d'or ou de lieux minéralisés; deux études en cours à l'École polytechnique, soit celle de Y. Méthot sur la mine Eldritch et celle de R. Gaulin sur la mine Elder, permettront de définir la nature des anomalies en Au autour de ces gîtes. Dans les propos qui suivent, nous interpréterons seulement les teneurs normales des roches.

Les teneurs AANR du Tableau 2 (50 au total) comprennent une seule valeur supérieure à 15 ppb Au (éch. 67-(9.1) à 20.7 ppb Au). Ces valeurs, portées sur un diagramme log ppb Au *versus* fréquence cumulée, échelle gaussienne (Fig. 3), définissent clairement une distribution Au lognormale: médiane à 0.7, P_{16} à 0.26 et P_{84} à 2.5 ppb Au. Il nous semble probable (et surtout utile) que ces échantillons pour lesquels la teneur surpasse 20 ppb Au soient anomaux; du moins leur teneur est au-delà de la cote P_{99} de la population normale.

La population de la Figure 3 (échantillons analysés par AANR) est dominée par la trondhjemite (34 sur 50). Par ordre d'abondance décroissante, les autres espèces pétrographiques de cette population sont représentées comme suit: tonalite 7, diorite 4, brèche tonalitique 1, diorite quartzifère 2, tonalite hybride 2. La moyenne géométrique des 7 échantillons de tonalite donne environ 0.9 ppb Au, donc pas de différence significative par rapport à la population globale. Il en est de même pour la diorite quartzifère (2 observations seulement). Par contre, nos cinq

observations sur la diorite tardive (5.0, 20.7, 0.7 et 2.8 par AANR; 22 par AANI) semblent indiquer que cette dernière peut avoir une teneur en Au plus élevée.

INTERPRÉTATION

Il y a beaucoup de mesures de concentrations de l'or dans des échantillons de roches intrusives felsiques dans la littérature récente (Boyle 1979, p. 38), mais il n'est pas facile d'utiliser ces mesures pour des comparaisons significatives pour au moins deux raisons. Premièrement, la justesse, la précision et le seuil de détection de ces mesures ne sont pas décrits. Souvent la technique analytique n'est même pas donnée. Tout nous porte à croire qu'un nombre important de mesures pré-1980 (voire même certaines mesures actuelles) donnent des concentrations Au trop élevées; notre expérience nous a déjà appris que les

mesures AANI plus faible que 15 ppb d'or donnent des valeurs supérieures aux mesures AANR, plus fiables. Deuxièmement, le contexte géologique des échantillons est rarement décrit. La proximité d'une zone minéralisée (anomalie) et la distribution des teneurs (normale, lognormale ou autre) ne sont pas données.

Pour les roches granitiques des ceintures volcaniques archéennes, les mesures de Kwong et Crocket (1978) et de Meyer et Saager (1985) sont bien qualifiées quant à leur justesse et leur précision. Un résumé de ces mesures est présenté au Tableau 3.

Kwong et Crocket (1978) considèrent ces valeurs normales pour une région non-minéralisée. Quant à Meyer et Saager (1985), ils affirment que les roches granitoides du Transvaal oriental ne constituent pas des sources potentielles pour des gîtes d'or.

Les roches intrusives du batholite de Flavrian contiennent presque la même quantité d'or que celle des plutons Stephen Lake et Régina Bay (région du lac

