

UNIVERSITE DU QUEBEC A CHICOUTIMI

STRATIGRAPHIE ET FACIES
DES ANDESITES AMULET,
PRES DE LA MINE NORBEC,
ROUYN-NORANDA, QUEBEC

PAR

PIERRE A. COUSINEAU

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION
DE LA MAITRISE ES SCIENCES APPLIQUEES

JANVIER 1980



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

TABLE DES MATIERES

	Page
Table des matières	ii
Table des hors-texte	v
Résumé	viii
1 Introduction	1
1.1 Description de la zone d'étude	1
1.1.1 Localisation	1
1.1.2 Relief	1
1.1.3 Accès	1
1.2 Travaux antérieurs	3
1.2.1 Zone d'étude	3
1.2.2 Laves coussinées	3
1.2.3 Organisation des coulées	5
1.3 Ce travail	6
1.3.1 Objectifs	6
1.3.2 Choix de la zone d'étude	7
1.3.3 Méthode de travail	7
1.3.4 Présentation du plan de travail	7
2 Lexique	9
3 Géologie générale	12
4 Stratigraphie	17
4.1 Cadre stratigraphique	17
4.1.1 Groupe de Blake River	17
4.1.2 Complexe Central de Noranda	18
4.2 Stratigraphie de la Formation Amulet	20
4.3 Stratigraphie de la Partie Nord de la Formation Amulet	22
4.3.1 Introduction	22
4.3.2 Critères d'identification des coulées	22
4.3.3 Unité 2A	23

4.3.4 Sections réinterprétées	24
4.3.5 Résultat des modifications	26
5 Faciès	32
5.1 Introduction	32
5.2 Faciès massif	32
5.2.1 Introduction	32
5.2.2 Coulées minces	32
5.2.3 Coulées épaisses	33
5.2.4 Mode de mise en place	34
5.3 Faciès coussiné	38
5.3.1 Introduction	38
5.3.2 Propriétés	38
5.3.3 Polygonisation des coussins	45
5.3.4 Observations de moindre importance	48
5.4 Faciès bréchique	52
5.4.1 Introduction	52
5.4.2 Brèche de coulée	52
5.4.3 Brèche d'effondrement	59
5.5 Tuf	62
6 Organisation des coulées	64
6.1 Introduction	64
6.2 Organisation des faciès d'une coulée	64
6.2.1 Organisation générale	64
6.2.2 Organisation particulière	66
6.3 Organisation des coulées de la Formation	72
6.4 Organisation des coulées composites	73
6.5 Organisation de l'empilement volcanique	74
7 Interprétation des observations	76
7.1 Passage faciès massif-coussiné	76
7.2 Chenaux de lave	79

7.3 Faciès bréchique	80
7.4 Coulée composite	81
7.5 REMPLISSAGE de la caldéra	81
7.6 Localisation du centre éruptif	84
7.7 Nature de l'appareil volcanique	86
8 Roches intrusives	89
8.1 Roches mafiques (2D)	89
8.2 Roches felsiques (1R)	89
9 Tectonique	91
10 Métamorphisme régional	93
11 Minéralisation	94
11.1 Généralités	94
11.2 Secteur de la mine Norbec	94
12 Conclusion	96
Remerciements	99
Références	100

TABLE DES HORS-TEXTE

FIGURES:	Page
Figure 1 - Carte de localisation de la zone d'étude	2
Figure 2 - Carte de localisation des Ceintures Volcaniques de l'Archéen	13
Figure 3 - Carte de localisation du Groupe de Blake River	14
Figure 4 - Carte de compilation stratigraphique régionale montrant la position du Groupe de Blake River	16
Figure 5 - Carte de compilation stratigraphique de la région de Rouyn-Noranda.	19
Figure 6 - Portion de la carte 1 à l'est de Norbec	35
Figure 7 - Sens de l'écoulement dans un empilement de coussins .	40
Figure 8 - Formation de pseudo-coussins par polygonisation . . .	49
Figure 9 - Réseau de craquelures radiales et concentriques. . . .	53
Figure 10- Organisation d'une brèche de coulée sommitale	55
Figure 11- Portion sud de la carte 2.	67
Figure 12- Organisation d'une brèche de coulée frontale littorale.	68
Figure 13- Section de la carte 1 à l'ouest de Norbec.	70
Figure 14- Patron d'écoulement dans un volcan-bouclier.	78
Figure 15- Coupe AA' et BB' de la figure 14	79
Figure 16- Coulées composites	82
Figure 17- Série de coupes à partir de la figure 16	83
Figure 18- Direction d'écoulement de la lave à partir des centres effusifs	85
Figure 19- Patron d'écoulement de la lave à partir d'une fissure nourricière.	88
Figure 20- Carte structurale et métamorphique de la zone d'étude	92

PLANCHES:

Planche 1 - Bandes d'épidotes concentriques soulignant la présence de 3 mégacoussins "soudés"	37
Planche 2 - Lentille de coussins et de brèche dans la lave massive	37
Planche 3A - Petit coussin ayant crû par bourgeonnement et encore relié à son "parent"	41
Planche 3B - Série de petits coussins séparés et un coussin-bourgeon entre de plus gros coussins	41
Planche 4A - Mégacoussins en formation reliés ensemble,	42
Planche 4B - Bourgeon relié à un coussin plus gros par une croûte très mince.	43
Planche 5 - Coussins vus en 3 dimensions	44
Planche 6A - Pseudo-coussins formés par polygonisation.	46
Planche 6B - Détail de 12a. Présence de croûtes et de hyaloclastite autour des polygones	46
Planche 7 - Petits polygones formés en bordure des coussins .	49
Planche 8 - Microphotographie. Distribution fibroradiale de l'épidote dans des vésicules	49
Planche 9A - Craquelures concentriques dans un coussin.	51
Planche 9B - Augmentation de l'espacement et de la dimension des craquelures dans la zone de bordure d'un coussin	51
Planche 10 - Bréchification produite par exfoliation.	56
Planche 11 - Petits fragments provenant de la désintégration de fragments plus gros ou de petits coussins . . .	56
Planche 12 - Petits coussins de forme elliptique avec fragments de coussin	57
Planche 13 - Coussins amiboides	57
Planche 14 - Petite lentille de lave massive dont la bordure est entièrement bréchifiée	58
Planche 15 - Croûtes successives de 2 mégacoussins adjacents. .	61

Planche 16 - Lentille de brèche d'effondrement tardive dans un empilement de coussins	61
Planche 17 - Coussins entourés de brèche	63

TABLEAUX:

Tableau I - Modifications apportées à la stratigraphie des coulées	28
Tableau II - Stratigraphie de la Formation Amulet (Partie Nord).	30

CARTES:

Carte 1 - Carte géologique de la zone d'étude en pochette
Carte 2 - Carte géologique de la Section d'Alembert en pochette

RESUME

La zone étudiée (12.5 km^2) se situe à 12 km au nord de Rouyn au Québec. Elle consiste principalement de laves andésitiques archéennes de la Ceinture de Roches Vertes de l'Abitibi, appartenant à la Formation Amulet du Groupe de Blake River. La stratigraphie antérieure de la zone fut modifiée et comprend maintenant 19 coulées, dont les quatre dernières sont des coulées composites cryptiques!

La cartographie démontre qu'une coulée sous-marine d'andésite comprend 3 faciès: massif, coussiné et brèche de coulée. La transition latérale entre les faciès massifs et coussinés suggère que le premier est le plus proximal. Les nombreux coussins interconnectés et la découverte de parties de véritables tubes montrent bien que les coussins se forment par propagation de tubes de lave.

Nous proposons un modèle où la lave émise en lobes successifs rapprochés, produit la formation d'épaisses séquences de lave massive; sur le terrain en pente, la lave massive est canalisée par des dépressions topographiques ou par des levées (formées par des coussins et/ou de la brèche). Le front de la lave massive se ramifie en mégatubes puis, les mégatubes en tubes. Le front de l'écoulement présente des lits frontaux, constitués de rubans de lave massive et de brèche de coulée, typiques des coulées frontales (flow foot breccia).

La Formation Amulet est surtout constituée par des coulées composites variées dont les coulées unitaires sont vésiculaires à la base et porphyriques au sommet. Les variations verticales de la vésicularité et des rapports entre les faciès à l'intérieur des coulées de l'empilement s'interprètent comme une structure de remplissage (upward shoaling sequence). Le centre effusif principal est au sud-est de la mine Old Waite et un centre secondaire existe à l'est de la mine Norbec.

1.

INTRODUCTION

1.1 Description de la zone d'étude

1.1.1 Localisation

Le centre de la zone d'étude se situe à $79^{\circ}04'$ de longitude ouest et à $48^{\circ}21'$ de latitude nord, soit à environ 12 kilomètres au nord de la ville de Rouyn-Noranda (fig. 1). Ce terrain comprend surtout la partie nord-ouest du quart sud-ouest du canton Dufresnoy, en plus de parties adjacentes, de superficies moindres, dans les quarts nord-ouest de Dufresnoy, sud-est et nord-est de Duprat. Dans son ensemble, il représente une bande d'une superficie d'environ 12.5 km^2 .

1.1.2 Relief

La zone d'étude se trouve à l'intérieur des Collines Waite et en comprend le point culminant: le Mont Duprat (Beaver Mountain), qui est situé à 490 m au-dessus du niveau de la mer. En général, le relief présent est modérément accidenté (150 m de dénivellation relative maximale) et les affleurements présents dans la zone sont nombreux, vastes et bien dégagés.

1.1.3 Accès

On peut accéder aux divers affleurements de la zone étudiée d'abord directement par la route 101 (Rouyn-Macamic) pour la portion proche du village de d'Alembert, mais surtout à partir de la route allant soit à la mine Norbec, soit à l'Option de New Inesco (embranchement secondaire de la 101). On peut aussi utiliser le chemin privé reliant les mines Norbec et Millenbach, de même que d'anciens chemins, encore carrossables, allant aux anciennes mines Old Waite, East Waite et Vauze, afin d'atteindre toute la partie ouest du terrain (fig.1). Enfin, de nombreux sentiers, tracés lors d'anciennes campagnes d'exploration, existent encore et permettent un accès aisément à la plupart des affleurements.

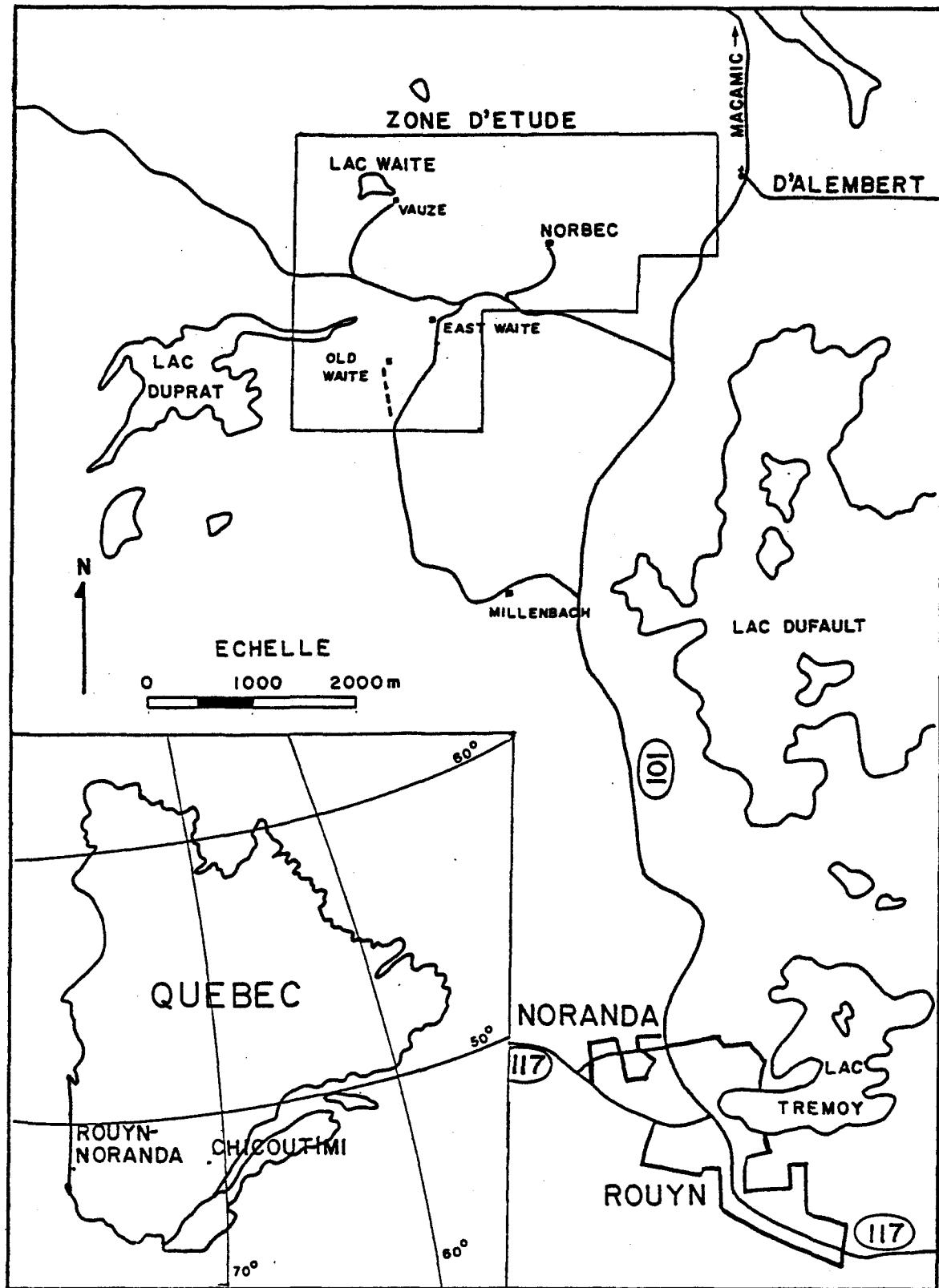


Figure 1- Carte de localisation de la zone étudiée.

1.2 Travaux antérieurs

1.2.1 Zone d'étude

Les membres de la Commission Géologique du Canada (Wilson, 1918; Cooke et al., 1931) furent les premiers à effectuer des levés de reconnaissance dans la région. Leurs travaux furent suivis par d'autres plus détaillés (Gunning et Ambrose, 1939; Ambrose, 1941; Wilson, 1962) qui permirent entre autres, une première analyse de la stratigraphie régionale. Par la suite, des travaux effectués par des membres du Ministère des Richesses Naturelles du Québec (Dimroth et al., 1975; Imreh, 1976) permirent des modifications et des réinterprétations de la stratigraphie régionale.

La région centrale de Rouyn-Noranda fut d'abord couverte à l'échelle de 800':1" par Wilson (1941). Par la suite, les travaux de géologues de compagnies minières (Edwards, 1960; Spence, 1967) permirent d'y définir de nombreuses unités stratigraphiques de nature formationnelle. Leurs travaux incluaient aussi la subdivision de la colonne stratigraphique en cinq "zones" définies par l'alternance d'unités acides et mafiques. Enfin de Rosen-Spence (1976) a proposé une corrélation stratigraphique de ces unités; son travail a servi de base aux recherches présentées dans ce mémoire et nous y reviendrons dans un chapitre ultérieur.

1.2.2 Laves coussinées

Une abondante littérature existe sur les laves coussinées et sur les diverses hypothèses formulées pour en expliquer l'origine (voir Daly, 1903; Lewis, 1914; Snyder et Fraser, 1963 b). Un long débat sur la forme tridimensionnelle des coussins a longtemps divisé les géologues (voir Jones, 1968; Johnston, 1969). Un mode et un environnement de mise en place unique ne fait toujours pas l'unanimité.

Depuis le travail classique de Lewis (1914), la plupart des auteurs modernes (Sigvaldason, 1968; Furnes, 1972) acceptent une origine extrusive, non explosive et sous-marine pour les coussins. Par contre, une origine sub-aérienne pour les coussins fut une hypothèse longtemps acceptée par plusieurs (Cooke et al., 1931). D'autres auteurs envisagent une origine intru-

sive - à l'intérieur de matériel tufacé, non consolidé et résultant d'une activité sous-marine explosive - pour les coussins (Re, 1963; Silvestri, 1963; Dewitt et Stern, 1978). Une origine véritablement intrusive, entre autres par injection de dykes mafiques à l'intérieur de sédiments non consolidés, est aussi proposé par certains (Snyder et Fraser, 1963 b; Dewitt et Stern, 1978).

Diverses hypothèses ont été avancées pour expliquer la formation des empilements de lave coussinée. Pour certains auteurs des sacs de lave fermés (coussins) peuvent se former par un processus de globulation (Carlisle, 1963), selon un processus analogue aux liquides immiscibles (Wilson, 1960) ou par émulsion (Fuller, 1940). La formation de coussins par croissances successives de tubes - par analogie avec les tubes de lave pahoehoe - fut envisagée par Lewis (1914). Mais cette hypothèse fut rejetée par de nombreux auteurs (Wilson, 1942; Mac Donald, 1953) qui citent divers critères pour distinguer entre des sections de tubes pahoehoe et de véritables coussins.

Récemment, les travaux de Moore et al. (1963) et Moore (1975) à Hawaii, de Ballard et Moore (1977) et Bellaïche et Cheminée (1977) à la dorsale médio-atlantique, ont clairement démontré que les empilements de laves coussinées étaient constitués par un enchevêtrement de tubes interconnectés, à l'intérieur desquels la lave pouvait circuler.

La présence de coussins interconnectés, dans l'Archéen, a récemment été confirmée (Dimroth et al., 1978; Hargreaves et Ayres, 1979).

Diverses études ont aussi été effectuées sur les coussins afin de les utiliser comme outil stratigraphique et indicateur du milieu d'emplacement (Waters, 1960; Moore, 1965; Jones, 1969). Peu d'études ont été faites sur la pétrographie des laves coussinées (Marshall et Cox, 1971; Baragar et al., 1977; Dimroth et Lichtblau, 1979).

1.2.3 Organisation des coulées

La séquence volcanique idéale comprend une lave massive à la base, surmontée par une lave coussinée, puis par une brèche de coulée et enfin par un hyalotuf (Dimroth et al., 1978). Des passages tant latéraux que verticaux entre ces faciès de laves mafiques sous-marines ont déjà été notés par plusieurs auteurs.

Ainsi, Drewers et al. (1969), Snyder et Fraser (1963 a) et Hocq (1979) mentionnent des passages de filon-couche à lave coussinée, et parfois de lobes de lave massive à lave coussinée. Dimroth (1971) a également décrit la transition latérale de basalte massif à des basaltes coussinés. Dewitt et Stern (1978) présentent une transition plus complète où un filon-couche de lave massive passe à des coussins puis à une brèche de coussins; ils mentionnent aussi le passage latéral graduel entre des brèches de coulée et des hyalotufs. Des passages d'une lave massive à son autobréchification (Clifford et Mc Nutt, 1970) et entre lave massive - lave coussinée (Hargreaves et Ayres, 1979) existent aussi. Ces passages lave massive - lave coussinée (de même que les variations entre la taille des coussins) s'explique par l'utilisation de paramètres comme la topographie, la viscosité de la lave et le rythme de l'émission de la lave (Carlisle, 1963; Sigvaldason, 1968).

Carlisle (1963), puis Sigvaldason (1968) et Furnes (1972) ensuite, ont étudié plus particulièrement le passage vertical entre lave coussinée (ou lave massive) - brèche de coulée et ont aussi très bien décrit l'organisation présente dans ces brèches de coulée sommitales (flow top breccia). D'après ces auteurs, dans cette brèche, il y a transition complète entre une brèche à coussins isolés à la base, et une brèche à coussins brisés au dessus. Pour Carlisle (1963) la brèche à coussins brisés résulte de la fragmentation (lors d'un glissement par exemple) de l'empilement de coussins et de leur matrice, alors que pour Sigvaldason (1968), le passage vertical de coussins à brèche de coulée à hyalotuf résulte d'un changement dans le mécanisme d'éruption; c'est à dire, passage d'une éruption non-explosive à une éruption explosive.

Fuller (1931) puis Moore et al. (1973) présentent des brèches de coulée dont l'organisation est très différente de celle décrite ci-haut. Dans leurs cas, il s'agit de brèches de coulée frontales (flow foot breccia) d'origine lacustre ou littorale. Alors que dans une brèche sommitale le matériel constituant la brèche provient de la lave massive sous-jacente (fig.10), dans une brèche frontale le matériel de la brèche provient de la lave massive la racouvrant. De plus, le matériel constituant la brèche frontale se met en place sous forme de lits frontaux successifs (fig. 12).

Les premiers modèles proposés pour expliquer la séquence volcanique (lave massive surmontée d'une lave coussinée puis d'une brèche de coulée) sont ceux de Re (1963) et de Silvestri (1963). Pour ces auteurs, la lave massive, au contact avec l'eau, forme un épais manteau de hyaloclastite sous lequel la lave continue de circuler; des éjections de la lave dans la hyaloclastite explique la formation de coussins et de brèches de coussins isolés et brisés.

Dans le modèle proposé par Dimroth et al. (1978), ceux-ci considèrent que la lave massive se forme lors de l'avance rapide d'un grand volume de lave peu visqueuse à haute température sous l'eau. Les coussins prennent naissance au front distal de la coulée au moment où la vitesse de la lave diminue et que sa viscosité augmente. La brèche de coulée se forme au stade terminal de l'éruption, quand le volume de lave en écoulement diminue. Enfin, des fontaines de lave situées à la fissure nourricière de la coulée forment des hyalotufs en eaux peu profondes.

1.3 Ce travail

1.3.1 Objectifs

Ce travail vise à établir un modèle de la structure et de l'organisation des coulées sous-marines de laves mafiques. A cette fin, nous avons relevé la nature des changements de faciès, tant verticaux que latéraux à l'intérieur d'un empilement de coulées andésitiques archéennes de la région de Rouyn-Noranda. A partir des données sur les variations verticales et latérales, nous présenterons une hypothèse sur l'évolution du

volcan Amulet-Despina, la nature de son appareil volcanique, la localisation des centres d'éruption et les directions d'écoulement.

1.3.2 Choix de la zone d'étude

Cette zone fut sélectionnée pour plusieurs raisons, dont la présence de nombreux affleurements de bonnes qualités. De plus, l'absence de schistosité et un grade métamorphique bas (schiste vert) ont préservé les textures originales (Gélinas et Brooks, 1974; Dimroth et al., 1975). Enfin, les faibles pendages des coulées de lave de la Formation Amulet dans certaines parties de la zone d'étude, combinés avec la faible épaisseur (100 m) de ces coulées et un relief local élevé (jusqu'à 150 m), permettent, jusqu'à un certain degré, l'étude en trois dimensions des relations entre les faciès de lave. Ces conditions extrêmement favorables, combinées à la grande accessibilité des diverses parties de la zone, sont très rarement réalisées dans les terrains d'âge archéen.

1.3.3 Méthode de travail

Les données nécessaires à la présente étude ont été recueillies au cours de deux saisons de travail (6 mois) avec l'aide d'un assistant. Il s'agissait principalement d'une cartographie de détail (1:4800) où tous les affleurements de la région furent visités. Les cartes déjà publiées avec la thèse de Rosen-Spence (1976) à 1000':1" et celle fournie gracieusement par la compagnie Falconbridge Copper à 400':1" (Anonyme, plan A-400-123-260, Ms Lake Dufault Mines Ltd.) servirent de base au présent travail qui consistait à reconnaître et cartographier les coulées individuelles de la Formation Amulet.

1.3.4 Présentation du plan de travail

Le travail lui-même renferme essentiellement la description de la carte principale et des interrelations entre faciès telles qu'observées sur le terrain. La pétrographie des divers faciès et des divers phénomènes décrits est des plus succincte. Deux cartes sont incluses dans ce travail: 1) une **carte géologique du secteur étudié et de ses environs** (carte 1, en pochette) et 2) un **agrandissement du secteur de d'Alembert pour**

les coulées W-16, 18 et 19 (carte 2, en pochette).

Le plan général de ce travail est le suivant: après un bref chapitre consacré à la géologie générale de la zone d'étude, le chapitre suivant permettra de situer cette zone à l'intérieur de la stratigraphie régionale; la dernière partie de ce chapitre étant consacrée aux modifications apportées à la stratigraphie locale par ce travail.

Les chapitres suivants décriront les faciès présents dans les laves mafiques sous-marines puis l'organisation de ces coulées, notamment les variations verticales et latérales observées sur le terrain, soit à l'intérieur d'une même coulée, soit dans l'ensemble de la Formation Amulet. L'interprétation de ces observations constituera un chapitre à part.

Finalement, ce travail se terminera par un rapide survol de la géologie des intrusions recouvrant la zone d'étude, de la tectonique régionale, du métamorphisme régional et de la minéralisation du secteur.

L'absence d'une nomenclature adéquate dans la littérature géologique nous a forcés à définir certains des termes utilisés dans ce travail, dans un lexique. Ces termes sont les suivants;

CHENAL DE LAVE: 1) Une dépression topographique allongée (vallée) empruntée par la lave lors de l'écoulement. Un tel chenal peut se trouver au sein de la coulée elle-même, il est alors un analogue aux tubes majeurs (tubes-nourriciers) pahoehoe. 2) Le remplissage par la lave massive (principalement) ou par la lave coussinée d'un tel chenal.

CHENAX TRESSES: L'ensemble des chenaux de lave à géométrie peu sinuuse mais qui se subdivisent et se recombinent comme les chenaux d'une rivière tressée.

COULEE DE LAVE: 1) Une quantité de lave liquide déversée à partir d'une fissure ou d'une cheminée et qui se répand latéralement à la surface de la terre. 2) Le produit d'une effusion, elle est constituée par une ou plusieurs pulsions de lave. Une unité d'emplacement, le produit d'un écoulement continu. 3) La plus petite unité stratigraphique cartographiable de roches effusives; elle représente l'équivalent d'un lit en sédimentologie. Sa subdivision en faciès différents dépend de nombreuses conditions (viscosité, température de la lave, etc...) lors de l'écoulement. Les critères d'identification d'une coulée sont bien définis et varient peu, tant latéralement que verticalement.

COULEE COMPOSITE: Ensemble de coulées de lave produites lors d'une effusion et présentant la structure suivante. Proche de la source, cheminée ou fissure, l'écoulement de la lave est continue alors que plus loin de cette source, la lave avance en forme de lobes distincts. Les dépressions topographiques formant le parcours suivi par les premiers lobes, sont progressivement remplies par ces premiers lobes; les lobes suivants émis doivent donc migrer et emprunter de

nouveaux parcours. L'ensemble des lobes émis lors d'une effusion forme donc une seule coulée près de la source (coulée unie) tandis que plus loin, ces mêmes lobes se scindent en plusieurs coulées différentes (coulées unitaires).

COULEE COMPOSITE CRYPTIQUE: Coulée composite dans laquelle les propriétés de la lave émise (vésicularité, phénocristaux, etc...) ne varient pas lors d'une même effusion. Il est alors impossible de prouver qu'il s'agit d'une coulée composite à moins d'en pouvoir poursuivre sur le terrain affleurant, les composantes individuelles (coulées unitaires) jusqu'à un endroit où plusieurs d'entre elles s'unissent.

COULEE COMPOSITE VARIEE: Coulée composite dans laquelle les propriétés de la lave émise lors d'une même effusion changent d'une façon régulière au cours de cette effusion. Près de la source, là où une seule coulée est présente, ces propriétés varient graduellement de la base au sommet. Vers le front, là où les lobes successifs émis par cette même effusion forment des coulées distinctes, les propriétés varient abruptement au contact de ces différentes coulées (unitaires).

COULEES SOUDEES: Coulées de lave massive reposant l'une sur l'autre mais entre lesquelles il est impossible de définir la limite les séparant par la présence de croûtes de verre visibles. Sur le terrain, la différence de cristallinité entre le matériel situé à la limite extérieure (la croûte) et le reste de la lave solide est trop faible pour être visible; les deux coulées donnent donc l'impression d'être soudées l'une à l'autre.

COULEE UNIE: Partie de la coulée composite qui ne peut être subdivisée en coulées individuelles et qui est constituée par l'ensemble des lobes émis au cours de l'effusion.

COULEE UNITAIRE: Chacune des coulées individuelles qui s'est scindée de la partie unie d'une coulée composite. Chacune de ces coulées est constituée par un ou plusieurs lobes émis au cours de l'effusion

ayant produit l'ensemble de la coulée composite. Une coulée unitaire se comporte comme une véritable coulée de lave et en possède les mêmes subdivisions en faciès.

EFFUSION: Une émission continue de lave liquide à partir d'une fissure ou d'une cheminée. Le taux d'émission de l'effusion (mesuré en m^3/sec) peut varier. On parle donc de pulsions pour désigner les périodes d'activités paroxysmales et de lobes pour désigner la quantité de lave émise à chaque pulsion. Le produit d'une effusion est une coulée de lave.

EFFUSION MONOTONE: Une effusion au cours de laquelle les propriétés de la lave émise (vésicularité, phénocristaux, etc...) ne varient pas et qui produit une coulée composite cryptique.

EFFUSION VARIEE: Une effusion au cours de laquelle les propriétés de la lave émise varient d'une façon régulière du commencement à la fin de l'effusion et qui produit une coulée composite variée.

ERUPTION VOLCANIQUE: L'émission ou l'éjection de matériel volcanique à la surface de la terre à partir d'un cratère ou d'une fissure. Au cours d'une éruption, il peut y avoir une, plusieurs ou aucune effusion de lave liquide.

FACIES: Une subdivision d'une même unité statigraphique. Une coulée de lave comprend trois faciès; lave massive, lave coussinée et brèche de coulée.

PERIODE EFFUSIVE: L'intervalle de temps nécessaire pour une effusion afin de compléter un cycle d'émission de lave (effusion) et en recommencer un autre.

PHASE EFFUSIVE: L'ensemble de toutes les effusions de lave constituant une formation volcanique.

Les roches de la Formation Andésitique d'Amulet appartiennent à la Ceinture de Roches Vertes de l'Abitibi de la Province du Supérieur.

Dans le Bouclier Canadien, les roches volcaniques de la Province du Supérieur forment des unités de dimensions variables appelées ceinture de roches vertes. La plupart de ces roches volcaniques sont d'âge archéen, datées approximativement à 2,750 millions d'années (Krogh et Davis, 1972). Entre celles-ci se trouvent des ceintures de dimensions tout aussi variables, constituées de roches de composition gneissique. Dans la partie sud de la Province du Supérieur, ces deux types de ceintures sont orientées est-ouest (fig. 2).

Les deux types de terrains se distinguent entre eux par des compositions, des structures et des grades métamorphiques différents. Les ceintures volcaniques ont une structure simple, principalement à plis isoclinaux à axe subverticaux et un grade métamorphique bas (sauf proche des roches intrusives). Les roches intrusives constituent de vastes batholites de composition tonalique à granodioritique. Les ceintures gneissiques possèdent une structure en plis couchés repliés et un grade métamorphique élevé (amphibolite à granulite). Elles sont recoupées par des masses intrusives de composition tonalitique à granitique.

La région de Rouyn-Noranda représente une section typique d'une tel terrain archéen, avec la Ceinture Gneissique de Pontiac au sud et les métavolcanites de la Ceinture de Roches Vertes de l'Abitibi au nord. Les intrusions "granitiques" y sont plus rares qu'ailleurs.

Cette Ceinture de l'Abitibi représente l'une des plus vastes et des plus continues des ceintures de roches vertes de la province de Supérieur: 600 km de long et 250 km de large (Goodwin, 1977) (fig. 3). Composée majoritairement d'une épaisse séquence volcanique, elle est subdivisée par des lentilles de roches sédimentaires métamorphosées. Dimroth et Rocheleau (1979) interprètent cette séquence volcanique non comme le produit de l'évolution d'une seule période d'activité volcanique continue, mais plutôt

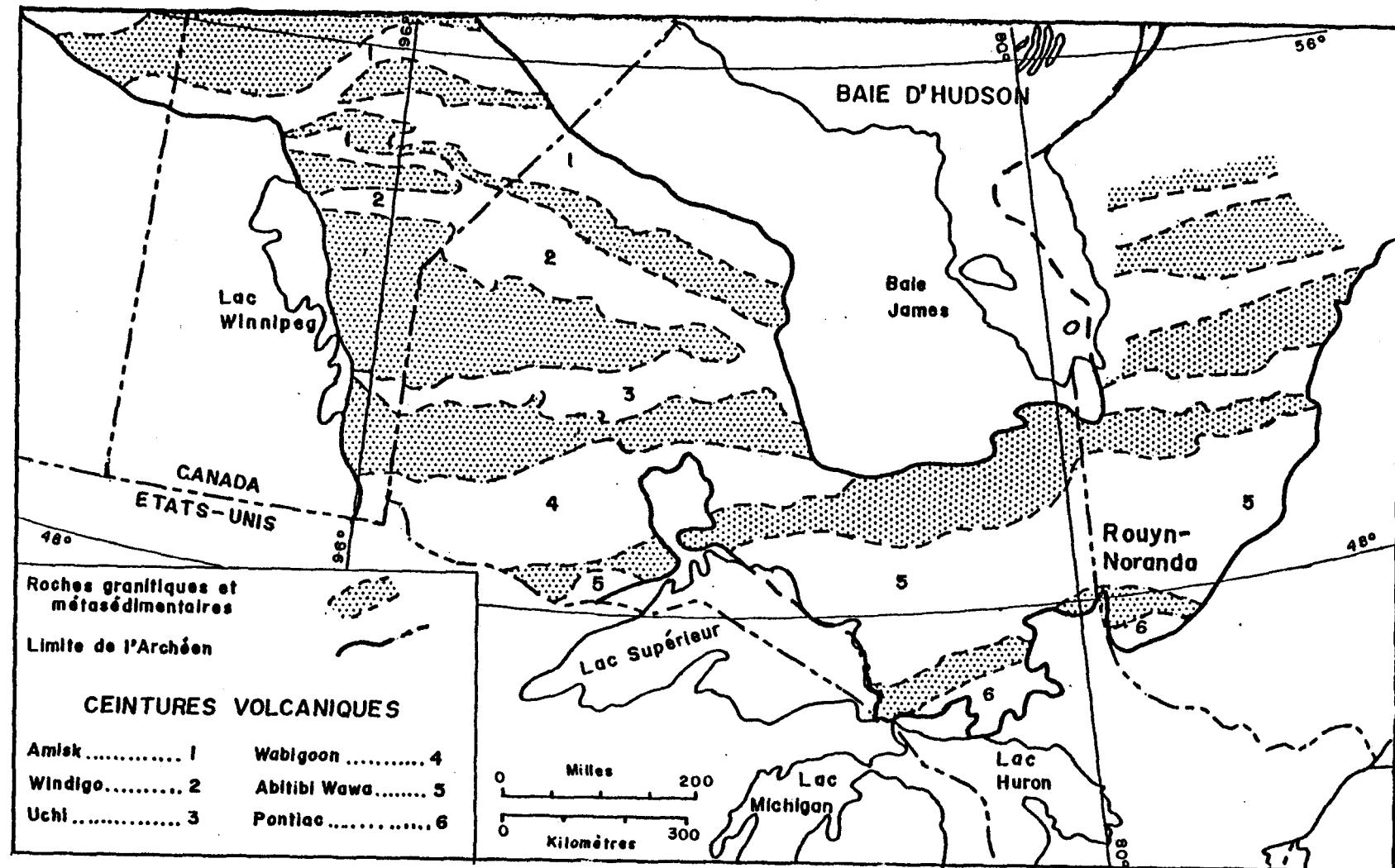


Figure 2- Carte de localisation des Ceintures Volcaniques de l'Archéen. Modifiée de Goodwin (1972), dans Géologie et Ressources minérales du Canada, R.J.W. Douglass éd.

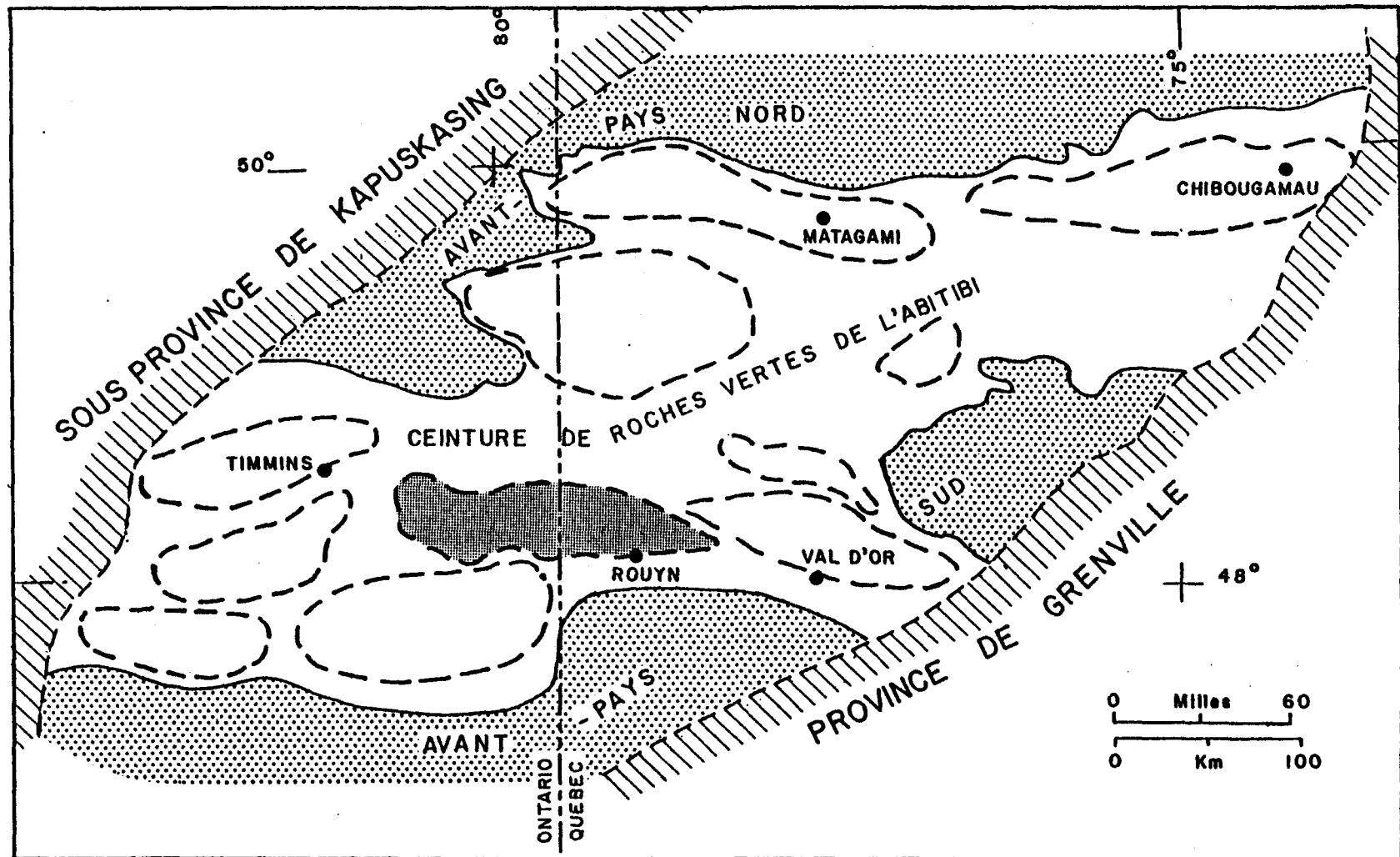
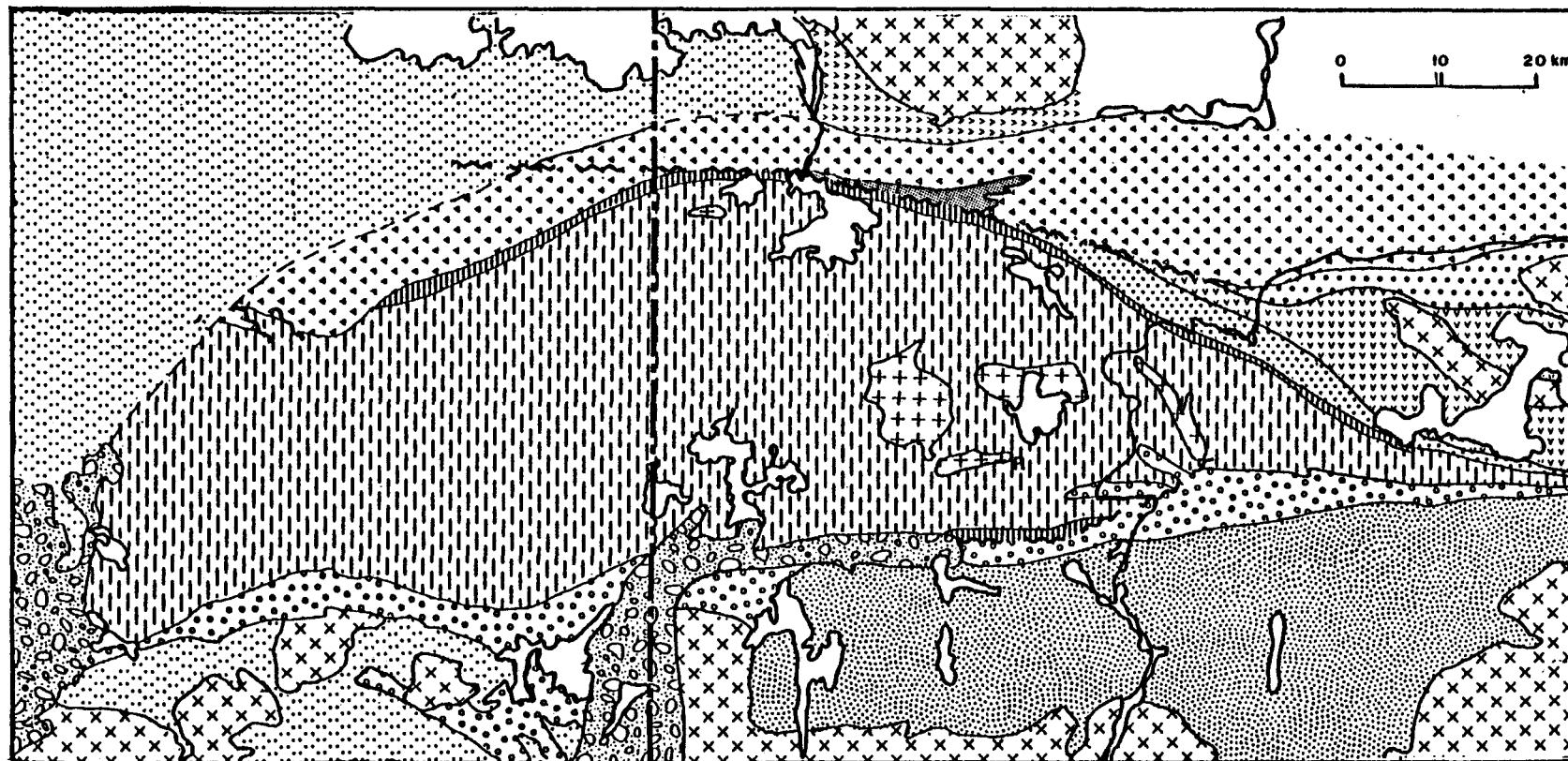