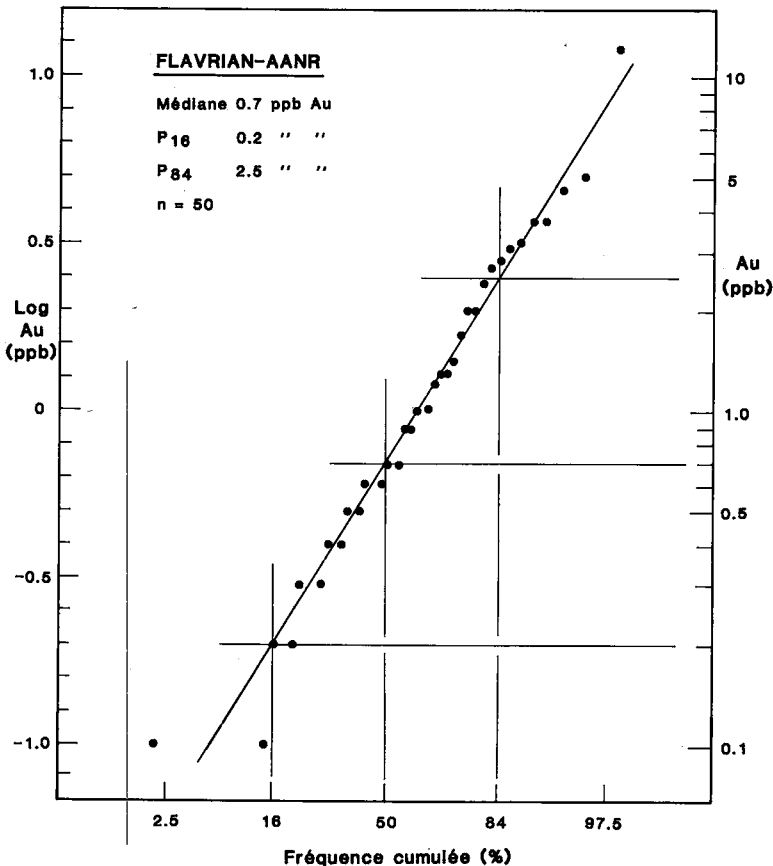


FIG. 3. Distribution log ppb Au versus fréquence cumulée (%), échelle gaussienne, pour les roches du batholite de Flavrian. Concentrations de l'or mesurées par activation neutronique radiochimique (AANR).

TABLEAU 3. TENEURS EN Au DES ROCHES INTRUSIVES FELSQUES

Roche	Au ppb	n	Lieu	Référence
felsique intrusive	0.6	9	Pluton Stephen Kakagi Lake, Ontario	Kwong et Crocket (1978)
felsique intrusive	0.5	9	Pluton Régina Bay Kakagi Lake, Ontario	Kwong et Crocket (1978)
tonalite	0.9	93	Transvaal oriental	Meyer et Saager (1985)
granodiorite	0.85	39	Transvaal oriental	Meyer et Saager (1985)
adamellite	0.85	52	Transvaal oriental	Meyer et Saager (1985)
syéno-granite	1.2	28	Transvaal oriental	Meyer et Saager (1985)

Kakagi, Ontario); à toute fin pratique, elles ont aussi les mêmes teneurs Au que les roches intrusives felsiques du Transvaal oriental. Sur la stricte base de leur très faible teneur en Au, nous ne croyons pas que les roches intrusives du batholite de Flavrian soient des roches intéressantes comme source d'or des gîtes Eldrich et Elder.

Plusieurs chercheurs (Davletov et Dzhakshibayev 1970, Kwong et Crocket 1978, Saager et Meyer 1984) ont étudié le comportement de Au en différenciation magmatique; leurs observations montrent que les produits felsiques tardifs d'une série différenciée sont légèrement appauvris en Au (e.g., basaltes 1.4 ppb Au, rhyolites 0.9 ppb Au: Kwong et Crocket 1978). Il est vrai que la trondhjémite de Flavrian contient peu d'or à 0.7 ppb, mais nos mesures sur les phases premières (diorite quartzifère de l'Unité de Méritens) ne sont pas suffisamment nombreuses pour nous permettre de conclure sur ce point; d'ailleurs cet appauvrissement en Au avec la différenciation magmatique est de faible amplitude.

Davletov et Dzhakshibayev (1970) ont mesuré l'abondance de l'or dans chacun des minéraux constituants de plusieurs roches granitoïdes du Carbonifère supérieur de la région de Chatkal (Tien Shan). Ils concluent que les feldspaths sont les principaux minéraux porteurs d'or de ces roches granitoïdes même si leurs teneurs en Au sont plus faibles (1 à 3 ppb), car ces minéraux sont les plus abondants (50 à 75%). Ils concluent aussi que la biotite est toujours un concentrateur d'or: elle contient en moyenne 7 ppb Au (2 à 50) et constitue environ 7% (1 à 20%) de la composition modale, soit près de 15% de l'or total de la roche. L'or des feldspaths et de la biotite serait essentiellement contenu dans leur structure atomique (Davletov et Dzhakshibayev 1970). Les roches intrusives felsiques de Flavrian (surtout la plus abondante, la trondhjémite) ne contiennent pas de bio-

tite, mais jusqu'à 8% de chlorite sans que la teneur en or soit affectée; il faut donc reconnaître que la teneur en Au est essentiellement celle de leur plagioclase et que la chloritisation n'a pas concentré l'or de façon significative.

Keys (1984) signale que, vis-à-vis la mobilisation pour la formation d'un gîte d'or, la nature du minéral porteur est plus importante que l'abondance absolue: l'or contenu dans la pyrite, par exemple, est facilement mis en solution, tandis que l'or des feldspaths, à toutes fins utiles, n'est pas mobilisable par les solutions hydrothermales (métamorphogéniques ou magmatiques résiduelles). Plusieurs centaines de mesures de la concentration du soufre, rapportées dans Goldie (1976), donnent $S < 0.01\%$ dans les roches, d'où l'or ne serait pas dans la pyrite mais bien dans les feldspaths; raison additionnelle pour conclure que les roches intrusives felsiques de Flavrian ne sont pas des sources potentielles de l'or des gîtes de la région.