Figure 3- Carte de localisation du Groupe de Blake River. Les limites des complexes volcaniques (lignes tiretées) sont présentées. Modifiée de Goodwin et Ridler (1970).

comme une migration vers le sud, d'une chaîne volcanique active, bordée au sud par un bassin sédimentaire. Entre les deux, on trouve des failles syntectoniques et synsédimentaires importantes qui, au cours de l'orogenèse se sont comportées comme de grandes failles et zones de cisaillement.

Dans la région qui nous intéresse, nous pouvons noter la présence de la faille de Duparquet-Destor-Manneville (DDM) au nord et de Cadillac au sud. Entre ces failles, les roches sont plissées isoclinalement avec des axes verticaux de directions est-sud-est ou sud-est. Localement, de trois à quatre phases de plissement superposées peuvent se reconnaître sur le terrain.

Le Groupe de Blake River représente l'un des nombreux complexes minéralisés de la Ceinture de l'Abitibi; il se compose de façon majoritaire de laves sous-marines de types variés (basaltes à rhyolites). L'épaisseur estimée du Blake River varie de 12,000 à 15,000 m (Baragar, 1968). Stratigraphiquement, le Groupe de Blake River se situe au-dessus des Groupes de roches volcaniques de Kinojévis et de Malartic. Le Groupe de Kewagama, composé de roches sédimentaires, sépare le Groupe sous-jacent de Malartic de la base du Blake River au-dessus (fig. 4).



██████████ Protérozoïque	██████████ Roches volcaniques non-differentielles	██████████ Sous-groupe de Pelletier	██████████ Groupe du Lac Castor
×× Granites et tonalites fardifs	██████████ Groupe de Pontiac	██████████ Groupe de Kewagama	██████████ Groupe de Malartic
++ Tonalites récentes	██████████ Groupe de Duparquet	██████████ Groupe de Kinojévis	R Rouyn
••• Groupe de Timiskaming-Cadillac	██████████ Groupe de Blake River sous-groupes supérieurs	██████████ Groupe de Hunter Mine	

Figure 4- Carte de compilation stratigraphique régionale montrant la position du Groupe de Blake River plus en détail. Tirée de Dimroth et Rocheleau (1979).

4.

STRATIGRAPHIE

4.1 Cadre stratigraphique

4.1.1 Groupe de Blake River

La Formation Andésite d'Amulet appartient au groupe de Blake River. Malheureusement, la stratigraphie générale de ce groupe est un sujet très controversé. En effet, la nature lenticulaire de toutes les unités stratigraphiques, les changements abrupts entre les faciès de même que la présence de grandes failles régionales (Cadillac et DDM), qui segmentent la région de Rouyn-Noranda, rendent les tentatives de corrélations difficiles. Ce problème est amplifié par l'absence de marqueur stratigraphique d'étendue supérieure à 120 km (Dimroth et al., 1975) et par le fait que la plupart des unités sont d'extension beaucoup plus faible que ces 120 km.

Des critères de nature chimique, reliés à la composition des magmas, peuvent être utilisés pour subdiviser la Blake River. Goodwin (1977) subdivise toute la région de Timmins-Kirkland Lake-Rouyn en 4 sous-groupes, soit: Bowman (I), Garrison (II), Misena (III) et Noranda (IV). Ces sous-groupes peuvent, si nécessaire, se regrouper en deux parties seulement: Blake River Inférieur (sous-groupe I et II) et Supérieur (sous-groupe III et IV). L'ensemble de ceux-ci constitue un empilement déversé vers l'est et représente ainsi une évolution magmatique dans cette direction (de l'ouest vers l'est).

Spence et de Rosen-Spence (1975) subdivisent le sous-groupe de Noranda en 5 zones rhyolitiques, nommées informellement de la base au sommet (1) Montbray, (2) Quésabe, (3) Mine, (4) Porphyrique et (5) Cléricy. Entre chaque zone rhyolitique (et parfois à un degré moindre, à l'intérieur de ces zones), il y a une interzone andésitique. La Formation d'Amulet se trouve à l'intérieur de l'interzone andésitique 3-4.

Quant à Gélinas et al. (1977), ils suivent le modèle stratigraphique de Dimroth et al. (1975) dans lequel la Ceinture de Roches Vertes de

l'Abitibi, dans la région de Rouyn-Noranda, est subdivisée en deux avec à la base, entre autres, le Groupe de Kinojévis et au-dessus le Groupe de Blake River. Dans ce modèle, alors que le Groupe de Kinojévis peut être subdivisé grâce à des critères de travail seulement, les subdivisions du Groupe de Blake River ne peuvent se faire qu'à partir d'une combinaison de critères de terrain et des données chimiques. Sur cette base, le Groupe de Blake River se subdivise en 5 "séries", soit du nord au sud: 1) la Série Tholéitique de Duparquet-Destor-Manneville; 2) la Série Calco-alcaline de Renault; 3) la Série Tholéitique de Dufresnoy; 4) la Série Calco-alcaline de Dufault et 5) la Série Tholéitique de Rouyn (fig.5).

Dimroth et Rocheleau (1979) ont repris les Séries de Gélinas et al. (1977) pour en faire des unités stratigraphiques. Ainsi la base du Blake River, représentant une plaine de basalte, est constituée par le Sous-Groupe de Pelletier qui comprend la Série de Duparquet-Destor-Manneville et la partie inférieure de la Série de Rouyn. Cette unité de base est surmontée par les Sous-Groupes de Dufault et Renault, qui représentent de nombreux complexes volcaniques centraux d'affinité calco-alcaline. Ces deux sous-groupes sont par la suite recouverts par des roches tholéitiques de la Série de Dufresnoy et de la partie supérieure de la Série de Rouyn qui équivalent au Sous-Groupe de Dufresnoy.

Le terrain d'étude appartient au Sous-Groupe de Dufault. Ces roches, équivalentes ou légèrement plus jeunes que le Sous-Groupe de Renault, sont majoritairement composés d'andésites et de rhyolites. Il y a absence de termes intermédiaires, tels que les dacites ou les rhyodacites (SiO_2 entre 64% et 71%). Sur le diagramme AFM, les données de Gélinas et al. (1977) expriment pour ces roches une tendance vers un enrichissement en alcalins, dans le champ calco-alcalin, sans évidence d'enrichissement en fer.

4.1.2 Complexe central de Noranda

D'après Spence et de Rosen-Spence (1975), le plus grand des complexes volcaniques centraux du Sous-Groupe de Dufault est celui de Noranda (centré à l'ouest du lac Dufault). Il se serait développé en plusieurs étapes compliquées dont, entre autres, la formation d'une grande caldera au nord de Noranda. Cette caldera est limitée au nord par la faille du ruis-

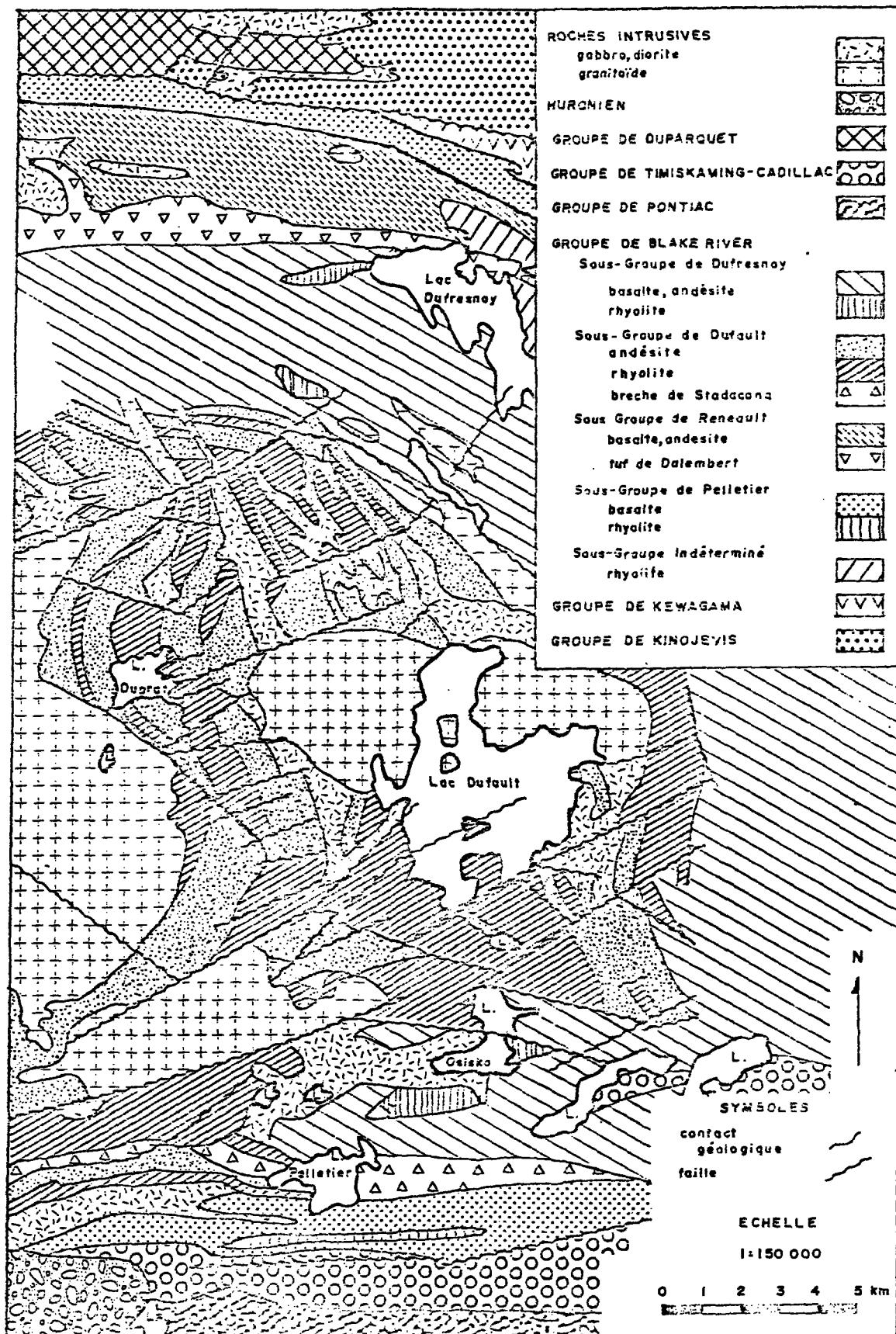


Figure 5- Carte de compilation stratigraphique de la région de Rouyn-Noranda. Modifiée de Diaroth (communication écrite, 1979).

seau Vauze et au sud par une faille actuellement occupée par le dyke nourricier de Quémont. L'effondrement de cette caldera a débuté après l'éruption des coulées rhyolitiques micro-porphyrifiques de Joliette et de Browlee, au sud, et d'Amulet, au nord. Cet effondrement a été suivi par le remplissage de la caldera par du matériel principalement mafique (basalte et andésite) et localement, en bordure ou à l'extérieur de la caldera, par des coulées rhyolitiques riches en phénocristaux de quartz et plagioclase. Cette activité rhyolitique fut surtout concentrée au sud, où il y a des évidences de faibles éruptions pyroclastiques, bien qu'il y ait eu quelques dômes et coulées rhyolitiques à l'intérieur de la caldera. La majorité partie du matériel de remplissage consiste cependant en basalte et andésite micro-porphyrifiques à porphyrique (plagioclase) regroupés dans les Formations d'Amulet, Despina et Powell.

Les coulées de ces formations furent émises par deux grands volcan-boucliers. Le centre du volcan Amulet-Despina a été localisé à proximité de l'ancienne mine Old Waite (ce travail), alors que le centre du volcan Powell (peu étudié) n'est pas connu.

4.2 Stratigraphie de la Formation Amulet

Dans son travail sur la stratigraphie de la région centrale de Rouyn-Noranda, de Rosen-Spence (1976) a étudié en détail, diverses formations andésitiques, dont la Formation Amulet, qu'elle subdivisa en coulées individuelles. En général, la stratigraphie qu'elle propose de ces formations est basée sur une corrélation de coupes stratigraphiques et non pas sur une cartographie de surface; aussi, de nombreuses coulées n'ont pas été poursuivies sur le terrain d'une coupe à l'autre. Nous déterminerons plus loin que cette méthode a conduit à certaines erreurs dans la corrélation latérale des coulées présentes dans notre zone d'étude.

D'après de Rosen-Spence (1976), la Formation Andésitique d'Amulet est constituée de 22 coulées dans la partie nord (Collines Waite) et de 36 coulées dans sa partie sud (Collines Amulet) et plusieurs coulées des parties nord et sud ont été corréllées entre elles. Ces coulées sont des

corps planaires aux formes tabulaires plutôt que lenticulaires. Elles ont une épaisseur variant entre 2 et 200 m et certaines peuvent être suivies sur plus de 10 km. Leur extension dans la direction du pendage est difficile à déterminer. Cependant, des répétitions de certaines coulées par des failles permettent de prouver que ces coulées se poursuivent sur au moins 3.5 km dans la direction du pendage. La vaste superficie couverte par de telles coulées suppose une topographie à très faible pente au moment de leur effusion.

Dans les coulées de lave individuelle, trois faciès sont reconnus: lave massive, lave coussinée et brèche de coulée. Dans les coupes stratigraphiques mesurées par de Rosen-Spence (1976) une coulée peut n'être constituée que d'un ou deux faciès. Lorsqu'il y a deux faciès, ceux-ci peuvent passer graduellement de l'un à l'autre tant verticalement que latéralement ou être interdigités l'un avec l'autre. Les brèches de coulée sommitale sont fréquentes mais peuvent être absentes surtout au-dessus de lave coussinée. Contrairement aux coulées andésitiques d'autres formations, chacune des coulées de la Formation Amulet possède un contenu en vésicules, en phénocristaux et en laminations assez différent des autres coulées de la formation. Ces critères peuvent donc être utilisés pour identifier chaque coulée et en permettre la corrélation.

Les critères utilisés par de Rosen-Spence (1976) pour caractériser les diverses coulées sont: (1) la taille des phénocristaux de feldspath (avec trois classes: 1 mm, 2 mm et 3 mm et plus); (2) les laminations; (3) la vésicularité et (4) les yeux de quartz. A noter que le terme "lamination" est une appellation erronée puisqu'il ne fait pas référence à des laminations d'écoulement, mais plutôt au phénomène décrit par Clifford et Mc Nutt (1970) et surtout par Dimroth et al. (1978). Ce phénomène connu sous le nom de craquelures de contraction thermique se produit lors du refroidissement de la lave; il est surtout présent dans les coussins. La vésicularité se réfère à la présence d'amygdales, sans mention de leur taille, ni de la nature du matériel de remplissage. Enfin, l'utilisation du terme "yeux de quartz" réfère en fait à des amygdales de grandes tailles (1 cm-6 cm) remplies principalement de quartz blanc et d'épidote.

En effet, les phénocristaux se concentrent généralement en bordure des coussins et le long des contacts dans les laves massives où ils n'apparaissent qu'en nombre réduit (3% et moins). Ceci rend difficile la distinction entre les phénocristaux telluriques, qui ont crû dans la chambre magmatique, de ceux qui ont crû lors de l'écoulement et du refroidissement de la lave. La distinction entre coulée porphyrique et non porphyrique est alors des plus ardue. Aussi, contrairement à de Rosen-Spence (1976) qui avait identifié 9 coulées porphyriques, nous n'avons que deux coulées véritablement porphyriques et une faiblement porphyrique.

L'ensemble de nos critères sont donc:

- (1) V : lave vésiculaire
(plus de 5 % de vésicules de moins de 1.5 cm)*
- (2) (V): lave faiblement vésiculaire
(moins de 5 % de vésicules de moins de 1.5 cm)*
- (3) \textcircled{a} : grandes amygdules de quartz et épidote
(vésicules de plus de 1.5 cm)
- (4) \textcircled{x} : craquelures de contraction marquées
(présentes dans l'ensemble du coussin)
- (5) (\textcircled{x}): craquelures de contraction peu marquées
(présentes en bordure seulement)
- (6) \textcircled{a} : phénocristaux de plagioclase ≥ 3 mm
- (7) \textcircled{b} : phénocristaux de plagioclase < 3 mm

4.3.3 Unité 2A

Contrairement à de Rosen-Spence (1976), nous considérons que la plupart des masses mafiques à grain fin (unité 2A) de puissance supérieure à 5 mètres (et en absence d'évidences contraires) représentent des parties massives de coulées de lave andésitique. Pour appuyer cette hypothèse, nous nous basons sur les critères suivants: (1) ces masses irrégulières de composition andésitique (?) sont d'aspect identique aux autres laves massives déjà identifiées. (2) Les caractéristiques observables dans les zones de contact entre ces masses et les laves coussinées sont identiques

* Volume total d'un coussin; dans les parties inférieures et supérieures des coulées massives.

aux critères stratigraphiques applicables aux zones de contact lave massive - lave coussinée déjà reconnues; (3) à l'intérieur de ces intrusions de grande puissance (40 m et plus), une granulométrie fine constante est observable; (4) parfois de faibles lentilles (1-2 m de diamètre) de brèche de coulée ou de lave coussinée sont présentes à l'intérieur de ces masses. (Voir entre autre le chapitre sur les laves massives). 5) Enfin, l'allure générale de ces masses varie de concordant à légèrement discordant avec les laves encaissantes. Leurs contours sont généralement très irréguliers et elles ne recoupent jamais les coussins comme le font de véritables dykes. Ceci exclut donc leur mise en place sous forme de dykes, de filons-couche ou de stocks. Ces masses ne peuvent pas s'être mises en place sous forme d'injections forcées non plus, car il y a une absence marquée d'évidences tectoniques dans les laves encaissantes (comme la déformation des coussins ou la présence de failles) pour appuyer cette hypothèse.

La distinction entre "masse intrusive" et "lave massive" est d'autant plus difficile à établir que déjà l'identification des diverses laves massives s'avère presque impossible puisque toutes les parties massives des coulées possèdent en général le même aspect. Ces laves massives ne présentent les critères propres de la coulée (craquelures, vésicularité, phénoménaux, etc.) que proche de leurs contacts inférieurs et supérieurs et dans les zones de transitions latérales.

4.3.4 Sections réinterprétées

Section de d'Alembert

Dans la section de d'Alembert, de Rosen-Spence (1976) présentait une coupe renfermant 5 coulées (numérotées de W-18 à W-22). La plupart de ces coulées étaient constituées d'une interdigitation plus ou moins complexe de lave massive, de lave coussinée et de brèche de coulée.

La cartographie détaillée de l'ensemble de la zone d'affleurement fait ressortir qu'il y a une succession de minces rubans de lave massive ou de lave coussinée qui alternent avec des rubans de brèches de coulée. La majorité de ces rubans sont discontinus latéralement et ne mesure que de 1

à 10 m d'épaisseur (fig. 11). Chaque succession lave massive - brèche de coulée ou lave coussinée - brèche de coulée s'interprètent comme étant de véritables coulées de lave. Ces diverses coulées ne peuvent être distinguées les unes des autres car elles présentent toutes une seule et unique propriété: une forte vésicularité.

La nature lenticulaire des unités constituant les coulées de la section y fait ressortir une structure qui n'est pas sans rappeler celle des rivières tressées (anastamosées). Nous interprétons toutes les coulées de la section comme n'étant que des réavancées multiples d'une même coulée ou, en d'autres mots comme des coulées unitaires d'une coulée composite cryptique.

La coulée composite cryptique ainsi déterminée porte le numéro 16 mais aucune de ses coulées unitaires n'est identifiée (numérotée).

D'autres zones d'affleurement présentant une organisation des coulées semblable à la section d'Alembert de Rosen-Spence (1976) furent reconnues plus au nord et identifiées aussi comme étant des coulées composites cryptiques. Ces coulées composites portent les numéros W-17, 18 et 19. Il est à noter que la limite entre W-18 et W-19 est une coulée de brèche plus épaisse que les autres.

Section à l'est de Norbec

Notre cartographie de la région de la section à l'est de Norbec nous a révélé de nombreux phénomènes complexes. Ainsi, une coulée y est constituée de lits frontaux (voir section 6.2.2) et une autre représente la partie unie d'une coulée composite (voir section 6.4). De plus, le nombre important de coulée de lave uniquement constituée de leur faciès massif augmente les possibilités d'erreurs d'identification de ces coulées. En effet, les propriétés des coulées sont toujours peu marquées dans ce faciès particulier. Certaines de ces coulées massives (et aussi quelques coulées de lave coussinée) y furent selon nous confondues avec d'autres coulées aux propriétés semblables (voir tableau II).

Notre cartographie a aussi révélé un autre problème important. Dans

cette coupe, il y a un certain nombre de coulées de lave provenant d'un centre effusif secondaire qui s'interdigitent avec d'autres provenant du centre effusif principal (voir section 6.6). De plus, certaines des coulées de cette coupe (en provenance du centre effusif secondaire ?) ne sont pas présentes ailleurs dans la partie nord de la Formation Amulet.

Toutes ces informations nous ont conduit à réinterpréter l'ensemble de la stratigraphie de la coupe. La stratigraphie antérieure était la suivante: W-7 suivie de W-10, W-11, W-12, W-13, W-16 et W-18 (numérotation de Rosen-Spence, 1976); notre stratigraphie est: W-6 suivie de (W-9)/W-10, m(V6-2A), W-11, W-12, W-13, W-14 et W-15 (notre numérotation). A noter que la coulée, portant le symbole m(V6-2A), ne présente pas de critères qui permettent son identification positive ailleurs dans l'empilement et pour cette raison, elle n'est pas numérotée.

4.3.5 Résultat des modifications

L'ensemble des modifications apportées au travail de Rosen-Spence (1976) sont jugées suffisantes pour proposer une nouvelle numérotation des coulées de la partie nord de la Formation Amulet. Cette nouvelle numérotation est présentée dans le tableau I. Elle est comparée à la numérotation antérieure dans le tableau II, et les raisons des changements y sont aussi identifiées.

La stratigraphie proposée pour la Formation Amulet (partie nord) comprend 19 coulées. De celle-ci, les quatre dernières (W-16, 17, 18 et 19) sont des coulées composites cryptiques, à l'intérieur desquelles il est sans espoir d'identifier les diverses coulées unitaires; celles-ci ne présentant comme critères d'identification qu'une forte vésicularité. Toutes les autres coulées identifiées (numérotées) représentent de véritables coulées de lave qui peuvent être regroupées en des coulées composites variées. Le phénomène des coulées composites sera discuté dans les chapitres 6 et 7. Ces informations sont résumées au tableau I et présentées avec les critères d'identification des coulées.

Sur la carte principale, toutes les limites entre les divers faciès

des coulées ont été tracées. Par contre, les coulées composites n'y ont pas été identifiées. Nous avons cartographié comme lave massive (m) les unités massives mafiques à grain fin dont l'appartenance à une coulée spécifique a pu être établie par des critères précis dans les zones de transitions verticale et latérale avec le faciès coussiné correspondant. Nous avons relevé par le symbole m(V6-2A) les masses dont l'appartenance à une coulée définie ne peut être clairement démontrée par faute d'affleurements dans la zone de contact entre ces masses et les laves coussinées avoisinantes. Lorsque la position stratigraphique de ces unités correspond avec celle d'une coulée identifiée, et qui pourrait en être un équivalent latéral, nous avons ajouté entre parenthèses, le numéro de cette coulée. Le symbole 2A a été utilisé pour désigner des roches mafiques à grain fin qui sont possiblement des dykes.

TABLEAU I

STRATIGRAPHIE DE LA FORMATION AMULET (PARTIE NORD)

Numéro de la coulée	Lithologie	Coulée composite
W-19*	Lave vésiculaire	H' (?)
W-18*	Lave vésiculaire	G' (?)
W-17*	Lave vésiculaire	F' (?)
W-16*	Lave vésiculaire	E'
W-15	Lave vésiculaire	D'
W-14	Lave avec quelques "yeux de quartz"	C'
W-13	Lave vésiculaire avec craquelures de contraction peu marquées	C'
W-12	Lave peu vésiculaire avec craquelures de contraction très peu marquées et quelques phénocristaux de feldspath de 2-3 mm	B'
W-11	Lave très vésiculaire	B'
....	Une unité m(V6-2A) intercalée localement entre les coulées W-11 et W-10	
W-10	Lave avec craquelures de contraction marquées	A'
W-9	Lave avec craquelures de contraction marquées et "yeux de quartz"	A'

TABLEAU I (SUITE)

Numéro de la coulée	Lithologie	Coulée composite
W-8**	Lave peu vésiculaire avec craquelures de contraction peu marquées	D (?)
W-7**	Lave vésiculaire	D (?)
W-6	Lave peu vésiculaire, très porphyrique (phénocristaux de feldspath de 1 à 3 mm)	C
W-5	Lave très vésiculaire	C
W-4	Lave avec craquelures de contraction peu marquées et phénocristaux de feldspath de plus de 5 mm (concentration: 2-3%)	B
W-3	Lave très vésiculaire	B
W-2	Lave vésiculaire avec craquelures de contraction peu marquées	A
W-1	Lave très vésiculaire	A

* Coulées composite, comprenant de nombreuses coulées simples

** Coulées très locales, d'extension limitée

TABLEAU II
MODIFICATIONS APPORTEES A LA STRATIGRAPHIE DES COULEES

Nouveau numéro (Cousineau, 1980)	Ancien numéro (de Rosen-spence, 1976)	Raisons de la modification
W-19	...	Représentent des coulées composites
W-18	...	probablement stratigraphiquement
W-17	...	au-dessus de W-16 (Cousineau, 1980)
W-16	W-22, 21, 20, 19 et la section la plus à l'est de W-18	Les coulées W-18 à W-22 de de Rosen-Spence (1976) font parties de la même coulée composite
W-15	W-17 et la partie ouest de W-18	Décalage de numéro, aucune modification
W-14	W-16	Réinterprétation
W-13	une partie de W-13 (au sud-est de Norbec)	Décalage de numéro, aucune modification
W-12	W-15 et la partie supérieur de W-12 (au sud-est de Norbec)	Réinterprétation
W-11	W-14 et la partie inférieur de W-12 (au sud-est de Norbec)	Décalage de numéro, aucune modification
		Réinterprétation

TABLEAU II (SUITE)

Nouveau numéro (Cousineau, 1980)	Ancien numéro (de Rosen-Spence, 1976)	Raisons de la modification
m(V6-2A)	W-11 (au sud-est de Norbec)	Coulée d'extension très limitée et sans critères d'identification précis
W-10	toutes les autres parties de W-13 et la partie de W-10 au sud-est de Norbec	Décalage de numéro, aucune modification
W-9	Toutes les autres parties de W-11 W-12 (au nord de Norbec)	Réinterprétation Décalage de numéro, aucune modification
W-8	W-10	Réinterprétation Décalage de numéro, aucune modification
W-7	W-11 (au nord de Norbec)	Réinterprétation Réinterprétation
W-6	W-8 et W-7	Les caractéristiques des coulées W-7 et W-8 de Rosen-Spence sont trop semblables
W-5	W-6	Décalage de numéro, aucune modification
W-4	W-5 et W-4	W-4 et W-5 de Rosen-Spence sont deux faciès de la même coulée (W-4: massif, W-5: coussinée)
W-3	W-3	Aucune modification
W-2	W-2	Aucune modification
W-1	W-1	Aucune modification

5.1 Introduction

Les laves mafiques sous-marines, aussi bien récentes qu'archéennes, présentent trois structures principales: lave massive, lave coussinée et brèche de coulée. Ces structures sont considérées comme des faciès d'une même coulée de lave (voir Dimroth et al., 1976). Dans ce chapitre, chacun de ces faciès (massif, coussiné et bréchique) sera décrit en détail. Les zones de transitions entre les faciès (comme massif-coussin ou coussin-brèche) sont incorporées dans le texte avec l'un ou l'autre des faciès concernés.

5.2 Faciès massif

5.2.1 Introduction

Généralement de couleur gris-vert à vert foncé, les laves massives présentent un caractère assez homogène dans l'ensemble de la Formation Amulet. Dans ces laves, il y a aussi une absence de variations granulométriques importantes, le grain passant de fin à très fin. Bien que la puissance maximale des coulées de lave épaisses ne dépasse 50 mètres selon la majorité des auteurs (Clifford et Mc Nutt, 1970; Furnes, 1972), Hocq (1979) mentionne des filons-couche de diabase de 100 à 400 m de puissance, qui passent parfois latéralement à des laves basaltiques massives. Dans la Formation Amulet, le faciès massif des coulées varie de 1 mètre à plus de 200 mètres (?) d'épaisseur, et se présente sous deux formes: 1) dans les coulées supérieures (Section d'Alembert, Carte 2), il forme de minces rubans discontinus de 1 à 5 m d'épaisseur qui alternent avec des rubans des faciès coussinés et surtout bréchiques; 2) dans les coulées inférieures, il forme des masses irrégulières de grande épaisseur (jusqu'à 200 mètres) intercalées entre les faciès coussinés et, plus rarement, bréchiques.

5.2.2 Coulées minces

Les coulées minces possèdent aux contacts inférieurs et supérieurs

de minces zones de trempe de quelques centimètres d'épaisseur seulement. Ces contacts, dans les rubans de lave massive, sont généralement nets et leurs surfaces ne sont que légèrement ondulantes. Par contre, les lentilles de lave massive situées à l'intérieur d'épais horizons de brèche de coulée, présentent des contacts bréchifiés (surface très irrégulière); d'ailleurs, une partie des fragments de la brèche environnante provient certainement de ces lentilles de lave massive.

Toutes les laves massives de la partie supérieure de la formation sont très vésiculaires (plus de 30%), aphyriques et sans craquelures de contraction visibles.

5.2.3 Coulées épaisses

Le contact inférieur de cette forme de coulée massive avec les autres faciès n'est que légèrement ondulant, la lave massive ne remplitant que les irrégularités de surface. Aucune trace de flammes renversées telles que celles décrites par Côté et Dimroth (1976) n'ont été trouvées. Le contact supérieur varie de plat et régulier à ondulant; les plus grandes irrégularités s'observent au contact avec le faciès des brèches de coulée. Dans tous les cas, les limites de ces contacts sont nettes. Il y a aussi absence de zones de trempe associées à des zones de fractures au sommet ou à la base des coulées massives comme chez Hargreaves et Ayres (1979). Toutes les parties massives des coulées identifiées se ressemblent entre elles lorsqu'elles sont observées loin des zones de contact avec les autres faciès. Comme déjà mentionné précédemment, il est impossible d'identifier une coulée à partir de sa lave massive, seules des laves porphyriques particulières échappent à cette règle.

En général, ces laves massives présentent une vésicularité faible (moins de 1 ou 2%) et une absence presque totale de phénocristaux. Les vésicules, principalement constituées d'albite, sont de faible dimension (1-2 mm). Par contre, près du contact avec les faciès coussinés ou bréchiques, le pourcentage, la taille et la composition des amygdales se modifient pour devenir semblables à ceux observés dans l'autre faciès. Il en est de même pour la présence des phénocristaux et des craquelures de contraction.

Ainsi, près du contact entre deux faciès d'une même coulée, les caractéristiques (vésicules, phénocristaux, craquelures) de part et d'autre de ce contact sont toujours identiques.

Les colonnades dans les laves massives sont rares et peu développées. Lorsqu'elles sont présentes, elles forment des hexagones réguliers de 30 à 40 cm de section. Localement, il existe aussi des structures polygonales ressemblant plus à des réseaux de fractures ("stockwerk") qu'à de véritables colonnades.

5.2.4 Mode de mise en place des coulées massives

Les coulées minces de lave massive sont des parties (faciès) de coulées de lave interprétées comme étant des coulées unitaires de coulées composites cryptiques (voir section 6.2.2). Ces coulées sont considérées comme n'étant que de simples réavancées de la même coulée. Leurs parties massives s'interprètent donc comme le produit d'une simple pulsion (un lobe). Elles représentent alors une unité de mise en place et de refroidissement de lave liquide.

Notre hypothèse de formation des coulées épaisses de lave massive découle de la série d'observations suivantes.

A l'est de Norbec (fig. 6), la présence d'un niveau vésiculaire persistant qui se relie latéralement à des lentilles discontinues de brèche de coulée sommitale, nous a permis de subdiviser une épaisse séquence massive (200 m) en deux parties, épaisse chacune de 75 à 100 m. Un tel horizon vésiculaire se forme selon nous, dans la partie supérieure d'une coulée de lave riche en gaz, sous la surface de laquelle les gaz restent pris. Le niveau riche en gaz formera après solidification de la lave, l'horizon vésiculaire. Cette hypothèse est confirmée par la présence des lentilles de brèche de coulée sommitale qui sont en continuité latérale avec cet horizon vésiculaire. L'absence de croûte visible à la limite entre ces deux coulées, nous permet de les considérer comme de véritables coulées soudées.

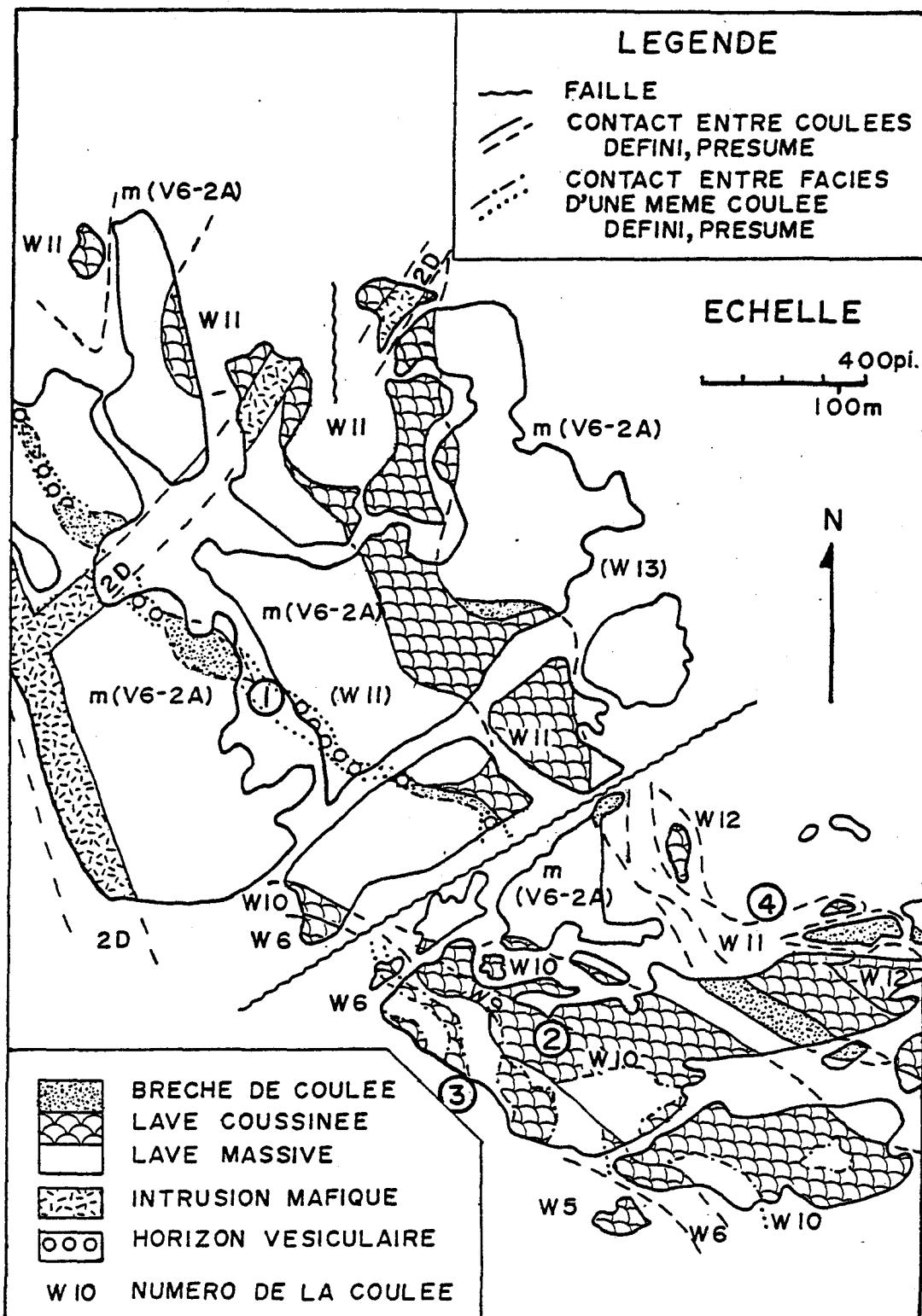


Figure 6- Portion de la Carte I, montrant la partie à l'est de Norbec et ses points d'intérêts. (1)Horizon vésiculaire. (2)Coulée unie.(3) Lits frontaux.(4) Relations du contact W-11/W-12

Ailleurs, légèrement à l'ouest de la mine Norbec, une séquence d'andésite massive identifiée m(V6-2A)/(W-13), renferme trois séries de bandes d'épidote concentriques et séparées, accolées ensemble par leurs bords extérieurs (planche 1). Ce patron est semblable à celui observé aux jonctions entre trois coussins normaux. Nous interprétons donc ce phénomène comme étant une jonction triple entre trois mégacoussins soudés. C'est à dire, des mégacoussins autour desquels il n'y a pas de croûtes de verre visibles. Cette observation nous suggère aussi que certaines grandes coulées de lave massive à granulométrie fine et uniforme, pourraient être constituées par un empilement de tels mégacoussins soudés.