Il ne faudrait pas conclure pour autant que tous les complexes granitoïdes pré- ou syn-tectoniques des ceintures volcaniques archéennes contiennent peu d'or. Des mesures préliminaires pour le batholite de Bourlamaque (région de Val d'Or, Québec) montrent que la normalité pour ce complexe atteint 21 ppb Au (Perrault 1985).

Paradis (1984) a proposé que le batholite de Flavrian peut être le produit de la cristallisation d'un mélange de magma felsique (fusion 10 à 15% de la pile volcanique de Blake River) et d'un magma mafique tholéiitique (voir ci-avant, sous le titre Pétrographie). Nos observations sur l'or suggèrent quelques restrictions à ce modèle: 1) les roches volcaniques du Groupe de Blake River contiennent généralement beaucoup d'or. Perrault *et al.* (1984) ont établi que les roches principalement calco-alcalines de la moitié supérieure du Groupe de Blake River dans la région de la mine Doyon (30 km à l'est) contiennent *normalement* 28 ppb Au. D'autres mesures non publiées de même espèce, réalisées par Perrault et Trudel sur des roches volcaniques du Groupe de Blake River dans la région de Rouyn-Noranda, montrent qu'il est vraisemblable que la fraction calco-alcaline de ces roches contienne beaucoup d'or (> 15 ppb Au). 2) Les observations de Perrault (1985) sur environ 500 échantillons de la ceinture métavolcanique de l'Abitibi montrent que de ces roches, celles qui sont calco-alcalines contiennent plus d'or que celles qui sont tholéiitiques (15 à 30 *versus* 2 à 5 ppb Au).

La fusion des roches calco-alcalines du Groupe de Blake River laisserait vraisemblablement plus d'or dans le produit de fusion que le 0.7 ppb Au observé dans les roches de Flavrian, puisque l'or n'est pas concentré ou appauvri en fusion partielle. La partie tholéiitique de la base du Groupe de Blake River contient moins d'or; il est plus vraisemblable que sa

fusion partielle laisse moins de 1 ppb Au dans le magma résultant, ce qui s'accorderait avec nos observations sur Flavrian.

CONCLUSIONS

1. L'ensemble des mesures Au par AANR sur les roches du batholite de Flavrian donne une distribution lognormale centrée sur 0.7 ppb Au (P_{16} à 0.2 et P_{84} à 2.5 ppb Au). Puisque 34 échantillons sur l'ensemble de 50 sont de trondhjémite, les paramètres statistiques de la population sont essentiellement ceux des trondhjémites; les quelques autres échantillons distincts ne nous permettent pas de prévoir des teneurs Au différentes pour les autres roches du batholite.

2. Les roches granitoïdes archéennes connues (Kwong et Crocket 1978, Meyer et Saager 1985) contiennent sensiblement la même quantité d'or, soit 0.8 ppb Au. Exceptionnellement, certains complexes granitoïdes contiennent beaucoup plus d'or (e.g., 21 ppb Au pour le batholite de Bourlamaque, Val d'Or, Québec: Perrault 1985).

3. Le modèle pétrogénétique de Paradis (1984) fait appel au mélange d'un magma felsique (fusion 10 à 15% de la pile volcanique de Blake River) et d'un magma tholéiitique. La partie tholéiitique de la base du Groupe de Blake River est un matériau de fusion plus probable que les parties calco-alkalines médianes car elle contient moins d'or, et il est connu que la fusion partielle a peu d'effet sur la teneur en Au; en fait, les roches intrusives felsiques contiennent généralement légèrement moins d'or que les roches mafiques comagmatiques.

4. Les roches intrusives felsiques de Flavrian ne constituent pas une source vraisemblable pour l'or des gîtes avoisinants parce que l'or y est trop peu abondant et parce que l'or est vraisemblablement contenu dans les feldspaths et comme tel, il n'est pas facilement mobilisable par les solutions hydrothermales. La diorite tardive ou les roches volcaniques calco-alkalines du Blake River sont des sources plus probables.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de fin d'études d'un des auteurs (L.S.). Nous tenons à remercier: la Société québécoise d'Exploration minière (SOQUEM) pour son appui financier et logistique à ce projet. Nous remercions tout particulièrement Jean Beaudin et Jean Lacasse, les responsables du projet Flavrian, pour l'intérêt porté et les nombreux échanges de vues. Nous remercions aussi le Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie (CRSNG) et l'École polytechnique pour une bourse d'initiation à la recherche (L.S.) et deux