Les deux premières observations citées ci-dessus, n'ont pu être notées ailleurs qu'à un seul endroit. Mais d'une façon plus générale, il existe à l'intérieur de certaines séquences de laves massives, des lentilles de faibles dimensions (1 à 3 m), composées de fragments de brèche et de petits coussins (planche 2). Ces lentilles semblent distribuées au hasard sur des distances de quelques centaines de mètres (fig. 13). Nous les interprétons comme de petits coussins (bourgeons) ayant crû à la surface de la lave massive et qui auraient été rapidement recouverts (et parfois bréchifiés) par une nouvelle réavancée de la lave massive. Elles pourraient aussi être considérées comme du matériel remplissant des jonctions triples entre des mégacoussins soudés ou des lobes de lave massive soudés.

Enfin, à l'intérieur d'autres unités de lave massive, nous avons aussi observé un ensemble de croûtes de coussins aux formes très irrégulières bien visibles mais souvent discontinues (qui ne se refermaient pas sur elles-mêmes). Ce phénomène représente selon nous, une zone de transition lave massive-lave coussinée.

L'absence de variations granulométriques à l'intérieur de ces unités massives et en particulier, l'absence de zone centrale à texture micro-gabbroïque, combinée aux observations déjà mentionnées, suggère que les épaisses séquences de lave massive se sont mises en place sous forme de réavancées répétées et rapides de nombreux lobes de lave massive successifs. Dû à des modifications de l'écoulement (augmentation de la viscosité



Planche 1- Bandes d'épidote concentriques soulignant la présence de trois mégacoussins soudés.
(coulée m(V6-2A)/W-13, à l'ouest de Norbec).

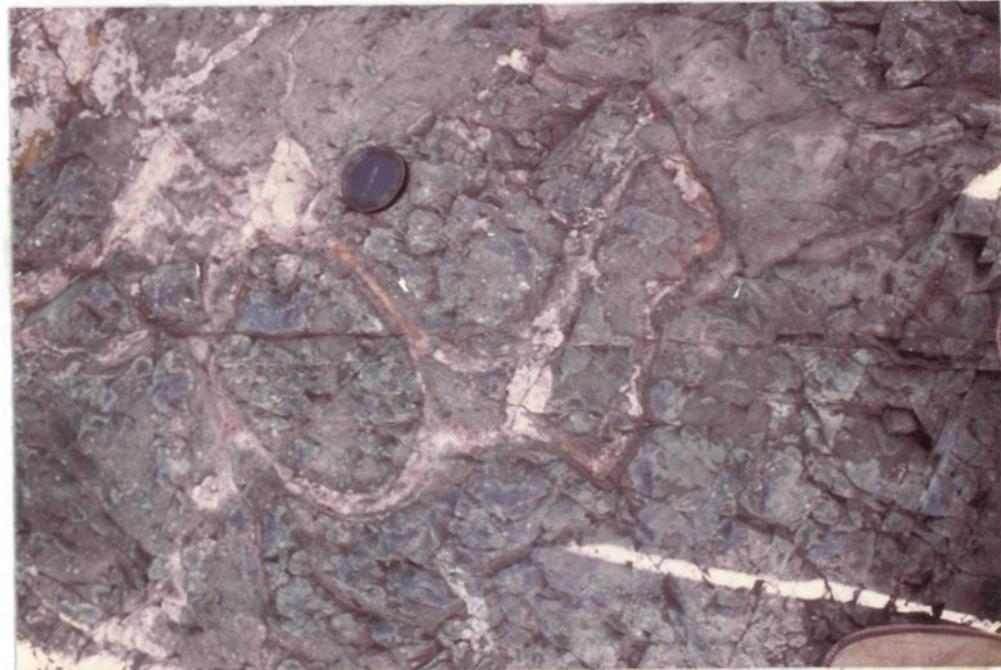


Planche 2- Lentille de brèche et de coussins dans la lave massive.
(coulée W-13, à l'ouest de Norbec).

té, par exemple), ces lobes de lave massive se scindent en mégatubes. A-lors que certains mégatubes ne semblent pas être délimités par des croûtes de verre visibles, d'autres (plus loin de la source ?), en possèdent. Lorsque la zone de scission de lobes de lave massive en mégacoussins à croûtes de verre est visible, celle-ci consiste en un assemblage de croûtes de verre aux formes irrégulières.

5.3 Faciès coussiné

5.3.1 Introduction

Une coulée de lave coussinée est constituée par un empilement serré de nombreux coussins individuels. Pour certains auteurs, le terme "coussin" ne devrait s'employer que pour désigner des sacs de lave isolés sans connexion avec leurs voisins (Arndt, 1973; Bellaïche et Cheminée, 1977). D'autres auteurs (Sigvaldason, 1968; Hargreaves et Ayres, 1979) notent un passage latéral complet entre des sacs fermés et des "coussins" très allongés et parfois interconnectés entre eux. Dans ce travail, nous appellerons coussins toutes structures de forme généralement elliptique; ces structures possèdent une bordure externe composée de verre volcanique et un cœur de matériel plus cristallin.

Les propriétés des coussins (forme, surface, etc...) confirmant l'hypothèse selon laquelle les coussins se forment par propagation de tubes (Lewis, 1914; Moore, 1975; Ballard et Moore, 1977), seront d'abord décrites; ensuite nous décrirons un phénomène de polygonisation qui donne parfois naissance à des pseudo-coussins. Les observations de moindre importance (vésicularité, craquelure de contraction, etc...) sont reléguées à la fin de la section 5.3.

5.3.2 Propriétés

La taille et la géométrie des coussins varient grandement sur l'ensemble de la coulée, ils semblent d'ailleurs reliés entre eux jusqu'à un certain point. Ainsi, les petits coussins (< 30 cm) sont subcirculaires et occupent surtout les interstices entre de plus gros coussins. Certains

d'entre eux sont encore reliés aux plus gros par un étranglement (planche 3A, 3B). Les coussins normaux (30-200 cm) varient en forme d'elliptique à subrectangulaire (forme de matelas) à subarrondie (forme de brioche). Comme Hargreaves et Ayres (1979), nous avons noté que la taille moyenne des coussins de certaines coulées diffère de celle de d'autres coulées.

Les coussins en général se moulent entre eux et l'asymétrie qui en résulte constitue un outil stratigraphique utile et bien connu pour déterminer la polarité de la formation. Malheureusement, le grand axe des coussins n'est pas toujours orienté parallèlement au plan de stratification. Pour une coupe perpendiculaire à la direction de l'écoulement, il existe aussi une asymétrie latérale (le long du grand axe des coussins), avec une surface concave et une surface convexe, qui sert alors à déterminer le sens de l'écoulement (fig. 7). En effet, la surface convexe ne se forme que par une impression d'un nouveau coussin sur un autre plus ancien. Le sens de l'écoulement est donc de la surface concave à la surface convexe. Cette technique est entre autres utilisée par Imreh (1978) pour des laves ultramafiques. Ces coussins possèdent parfois des croûtes réentrant ou des étranglements (pour les rattacher à des mégacoussins).

Les mégacoussins (> 2 m) varient de subarrondis à subrectangulaires et se moulent entre eux. Plusieurs de ces coussins, surtout dans les zones de transition, possèdent de nombreuses croûtes incomplètes (planche 4A) et ils s'entourent fréquemment de coussins plus petits parfois reliés à eux soit par des étranglements ou par des croûtes très minces (planche 4B).

En se basant sur la taille et la géométrie des coussins constituant les empilements, ceux-ci peuvent se subdiviser en deux variétés. Une première variété hétérogène est présente dans les zones de transition massif-coussins. Cette variété est constituée des mégacoussins aux formes très irrégulières, reliés entre eux et entre lesquels des coussins plus petits sont présents. Les empilements constitués par plusieurs coussins de taille semblable entourant quelques mégacoussins épars font aussi partie de cette variété. Il existe aussi une seconde variété constituée uniquement par des coussins de taille semblable et appelée variété homogène. Ces deux variétés sont transitionnelles entre elles.

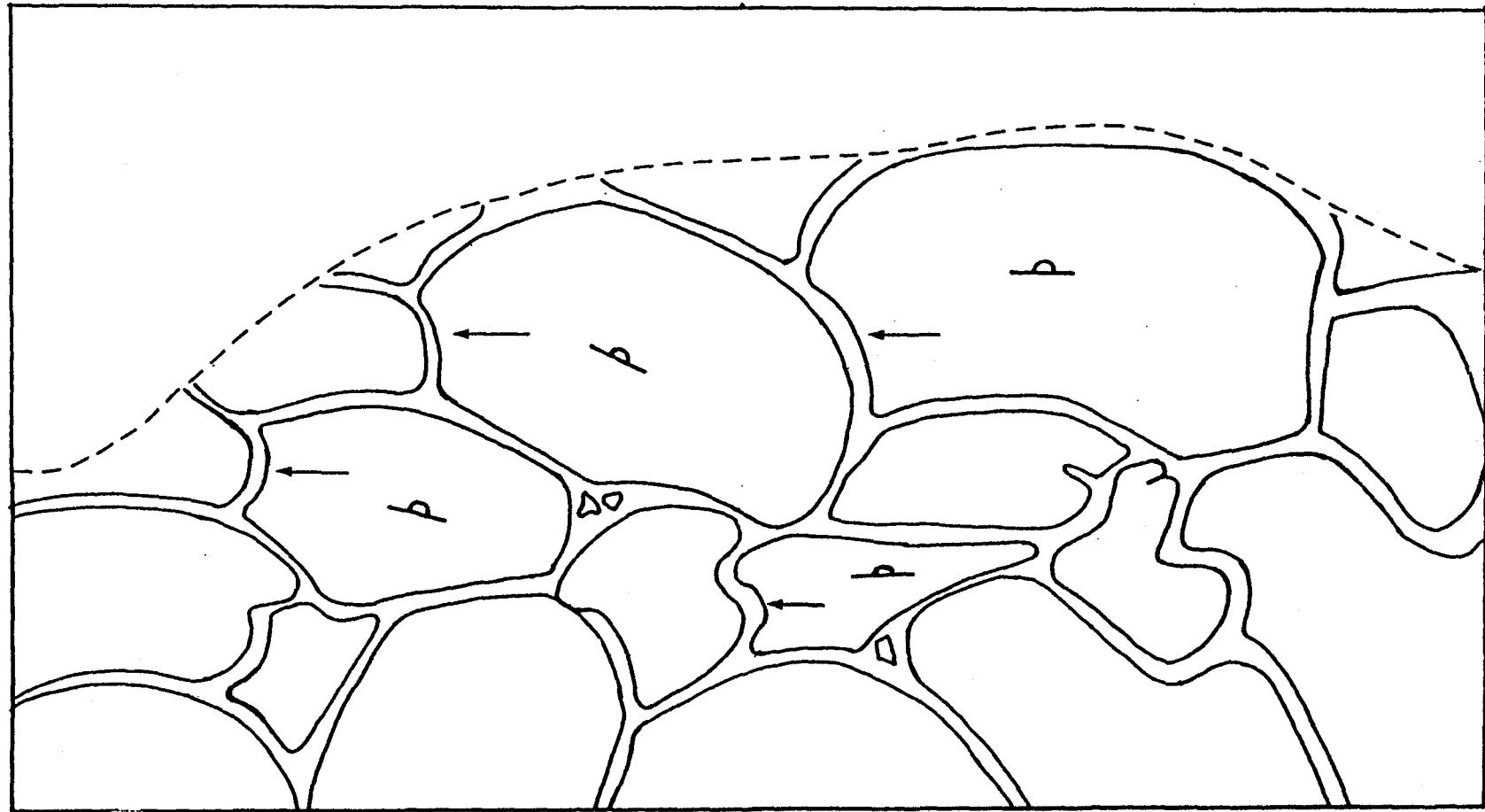


Figure 7- Exemple de détermination du sommet stratigraphique (Δ) et du sens de l'écoulement (\leftarrow) dans un empilement de coussins. Agrandissement d'une photographie.



Planche 3A- Petit coussin ayant crû par bourgeonnement et relié à son "parent" par un étranglement. (coulée W-6)



Planche 3B- Série de petits coussins séparés et un coussin-bourgeon entre de plus gros coussins. (coulée W-6)



Planche 4A- Mégacoussins en formation reliés ensemble.
Ensemble de croûtes irrégulières.
(coulée W-4)



Planche 4B- Bourgeon relié à un coussin plus gros par
une croûte très mince.
(coulée W-6)

La présence des croûtes incomplètes, croûtes réentrant et des étranglements suggère que la plupart des coussins sont reliés entre eux et représentent donc des tubes interconnectés (voir Hargreaves et Ayres, 1979). Cette hypothèse est confirmée par la découverte d'un affleurement avec des coussins dégagés en trois dimensions. A cet endroit, de véritables tubes sont présents. Ceux-ci, exposés sur plus de 4 mètres, ont un diamètre à peu près constant de 70 cm sur toute leur longueur. De plus, à partir du tube principal, il se forme régulièrement des tubes secondaires de dimensions (sections) semblables au tube principal. Les embranchements de ces tubes secondaires sont bien visibles et forment un angle faible dans le plan de stratification. La direction de l'embranchement donne donc le sens de l'écoulement (planche 5).

Sur notre terrain, il a été impossible d'isoler des coussins individuels représentant des sacs fermés de lave, dû à un manque d'affleurements propices. Par contre, de tels sacs ont été échantillonnés ailleurs (Dimroth et al., 1978). Un empilement de coussins se constitue donc majoritairement de tubes avec quelques coussins isolés.

Cet empilement de coussins se forme principalement par: 1) croissance des tubes, selon un processus similaire aux observations de Moore (1975), mais aussi par 2) ramification des tubes de première génération (selon l'idée de Lewis, 1914); c'est à dire, subdivision en un seul endroit, simultanément, du "tube" original (mégatube ou chenal secondaire) en de nombreux tubes de diamètre beaucoup plus petit (seconde génération). Les mégacoussins sont considérés comme de tels tubes nourriciers à partir desquels les coussins normaux (tubes) croîtraient. Les petits coussins représenteraient quant à eux des bourgeons (coussins bulbeux) sur un tube (coussin normal). Il est aussi possible que des bourgeons aient pu se détacher complètement pour ainsi former de véritables coussins isolés (sacs).

Malgré l'étude de très nombreuses surfaces de coussins, il a été impossible de trouver des traces des stries et des fractures parallèles ("fault scarp") décrite par Moore (1975), Ballard et Moore (1977) et Belhaïche et Cheminée (1977).

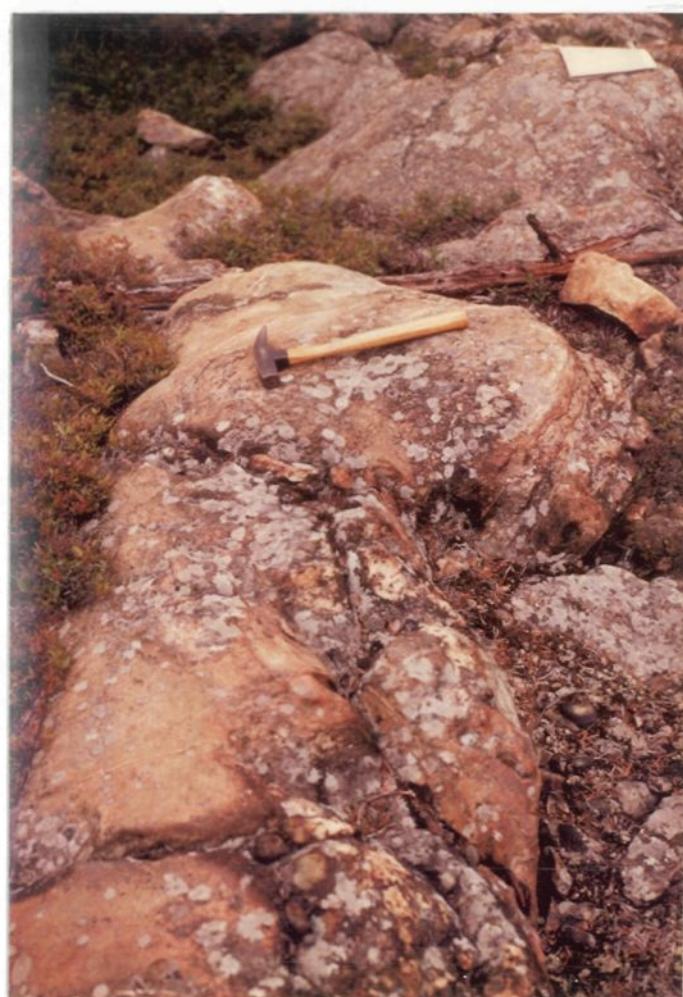


Planche 5 - Coussins vus en 3 dimensions.
Tubes avec embranchements.
(coulée W-18).

5.3.3 Polygonisation des coussins

Alors que la plupart des coussins de notre région se forment sans doute par le processus dynamique déjà décrit, la découverte d'un phénomène de "polygonisation" semble indiquer qu'une formation de coussins, ou du moins de pseudo-coussins, est également possible par un processus statique. En effet, localement, des coussins se sont désintégrés en polygones de 10 à 30 cm de section dont les bordures sont parfois constituées par une mince croûte de verre (planche 6A, 6B). Entre certains de ces polygones adjacents l'un à l'autre, des craquelures de contraction se poursuivent de l'un à l'autre. Fréquemment, ces polygones sont encore rattachés à un coussin reconnaissable et présentent toute la gamme de transition entre des blocs véritables. Ils peuvent être considérés comme des structures de pseudo-coussins puisqu'ils ont une croûte de verre et parfois du matériel hyaloclastique entre les deux. Une telle polygonisation existe aussi dans les laves ultramafiques où elle est connue sous le nom de réseau de fentes de retrait (Imreh, 1978).

Le processus de formation de ces pseudo-coussins est envisagé ainsi: à la surface du coussin, alors que l'intérieur est encore liquide, se forme une fracture. Dans le processus dynamique, la pression du liquide qui circule dans le tube (coussin) est suffisante pour produire une expulsion de lave liquide à l'extérieur (pouvant ainsi former entre autres un bourgeon). Dans un processus statique, la lave ne coule plus et la pression extérieure devient supérieure à la pression interne du liquide, il n'y a donc pas expulsion de celle-ci vers l'extérieur lors de la fracturation. Sous de telles conditions, il y a propagation des fractures thermiques vers l'intérieur du coussin. L'eau pénètre dans ces fractures, refroidit la lave environnante et forme ainsi une "croûte". Par propagation successive de cette fracture et refroidissement rapide de la zone de lave avoisinante, un pseudo-coussin peut se former par un processus statique (fig. 8).