conventions de recherche (G.P., convention A-1180 et P.T., convention A-0635) et le ministère de l'Énergie et des Ressources (Québec) pour une participation financière aux frais de recherche (convention IREM P83-21 à G.P.). Merci aussi aux collègues Pierre Sauvé, Richard Darling et John Ludden pour une lecture critique du manuscrit; un merci tout particulier à François Robert, du comité de lecture du Canadian Mineralogist, pour une critique très attentive et pour les nombreuses améliorations suggérées à notre texte. Nous remercions sincèrement le personnel du Laboratoire de Géochimie analytique et plus particulièrement Jean-Luc Bastien, responsable des analyses par activation neutronique, André Lacombe pour les dessins et Sylvia Morneau pour la dactylographie.

RÉFÉRENCES

- BOYLE, R.W. (1979): The geochemistry of gold and its deposits. *Geol. Surv. Can. Bull.* **280**.
- DAVLETOV, I.K. & DZHAKSHIBAYEV, SH. (1970): The mineral balance and the behaviour of gold during the emplacement of an intrusive body. *Geochem. Int.* **7**, 998-1005.
- GÉLINAS, L., TRUDEL, P. & HUBERT, C. (1984): Chemostratigraphic division of the Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Abitibi, Quebec. *Can. J. Earth Sci.* **21**, 220-231.
- GLADNEY, E.S. & GOODE, W.E. (1981): Elemental concentrations in eight new U.S.G.S. rock standards: a review. *Geostandards Newsletter* **5**, 31-64.
- GOLDIE, R.J. (1976): *The Flavrian and Powell plutons, Noranda area, Quebec*. Ph.D. thesis, Queen's Univ., Kingston, Ontario.
- _____ (1978): Magma mixing in the Flavrian pluton, Noranda area, Quebec. *Can. J. Earth Sci.* **15**, 132-144.
- _____ (1979): Consanguineous Archean intrusive and extrusive rocks, Noranda, Quebec: chemical similarities and differences. *Precamb. Res.* **9**, 275-287.
- HUBERT, C., TRUDEL, P. & GÉLINAS, L. (1984): Archean wrench fault tectonics and structural evolution of the Blake River Group, Abitibi Belt, Quebec. *Can. J. Earth Sci.* **21**, 1024-1032.
- JOLLY, W.T. (1978): Metamorphic history of the Archean Abitibi Belt. *Geol. Surv. Can. Pap.* **78-10**, 63-78.
- KEAYS, R.R. (1984): Archaean gold deposits and their source rock: the upper mantle connection. In *Gold '82: The Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits* (R.P. Foster, ed.). Balkema, Rotterdam.

- KENNEDY, L.P. (1984): *The Geology and Geochemistry of the Archean Flavrian Pluton, Noranda, Quebec*. Ph.D. thesis, Univ. Western Ontario, London, Ontario.
- KWONG, Y.T.J. & CROCKET, J.H. (1978): Background and anomalous gold in rocks of an Archean greenstone assemblage, Kakagi Lake area, northwestern Ontario. *Econ. Geol.* **73**, 50-63.
- MEYER, M. & SAAGER, R. (1985): The origin of gold in Archean epigenetic gold deposits. *Econ. Geol. Res. Unit, Univ. Witwatersrand, Inf. Circ.* **172**.
- PARADIS, S. (1984): *Le Pluton de Flavrian: Évolution Pétrologique, Géochimique et Relation avec les Roches Volcaniques du Groupe de Blake River, Abitibi, P.Q.* Mémoire M.Sc., Univ. Montréal, Montréal, Québec.
- PERRAULT, G. (1985): Prospection pour l'or par la mesure des distributions or, région de Noranda - Val d'Or, Québec. *Dans La Géochimie d'Exploration au Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, Rapport DV 85-11*, 51-66.
- _____, SAVOIE, A., TANER, M. & VIENS, M. (1984): Distribution of gold in host rocks around the Doyon mine No. 2 orebody. *Can. Inst. Mining Metall. Bull.* **77** (863), 92 (abstr.).
- SAAGER, R. & MEYER, M. (1984): Gold distribution in Archean granitoids and supracrustal rocks from southern Africa: a comparison. *In Gold '82: The Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits* (R.P. Foster, ed.). Balkema, Rotterdam.
- SABOURIN, L. (1986): *Étude de la Distribution de l'Or dans le Batholite de Flavrian*. Projet de fin d'étude de B. Ing., École polytechnique, Montréal, Québec.
- STRECKEISEN, A.L. (1976): To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.* **12**, 1-33.
- Reçu le 6 août, 1986, manuscrit révisé accepté le 7 janvier, 1987.*