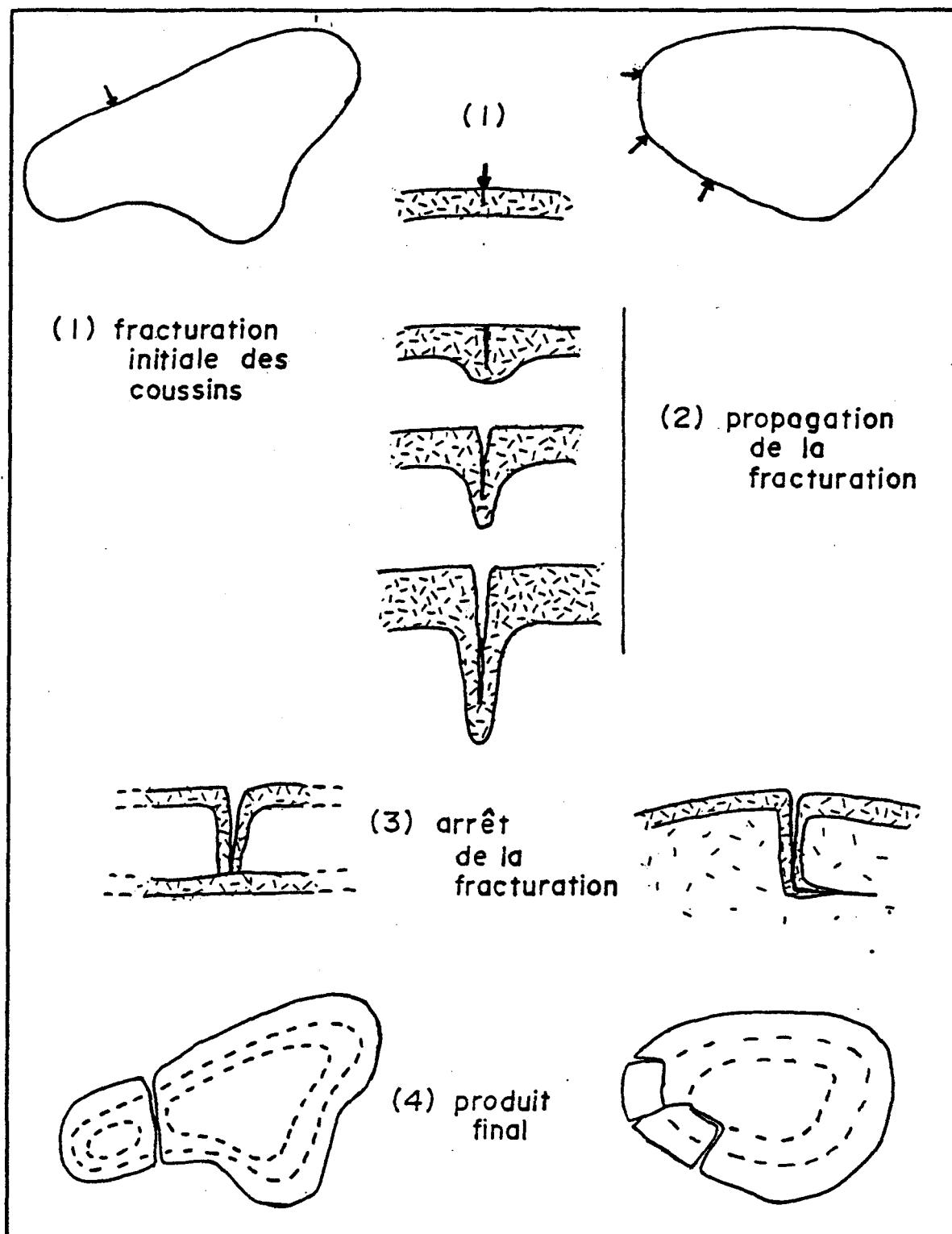
Cette croissance statique se termine soit lorsque le coussin original est entièrement séparé, soit lorsque la lave de la partie interne du coussin est devenue suffisamment cristallisée pour arrêter le phénomène. Dans un tel cas, la fracture ouverte peut changer de direction et suivre



Planche 6A- Pseudo-coussins formés par polygonisation.
(coulée W-6).



Planche 6B- Détail de 6A. Présence de croûtes de verre et de hyaloclastite (?) autour des polygones.



Figur 8- Formation de pseudo-coussins par polygonisation.

une fracture de contraction thermique subconcentrique. Le résultat final est la formation de blocs limités par des croûtes de verre fréquemment incomplètes. Ces polygones se développent principalement en suivant les réseaux de fractures de contraction thermique radiales et concentriques d'un coussin.

Une polygonisation de coussins d'un autre type est aussi observée: dans certains coussins, un horizon de petits polygones de 1 à 5 cm de section, d'aspect subrectangulaire se forme parfois à l'intérieur du coussin. Ce type de polygones ne possède pas de croûtes de verre et représenterait plutôt une altération tardive ayant affecté principalement la marge du coussin (planche 7).

5.3.4 Observations de moindre importance

Entre les divers coussins adjacents d'un empilement, il n'y a que peu ou pas de matériel hyaloclastique et bréchique. Lorsque présent, ce matériel apparaît surtout au niveau des jonctions entre trois coussins limitrophes (appelés ici jonctions triples). Dans certains cas, le matériel bréchique et hyaloclastique est en quantité importante et peut envelopper alors les coussins ou former des bandes de brèche à l'intérieur d'un empilement de coussins. Ces cas représentent des zones particulières traitées en détail dans le chapitre des brèches.

Dans la Formation Amulet, la vésicularité des coussins passe de moins de 1% à plus de 30%. La grandeur des vésicules varie de 1 mm à plusieurs centimètres de diamètre. Le matériel de remplissage se compose fréquemment d'épidote fibroradiale (planche 8) (possiblement en pseudomorphe après un zéolite); plus généralement, il s'agit d'un mélange de chlorite, albite, quartz et epidote en proportions très variables. Certaines grandes amygdales (1-6 cm) constituées de quartz présentent une texture de remplissage. Les yeux de quartz sont constitués d'un mélange irrégulier de quartz avec epidote et chlorite.

Les coussins présentent souvent un enrichissement en vésicules dans



Planche 7 - Petits polygones formés en bordure des coussins.
(coulée W-2)

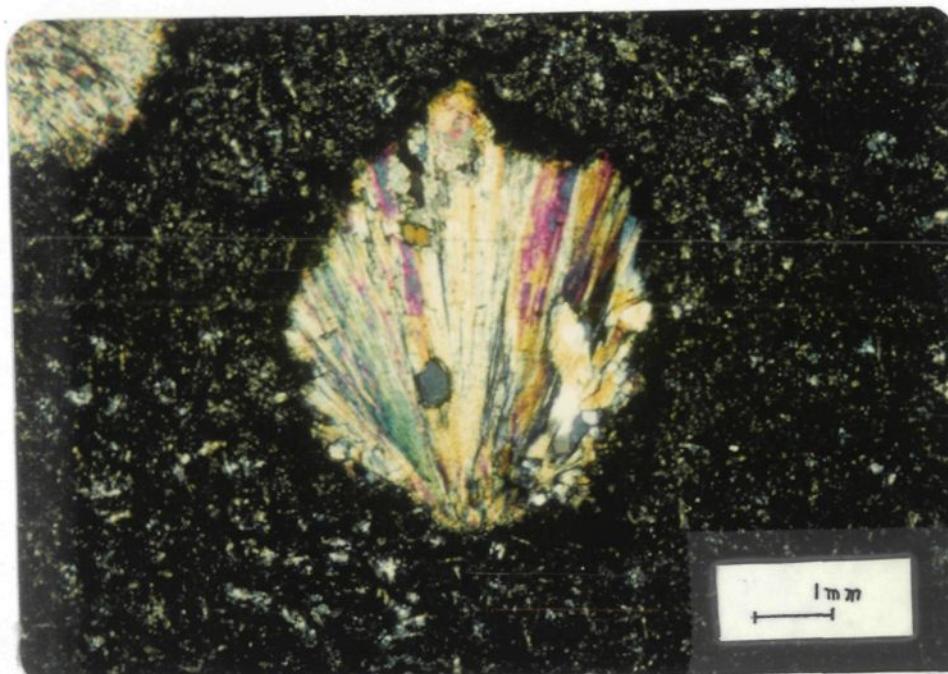


Planche 8 - Distribution fibroradiale de l'épidote dans les vésicules. Microphotographie, lumière polarisée.

la zone de la marge et dans la partie supérieure du coussin. Dans la marge externe, certaines vésicules présentent parfois un aspect allongé avec leur grand axe parallèle aux parois du coussin. Enfin, de grandes vésicules tubulaires de 3 mm à 25 mm de long sont aussi présentes, elles sont orientées radialement par rapport au centre du coussin.

Peu de coulées sont véritablement porphyriques. Les phénocristaux présents sont presque uniquement des plagioclases qui se composent actuellement d'albite et d'épidote avec des quantités moindres de chlorite, de séricite et de calcite. Leur taille varie de 1 mm à près de 7 mm. La présence des phénocristaux s'observe surtout dans la bordure des coussins où ils s'orientent fréquemment de façon parallèle au pourtour de cette bordure. La reconnaissance des phénocristaux dans la bordure est facilité grandement par la différence des couleurs de l'altération superficielle des phénocristaux (en blanc) et du matériel constituant la bordure (en noir). La très faible granulométrie de ce matériel y fait aussi ressortir la présence des petits phénocristaux, invisibles dans la partie centrale plus cristalline des coussins.

Deux systèmes de fractures de contraction thermique existent dans les coussins: un système subconcentrique et un système radial. Le système subconcentrique est en fait constitué de deux séries de fractures avec un angle de 10° à 30° entre elles. Ces fractures forment généralement une structure concentrique fermée et répétée, épousant la forme des contours du coussin (planche 9A). Dans certains cas, par contre, elles ne sont pas entièrement fermées et ont alors l'aspect d'une succession de croissants. Ces "croissants" apparaissent surtout dans la partie supérieure des coussins (L'Espérance, 1971) et dans leur partie à surface convexe. Certains coussins présentent un système de fractures concentriques beaucoup plus développé que d'autres. En général, ce système de fractures est toujours présent dans la croûte, fréquemment présent dans la zone de bordure (bordure externe surtout), parfois présent dans la partie externe du coeur et rarement présent dans la partie interne du coeur. L'épaisseur de ces fractures concentriques, de même que l'espacement entre chacune, augmente de la croûte vers le coeur (planche 9B). Dans les coulées où les fractures sont prononcées, les petits coussins ont, plus fréquemment que les autres,



Planche 9A- Craquelures de contraction thermique dans un coussin.
(coulée W-10)

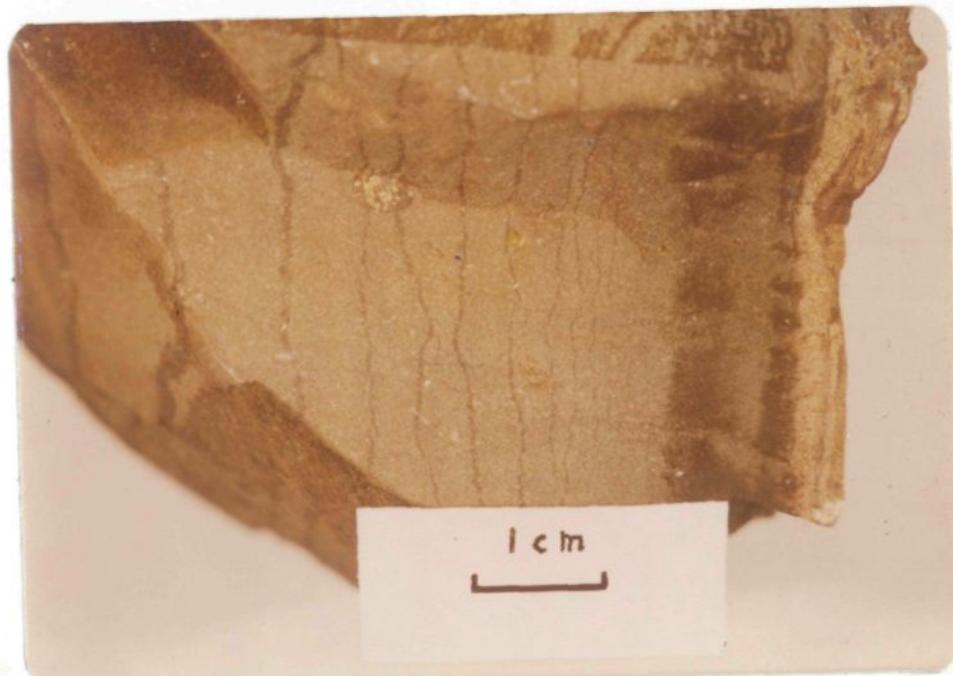


Planche 9B- Augmentation de l'espacement et de la dimension des craquelures dans la zone de bordure d'un coussin.
(coulée W-10)

des fractures jusque dans le cœur. Le matériel de remplissage se compose de chlorite et d'actinote avec des quantités variables d'épidote et d'albite. Dans quelques rares cas, ce matériel est uniquement constitué d'albite.

Le système radial se superpose sur le système concentrique, mais est en général moins bien développé. Le centre de radiation se situe au centre du coussin ou juste sous le centre géométrique du coussin (fig. 9). Aucune structure de colonnade radiale n'a été découverte dans nos coussins.

5.4 Faciès bréchique

5.4.1 Introduction

Nous discuterons maintenant des divers types de brèches associées aux autres faciès des coulées mafiques sous-marines. L'accent est d'abord mis sur les brèches de coulée qui recouvrent parfois de vastes superficies et constituent le type de brèche le plus étudié à ce jour (Carlisle, 1963; Sigvaldason, 1968; Furnes, 1972; Dimroth et Côté, 1976).

Par contre, diverses zones de brèche, de dimensions variables, nous sont apparues comme ne pouvant être interprétées comme des brèches de coulée. Ces zones de brèche présentent des caractéristiques assez différentes pour constituer un autre (nouveau) type de brèche appelé brèche d'effondrement. Ce type de brèche sera donc décrit en détail à la fin de ce chapitre.

5.4.2 Brèche de coulée

Dimroth et al. (1978) décrivent l'organisation des brèches de coulée et y reconnaissent trois variétés de brèches; celles-ci étant transitionnelles entre elles verticalement. Ce sont: 1) brèche à coussins isolés, composée de coussins complets à l'intérieur d'une matrice hyaloclastique; 2) brèche à coussins brisés, composée de fragment de coussins à l'intérieur d'une matrice hyaloclastique; 3) au sommet, la brèche à fragments (brèche à polygonite de trempe de Dimroth et Rocheleau, 1979), constituée par un

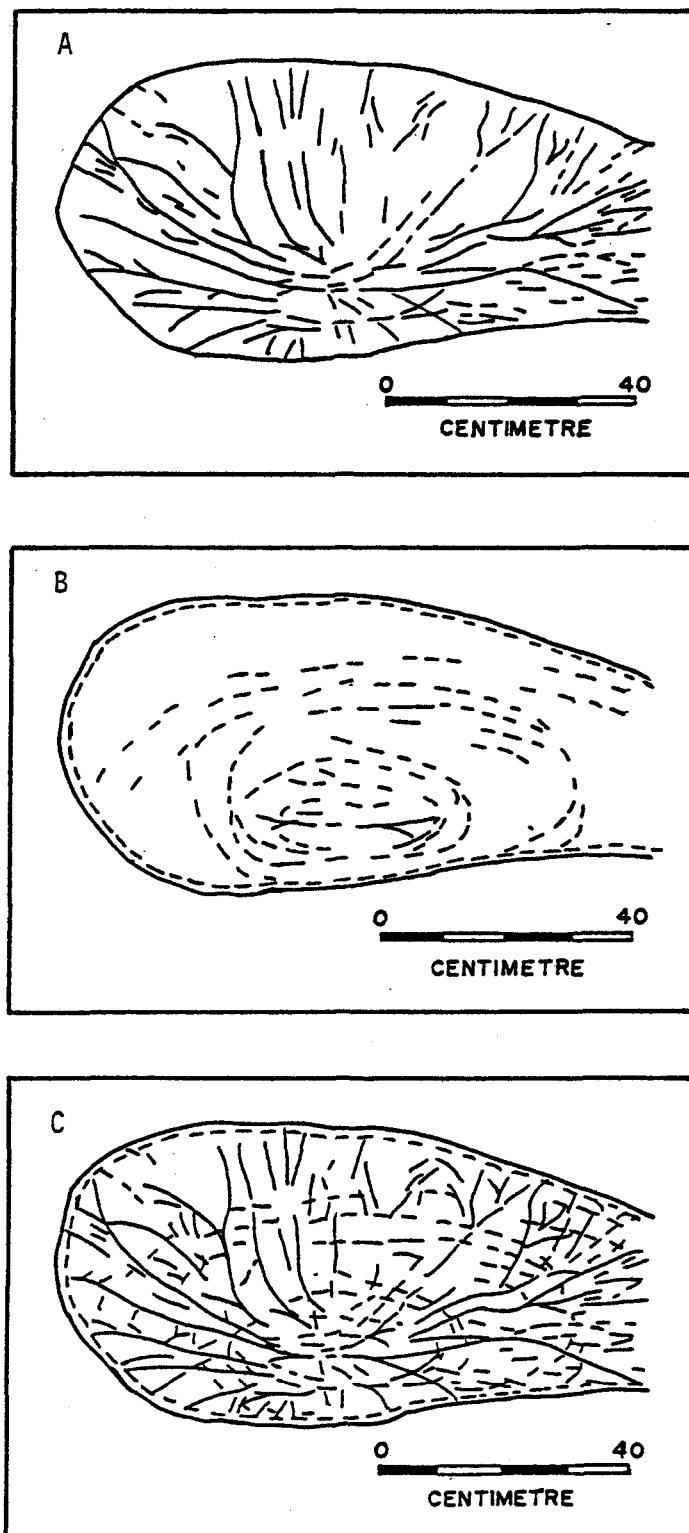


Figure 9- Réseaux de craquelures radiales (A) et concentriques (B). Les deux réseaux superposés en C. Tirée de Dimroth et al. (1978).

empilement dense de petits fragments de coussins entre lesquels il y a peu de hyaloclastite (fig. 10). Cette dernière variété n'avait pas été mentionnée dans les travaux antérieurs de Carlisle (1963), de Sigvaldason (1968) ou de Furnes (1972).

Sur notre terrain, ce type de brèche structuré n'apparaît qu'au dessus des séquences de lave massive. La variété de coussins isolés est la plus rare; les coussins présents sont généralement petits (10-30 cm) et de forme arrondie à elliptique. Quelques coussins plus grands ont une forme plutôt amiboïdale. Tous les coussins peuvent être fracturés et les fractures sont alors remplies de hyaloclastite. En général, c'est la variété brèche de coussins brisés qui est la mieux développée.

La fragmentation a été étudiée dans les quelques rares zones de brèche à coussins isolés et plus fréquemment, à l'intérieur des brèches de coussins brisés. La bréchification s'effectue en place (*in situ*) sur les coussins et les fragments de coussins; les fractures suivent les systèmes de fractures de contraction radiales et concentriques, et la bréchification se fait alors surtout par exfoliation (planche 10). Ainsi que le note Furnes (1972), le résultat produit des "blocs" en partie ou totalement subrectangulaires, sans croûte de verre pour les parties internes et avec cette croûte pour les parties externes. Les petits fragments se trouvent autour ou entre de plus gros fragments aux formes irrégulières (planche 11).

La transition entre brèche de coulée et la partie massive se fait d'abord par diminution de la quantité de matrice hyaloclastique entre les coussins. Le contact lui-même semble constitué par une suite éparse de coussins prenant naissance sur la surface irrégulière de la partie massive. Parfois la surface du contact est très irrégulière (présence de nombreuses protubérances) et possède un aspect bréchifié.

Cette organisation des brèches de coulée est nettement absente dans les rubans de brèche de coulée des coulées composites cryptiques de la Section d'Alembert (W-16, W-17, W-18 et W-19). On y observe plutôt un mélange complet entre les fragments de coussins, les petits coussins elliptiques (planche 12), les coussins amiboïdes (planche 13) et les lentilles

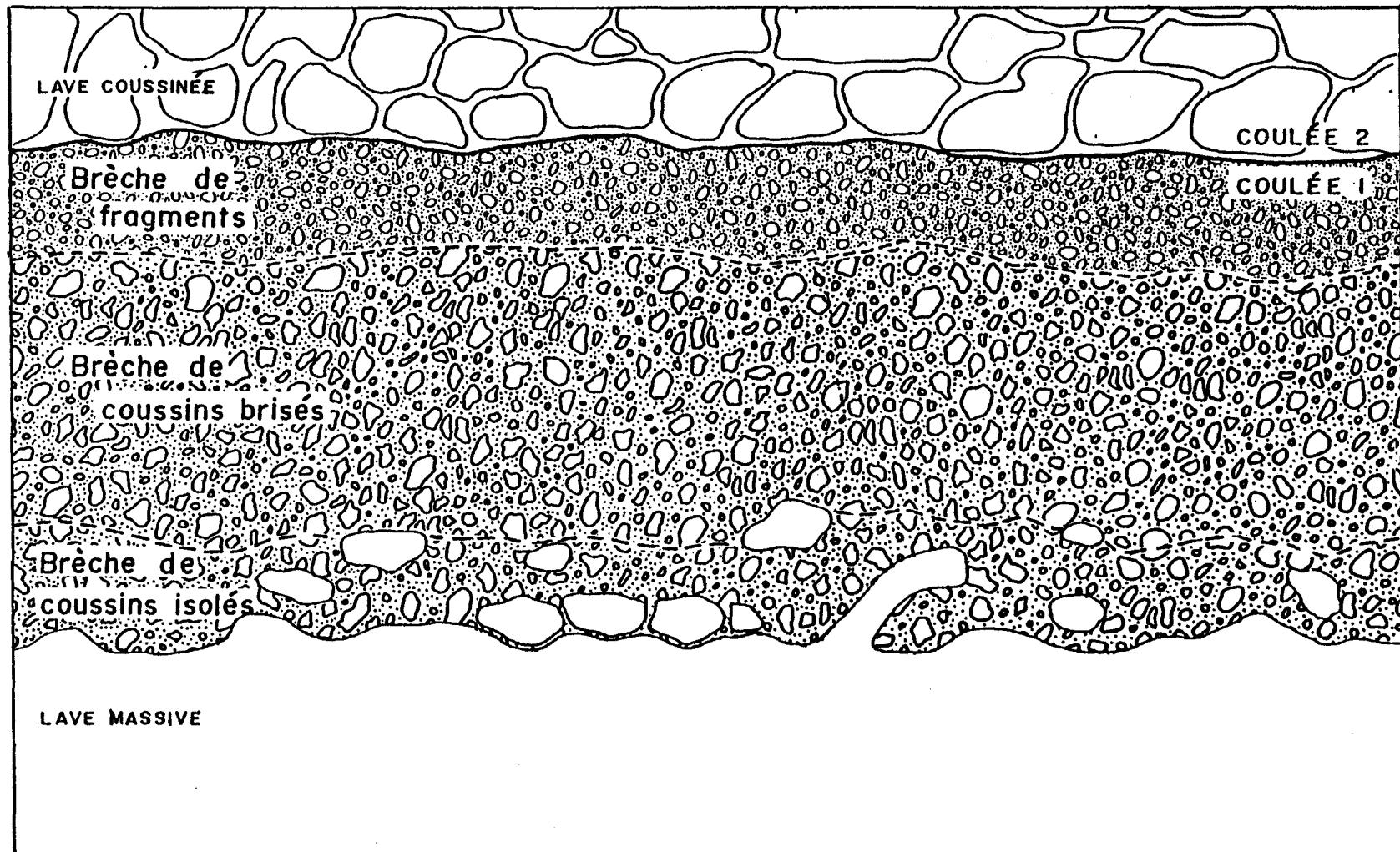


Figure 10- Organisation d'une brèche de coulée sommitale au-dessus d'une unité de lave massive.

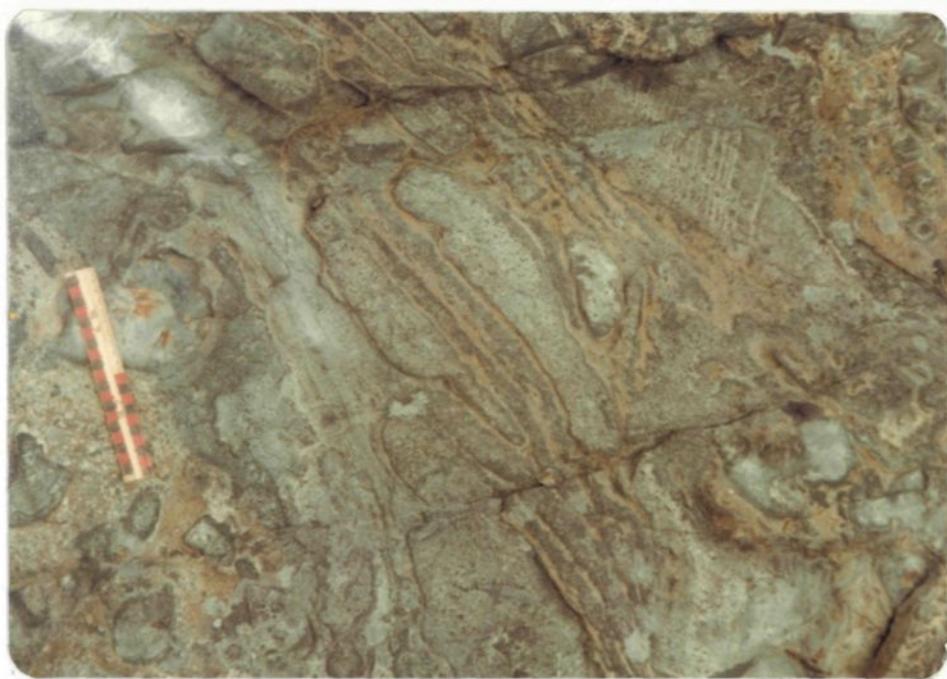


Planche 10- Bréchification produite par exfoliation.
Fragments allongés et parallèles entre eux.
(coulée W-16).



Planche 11- Petits fragments provenant de la désintégration de fragments plus gros et de petits coussins.
(coulée W-16)



Planche 12- Petits coussins elliptiques avec des fragments de coussins. Le crayon mesure 15 cm.
(coulée W-15)



Planche 13- Coussins amiboides.
(coulée W-16)



Planche 14- Petite lentille de lave massive (coin supérieur gauche) dont la bordure est entièrement bréchifiée.
(coulée W-16)

de lave massive (planche 14). La proportion de matériel hyaloclastique constituant la matrice entre ces éléments peut varier et peut atteindre jusqu'à 75-80%. Les grands coussins amiboides et les lentilles de lave massive ont généralement des bordures bréchifiées.

Les contacts entre ces rubans de brèche de coulée et les rubans de lave massive et coussinée inférieurs ou supérieurs sont généralement nets et peu ondulants. Ceci nous porte à croire que les rubans de lave massive sont peut-être des mégatubes (ou des petits lobes de lave massive) vus en section longitudinale.

Nous n'avons pas trouvé de structure de flamme ou d'imbrication dans ce type de brèche comme Côté et Dimroth (1976). Par contre, les fragments entourant les coussins amiboides et les lentilles de lave massive se disposent parfois de façon à former un patron subconcentrique (le grand axe des petits fragments est parallèle aux contours du gros fragment) ou en gerbe.

5.4.3 Brèche d'effondrement

Divers phénomènes ont été observés et interprétés comme étant des brèches d'un type particulier appelé brèche d'effondrement. De telles brèches d'effondrement se produisent selon nous, lors de l'effondrement des parois de tubes vides ou partiellement vides; dans ce deuxième cas, ils contiennent soit de la lave solidifiée soit de la lave encore liquide. Cet effondrement de parois de tubes survient lorsque la pression, exercée par la lave liquide dans les tubes sur leurs parois, devient inférieure à celle exercée à l'extérieur, par l'eau de mer. Plusieurs variétés de brèches d'effondrement existent.

Une première variété a été observée d'abord, à l'intérieur d'un groupe de mégacoussins situés en bordure du faciès massif de la même coulée. A cet endroit, il existe des mégacoussins entourés de nombreux "rubans" de lave très minces (2-4 cm). Ces minces rubans ne présentent de bordures de trempe que d'un côté (le côté externe): nous les interprétons donc comme étant des croûtes successives du mégacoussin. Entre ces croûtes

successives, il n'y a que peu ou pas de hyaloclastite (planche 15). Nous considérons que de tels phénomènes résultent d'effondrements rapides et répétés de la croûte d'un tube. Ces effondrements de croûtes se produisent lors de faibles réductions répétées du volume de la lave circulant dans le tube. Une nouvelle croûte se forme alors après chaque effondrement, car la différence de température entre la lave liquide et le milieu extérieur demeure suffisamment grande pour le permettre.

Une seconde variété consiste en de minces lentilles de matériel bréchique localisées entre des coussins. Cette seconde variété n'a été observée que dans la coulée W-12, à l'ouest de Norbec. A cet endroit, le matériel de remplissage entre les fragments de la brèche est de l'épidote plutôt que de la hyaloclastite (planche 16). Pour nous, ces lentilles résultent de l'effondrement des parois de "chambres" vides, localisées dans la partie supérieure des coussins. Ces chambres avaient été créées par une réduction du volume de lave circulant dans le tube qui laisse un vide après la solidification du reste de la lave liquide présente dans le tube. L'effondrement des chambres vides est tardif, tel que le démontre la nature du matériel de remplissage. La présence de telles chambres vides et de leur effondrement a d'ailleurs été décrit par Ballard et Moore (1978), dans des tubes de lave de la dorsale médio-atlantique.

Dans certains cas, après l'effondrement d'un tube évidé, il a été observé que la forme du coussin était encore soulignée par l'arrangement des fragments; par contre, elle disparaît si les fragments ont été déplacés de plus de quelques centimètres.

Alors que les autres types de brèche d'effondrement se retrouvent de préférence à l'intérieur d'un empilement de lave coussinée, le type suivant a été observé à la limite entre les faciès massif et coussiné d'une même coulée. Le meilleur exemple se situe à l'ouest de Norbec, dans la coulée W-10 (fig. 13).

Ce type de brèche d'effondrement est constitué par une brèche en partie semblable à une brèche de coulée mais qui renferme une proportion plus élevée de fragments de croûte de coussins et surtout une absence de



Planche 15- Croûtes successives de deux mégacoussins adjacents
(coulée W-10)



Planche 16- Lentille de brèche d'effondrement tardive dans un empilement de coussins.
(coulée W-12)

petits coussins elliptiques ou de coussins amiboides. Par contre, de véritables coussins sont fréquemment présents à l'intérieur de cette brèche (planche 17) et il y a un passage graduel entre des coussins "isolés" et l'empilement de lave coussinée adjacent (qui est constitué de coussins serrés les uns sur les autres). En effet, alors que des coussins sont entièrement isolés les uns des autres par du matériel bréchique proche du contact de la brèche et de la lave massive, plus loin du contact, la quantité de matériel bréchique entre les coussins diminue rapidement puis disparaît totalement. Nous interprétons l'ensemble du matériel bréchique situé entre les coussins, comme une brèche d'effondrement produite lors de l'effondrement des parois de tubes en partie vides et à l'intérieur desquelles une faible quantité de lave liquide circulait encore au moment de l'effondrement. Les coussins présents dans cette brèche d'effondrement représentent des tubes connectés avec la lave massive plus loin en amont et qui n'ont pas subi de réduction de volume de la lave liquide y circulant.

5.5 Tuf

Peu de tufs sont présents dans l'ensemble de la formation et aucun hyalotuf ne fut trouvé. Tous ces tufs sont de composition mafique, de grain fin à moyen et aphyriques. Les seules structures sédimentaires présentes sont de rares granoclassements. Une minéralisation faible (1-10%) existe dans la majorité d'entre eux et consiste principalement en lits de pyrite ou de pyrrhotine; un seul présente une minéralisation dissiminée en chalcopyrite-sphalérite-pyrite.

L'extension des lits varie de quelques dizaines à quelques centaines de mètres et leur épaisseur, de quelques dizaines de centimètres à un peu moins de 75 cm.



Planche 17- Coussins isolés, entourés de brèche d'effondrement. Faciès de levée.
(coulée W-10)

6.

ORGANISATION DES COULEES

6.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous examinerons d'abord les passages latéraux et verticaux entre les faciès que nous avons relevés sur le terrain, puis la disposition générale des coulées identifiées dans la zone d'étude. Enfin, les variations latérales et verticales entre les diverses coulées de la Formation Amulet, que soulignent les changements périodiques ou réguliers de leurs propriétés, seront analysées.

Deux particularités du terrain étudié en font une zone privilégiée pour de telles études. D'abord, en général, l'absence de critères d'identification définissant des coulées spécifiques, ne permet pas de suivre une coulée donnée d'un affleurement à l'autre. Par contre dans notre région, nous avons pu établir une stratigraphie précise des coulées. Deuxièmement, les roches d'âge archéen ont généralement un pendage vertical, ce qui ne permet pas d'obtenir une vue claire des relations précises entre deux faciès en trois dimensions. Cependant, dans une partie de la région, des pendages faibles 15° à 25° et un relief prononcé permettent d'obtenir une vue partielle en trois dimensions, des relations entre faciès.

6.2 Organisation des faciès d'une coulée

6.2.1 Organisation générale

De nombreux auteurs ont déjà reconnu l'existence d'une organisation des divers faciès de laves mafiques sous-marines (Re, 1963; Carlisle, 1963; Dimroth et al., 1978). Dans la Formation Amulet, la séquence idéale de Dimroth et al. (1978) comprenant la lave massive à la base et au dessus, la lave coussinée puis la brèche de coulée et enfin le hyalotuf, ne se retrouve nulle part. En effet, il n'y a aucun hyalotuf et en plus, il y a aussi fréquemment une omission d'au moins un faciès.

Ainsi dans l'empilement étudié, on retrouve principalement les séquences suivantes: 1) la lave massive recouverte de lave coussinée seule-

ment ou 2) la lave massive avec une brèche de coulée au-dessus. La séquence 1 est présente surtout à la base de la formation alors que la séquence 2 se retrouve de préférence dans la partie supérieure de celle-ci.

Dans les coulées de la Formation Amulet, les variations latérales observées sont généralement les mêmes partout. Le faciès massif tend à être présent dans la partie sud de la coulée alors que le faciès coussiné se trouve de préférence dans la partie nord.

A l'intérieur de l'empilement de lave coussinée, il existe deux variétés de coussins. La première variété est constituée par un assemblage de coussins tous de taille semblable et pour cette raison, elle est appelée variété homogène. La deuxième variété est constituée par un assemblage de coussins de taille différente où quelques gros coussins (mégacoussins) sont entourés par de plus petits coussins. Ces petits coussins sont aussi fréquemment reliés à un mégacoussin par un étranglement (planche 3A) ou une croûte très mince (planche 4B). La deuxième variété, appelée variété hétérogène, s'observe moins fréquemment que la première. Les deux variétés de coussins sont entièrement transitionnelles entre elles, et la variété hétérogène se retrouve généralement entre le faciès massif et la variété homogène du faciès coussiné.

Enfin, il existe aussi parfois, entre la variété hétérogène du faciès coussiné et le faciès massif, une zone (décrise dans la section du faciès massif) qui est constituée par un ensemble irrégulier de croûtes de coussins et qui a été interprétée comme une zone de scission de la lave massive en mégatubes (mégacoussins) individuels.

L'ensemble des observations décrites jusqu'à maintenant nous suggère donc bien que les faciès massif et coussiné sont transitionnels entre eux. La zone de transition entre les deux est constituée par des mégacoussins.

Malheureusement, les coulées dans lesquelles le passage de lave massive à lave coussinée est observable, n'ont pas une extension latérale suffisante pour pouvoir documenter un passage entre le faciès coussiné (ou le faciès massif) et le faciès bréchique. En effet, l'absence d'affleurements

au nord des zones déjà décrites et la présence d'une grande faille régionale dans ce secteur qui délimite une partie de la caldera de Noranda, nous empêche d'y poursuivre les coulées. En général le dernier faciès présent en bordure de cette faille (appelée faille du Ruisseau Vauze) est le faciès coussiné.

Notons par contre que Dewitt et Stern (1978) entre autres, ont observé un passage latéral (transitionnel ?) entre lave coussinée et brèche de coulée, puis entre une brèche de coulée et un hyalotuf.

6.2.2 Organisation particulière

Coulée composite cryptique

L'organisation de telles coulées a déjà été présentée et nous n'y reviendrons pas. Cependant, rappelons que les diverses coulées unitaires constituant ces coulées composites se comportent aussi comme une rivière à chenaux tressés. Malheureusement, il n'existe pas de zone montrant un passage entre des chenaux de lave massive recouverts par des coussins et ces chenaux de lave massive et/ou coussinée recouverts par une brèche de coulée.

Par contre, à l'intérieur de la coulée W-16 (fig.11) une partie de rubans de brèche de coulée et de lave massive constituant cette coulée composite cryptique présente une structure particulière. En effet, il est observé que leur orientation n'est pas exactement parallèle à celle des autres unités de la coulée. En fait, dans la partie sud de l'affleurement, ils se terminent même abruptement et avec un angle assez fort (20° - 30°) sur l'unité sous-jacente qui est une grande lentille de lave coussinée. Parfois, l'orientation de la terminaison de 1 ou 2 de ces rubans tourne et devient parallèle au contact sous-jacent.

Une telle structure est interprétée comme étant des lits frontaux. L'ensemble de ces lits frontaux constitue une brèche de coulée frontale entièrement sous-marine (flow foot breccia). L'organisation de cette brèche frontale est semblable à celle de la brèche frontale décrite par Moore et al. (1973), (voir fig. 12).

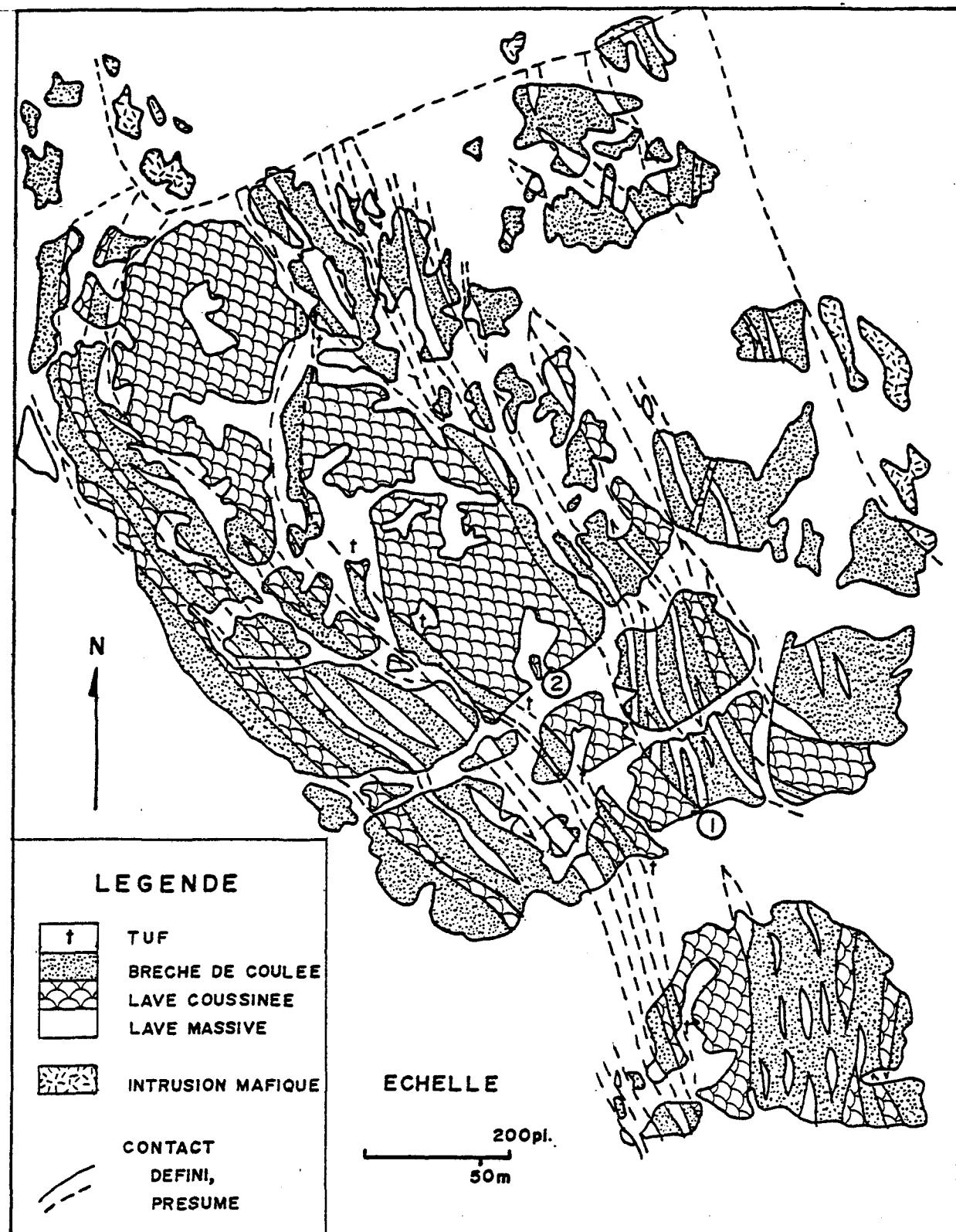


Figure 11- Portion sud de la carte 2.A noter:(1) la structure de type lits frontaux adoptée par certains rubans de brèche et de lave massive et (2) la présence d'un chenal rempli par une unité de lave coussinée.

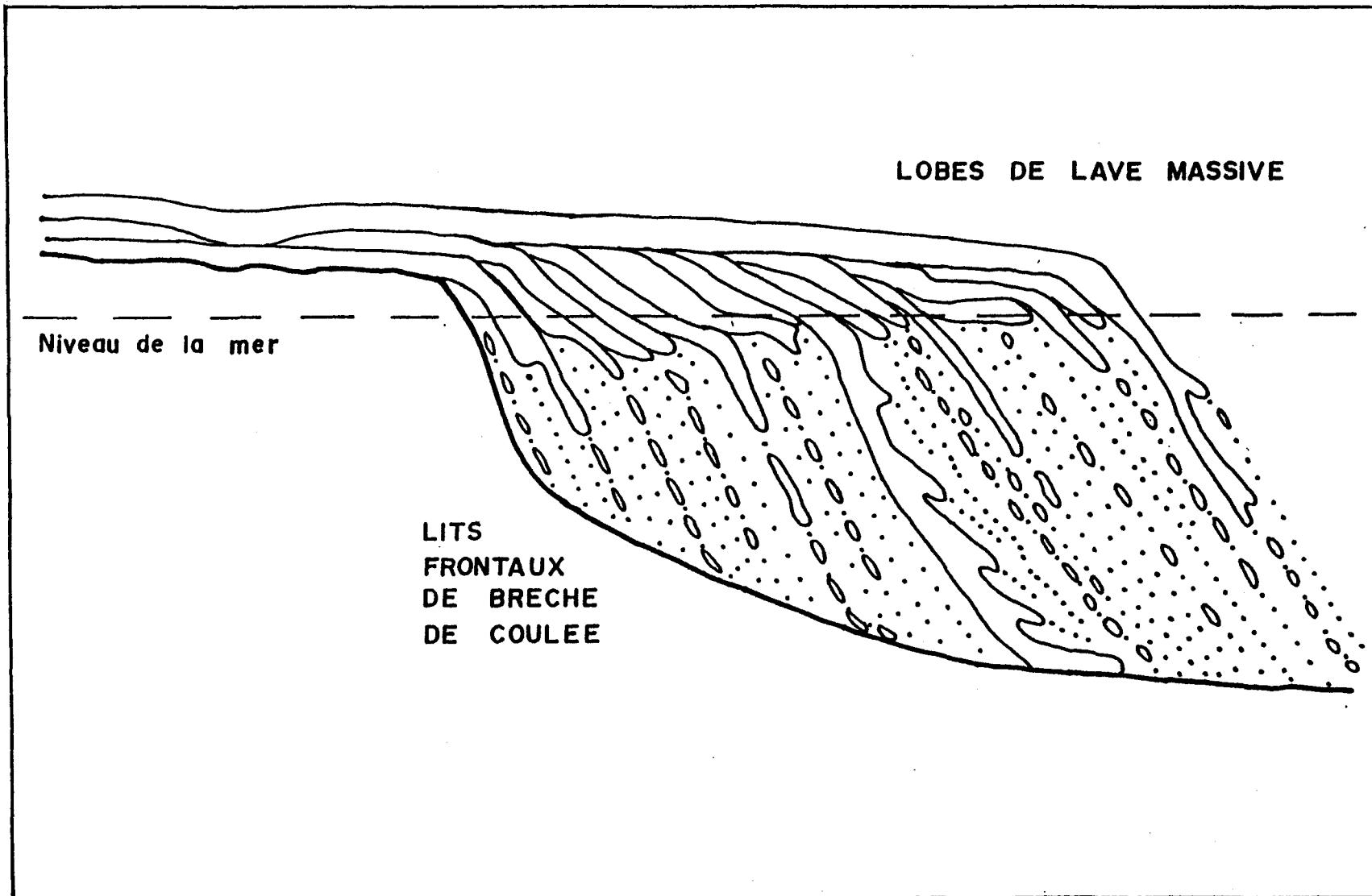


Figure 12- Organisation d'une brèche de coulée frontale littorale. Tirée de Moore et al. (1973).

Une autre structure en partie semblable, mais moins bien définie, a aussi été observée dans la coulée W-6 à l'est de la mine Norbec (fig.6). A cet endroit, cette coulée renferme aussi de minces rubans de lave massive et coussinée en alternance les uns avec les autres. Ces rubans se présentent de plus en forme "d'arcs" successifs. Cette structure est semblable à celle observée dans la partie sud de la coulée W-16 et qui vient juste d'être décrite. Par analogie, ces rubans de lave massive et de lave coussinée de la coulée W-6 s'interprètent aussi comme étant des lits frontaux.

Nous interprétons ces structures de lits frontaux comme étant la partie terminale d'une coulée de lave sous-marine, c'est à dire la limite du front de l'écoulement.

Des lits frontaux peuvent se constituer entre autres lorsque la lave liquide rencontre une zone où il y a une brusque augmentation de la pente. De telles zones sont constituées soit par des dépressions topographiques, soit par le front immobilisé de la lave par dessus lequel passe un nouveau lobe de lave liquide. Un premier lit frontal est formé par un lobe de lave massive qui suit cette topographie en pente mais qu'un accident topographique ou une augmentation de la viscosité en arrête la progression. Par la suite la croûte de la lave massive est perforée et il se forme à sa surface des coussins (cas de la coulée W-6) ou une brèche de coulée (cas de la coulée W-16). Une réavancée de la même coulée passe rapidement au dessus du premier lobe (massif et coussin, ou massif et brèche) et suit une topographie en pente semblable à celle du premier lobe et forme ainsi un second lit frontal; de nouveau sa croûte est perforée, etc... Une succession de lits frontaux peut aussi se former aussi longtemps que la direction d'écoulement n'est pas modifiée ou la dépression topographique comblée.

Dôme sans racine

A l'ouest de Norbec (fig. 13), à l'intérieur de la coulée W-6, existe des lentilles de matériel mafique de faible puissance (1 à 3 m) qui ont fréquemment été cartographié comme des intrusions gabbroïques. Nous les considérons plutôt comme des lentilles de lave massive.

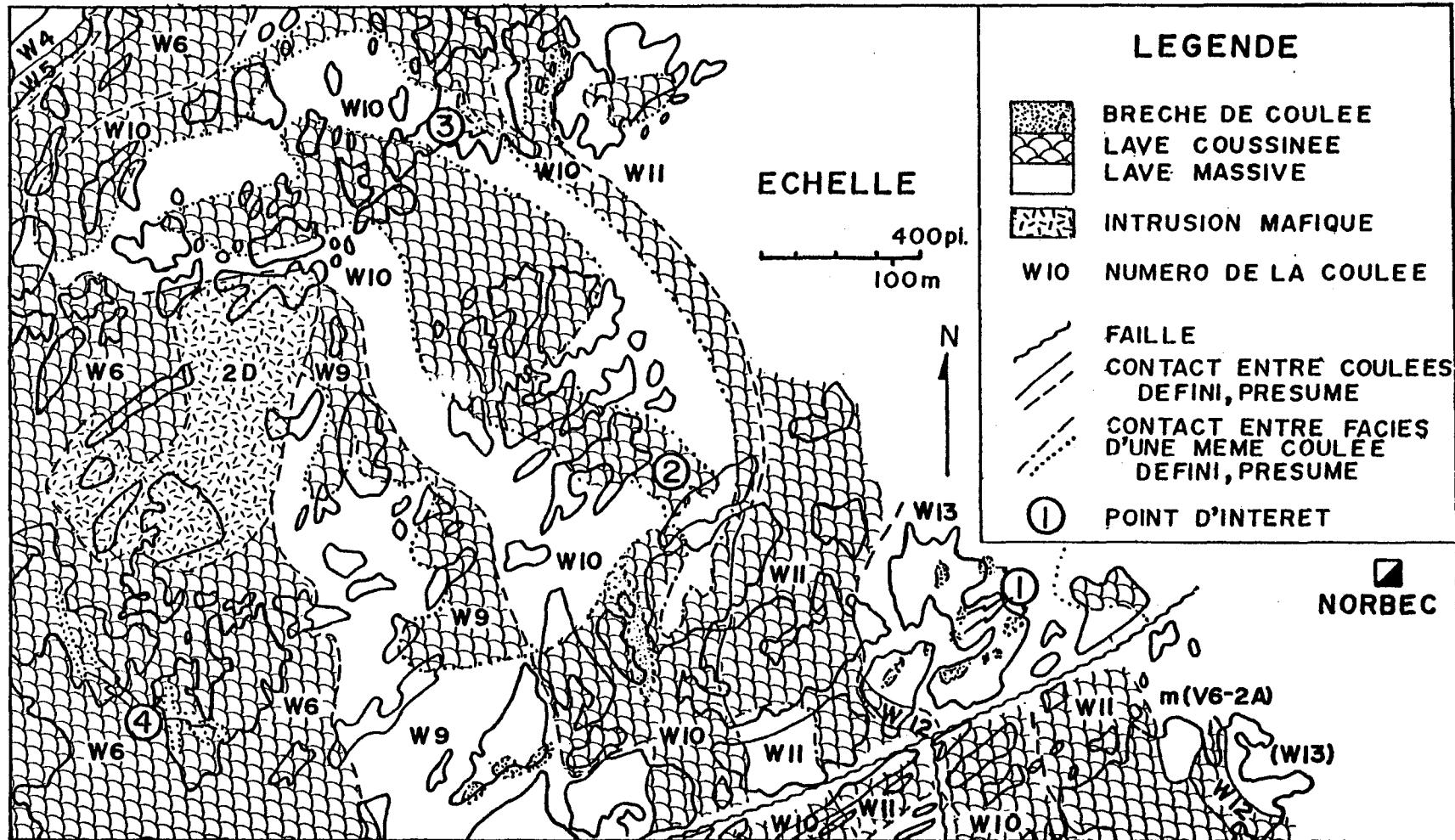


Figure 13- Portion de la carte 1, à l'ouest de Norbec. A noter: (1)Présence de lentilles de brèche à l'intérieur d'une unité de lave massive. (2)Scission d'un chenal de lave massive en deux. (3)Zone de brèche constituant une partie du faciès de levée. (4) Présence de lentilles de lave massive interprétées comme une partie d'un dôme sans racine.

En effet, alors qu'aux extrémités de ces lentilles les contacts entre lave massive et coussins sont discordants, ailleurs il est clairement possible de distinguer des coussins prenant naissance à partir de ces lentilles. Cette observation nous semble indiquer que les lentilles de lave massive sont une partie intégrante de la coulée. Ils servaient certainement de conduits à de la lave liquide (pour former des coussins), à un moment où ils étaient entièrement compris eux-mêmes dans un empilement de coussins déjà consolidés. La lave circulant dans ces conduits recoupe donc les coussins déjà formés. Nous interprétons la zone comme faisant partie d'un dôme sans racine.

Pour Rittmann (1962) et Mac Donald (1972) un dôme sans racine se forme lorsque la surface solide de la coulée devient assez résistante pour arrêter l'écoulement de la lave mais qu'une augmentation subséquente de la pression de la lave liquide permet d'en perforer la croûte supérieure. Par ces fractures ainsi formées s'échappe une brève quantité de lave liquide qui se solidifie rapidement. La répétition fréquente de ce phénomène au même endroit, permet la formation d'un dôme constitué de petites coulées en forme de "tripes". Dans un environnement sous-marin, la lave liquide s'échappant par les fractures formera non pas une accumulation de lave en forme de tripes, mais plutôt un véritable empilement de tubes; c'est à dire de coussins. De tels dômes sans racine, sous-marins, ont d'ailleurs été observés par Bellaiche et Cheminée (1977).

Un dôme sans racine se forme de préférence selon Rittmann (1962), lors de l'écoulement de lave visqueuse. La présence dans la lave de la coulée W-6 de nombreux petits phénocristaux de feldspath (1 mm) nous incite à croire que cette coulée était effectivement plus visqueuse que la majorité des autres coulées émises par le volcan Amulet. C'est pour cette raison qu'un tel dôme sans racine n'est observé qu'à un seul endroit et uniquement dans la coulée W-6.

Les lentilles de lave massive de la zone observée représentent donc ce qui reste des fractures utilisées par la lave liquide pour former l'empilement de coussins environnants.

6.3 Organisation des coulées de la Formation

Dans une zone propice à l'étude en trois dimensions des coulées (faible pendage et fort relief), une série d'observations importantes nous ont conduit à proposer un modèle de mise en place des coulées spécifique.

A cet endroit, notre cartographie des faciès de la coulée W-10 montre qu'elle présente une organisation complexe (fig. 13). Ainsi dans la partie sud, le faciès massif est entouré de trois côtés par le faciès coussiné de la même coulée. Vers le nord, cette partie du faciès massif se scinde en deux branches distinctes, dont l'une repose alors directement sur la coulée sous-jacente W-9. Dans la partie nord de la coulée, notre cartographie indique que ces branches de lave massive se rejoignent de nouveau. Le faciès coussiné de la même coulée se trouve entre, au-dessus et parfois, en dessous et latéralement aux diverses branches de lave massive. Ces branches de lave massive peuvent se suivre sur une distance de plusieurs centaines de mètres et présentent parfois des renflements locaux

Nous envisageons pour expliquer ces observations que la lave massive s'écoule sous forme de lobes d'extension latérale limitée. Ces lobes peuvent se scinder à un endroit pour se recouper (ou se recouvrir) ailleurs. Ces lobes présentent aussi des flancs échancrés. Le faciès coussiné se retrouve entre, au dessus et parfois, en dessous (surtout aux extrémités) de ces lobes de lave massive. Enfin le faible pendage de la coulée elle-même indique que ces lobes sont peu épais et probablement sur des niveaux stratigraphiques très proches l'un de l'autre.

Nous proposons donc que ces lobes de lave massive sont des rivières de lave massive circulant dans des chenaux peu sinuieux et dont le patron d'écoulement est semblable à celui de rivières tressées. Ces chenaux peuvent se trouver au-dessus de la lave coussinée de même qu'être bordés et recouverts par elle.

Dans une autre section de la même coulée située à l'est de Norbec (fig. 6), où les pendages sont plus abrupts (40° - 50°), il existe des masses de lave massive aux formes irrégulières situées à l'intérieur de laves coussinées. Nous interprétons ces masses comme représentant des sections

de petits chenaux de lave massive. Ces chenaux sont là aussi bordés, recouverts ou parfois entièrement entourés par des coussins de la même coulée. Ces chenaux ressemblent à de grands tubes de lave pahoehoe.

Enfin une autre structure est aussi interprétée comme un chenal de lave mais elle présente une organisation différente de ce qui a été décrit jusqu'ici. En effet, il existe dans la Section d'Alembert (fig. 11) une grande lentille de lave coussinée dont la base est soulignée par la présence d'un tuf et dont la forme générale évoque celle d'une section d'un grand chenal. Les coussins à l'intérieur de ce chenal présentent des variations latérales et verticales de leur forme et de leur dimension. Ainsi, alors qu'aux extrémités du chenal, les coussins ont une forme subsphérique et ne mesure que de 1 à 2 m, dans la partie supérieure centrale de la lentille, ils ont une taille plus grande (2 à 3.5 m). Dans cette partie centrale aussi, la dimension des coussins augmente et leur forme devient plus irrégulière du sommet vers la base. A la base elle-même, il y a une absence apparente de croûtes de coussins, ce qui donne un aspect massif à la lave. Pour nous, ces variations signifient que les grands chenaux de lave peuvent être remplis à certains endroits uniquement par de la lave massive alors qu'à d'autres, ils peuvent être remplis de lave partiellement ou entièrement coussinée.

6.4 Organisation des coulées composites

Il existe des variations répétées (cycliques) de la vésicularité et du caractère porphyrique des coulées qui constituent l'empilement volcanique. Chaque cycle comprend entre autres, une coulée vésiculaire à la base et à son sommet, une coulée plus ou moins porphyrique. Parfois entre les deux, il existe des coulées intermédiaires à la fois faiblement vésiculaire et faiblement porphyrique.

Les contacts entre les diverses coulées formant un cycle sont en général nets et fréquemment, ce ne sont pas leurs mêmes faciès qui reposent l'un sur l'autre. Par contre, dans une zone (fig. 6) où les faciès coussinés de deux coulées d'un même cycle sont en contact l'un sur l'autre, il est possible d'observer un passage graduel entre la coulée vésiculaire et

la coulée porphyrique. Ainsi, tous les intermédiaires existent entre W-9 (coulée vésiculaire avec yeux de quartz) et W-10 (coulée non-vésiculaire et dont la concentration en phénocristaux de feldspath de 1 à 2 mm est d'environ 1 %). Il est alors impossible de déterminer précisément où se trouve le contact entre les deux coulées.

Le passage graduel des propriétés des deux coulées à un endroit, et net à un autre, nous incite à considérer ces coulées comme des réavancées d'une même coulée plus importante. Cette dernière s'appelle coulée composite variée puisque les propriétés des coulées unitaires la constituant varient.

Le nombre important de coulées vésiculaires surmontées par une autre coulée "porphyrique", nous suggère que les variations des propriétés des coulées, telles qu'observées dans la coulée composite W-9/W-10, sont généralisées dans la Formation Amulet. Par conséquent, cette formation serait formée principalement de telles coulées composites variées. Les différentes coulées composites que nous proposons sont présentées au tableau I.

6.5 Organisation de l'empilement volcanique

Dans la Formation Amulet, les coulées à la base de la formation sont majoritairement constituées par le faciès massif; les coulées au centre de la formation, par des coulées coussinées; et les coulées au sommet, par des coulées où le faciès bréchique est important. Une telle variation régulière des rapports lave massive : coussinée : bréchique définit une séquence de remplissage ("upward shoaling sequence") de la caldéra de Noranda.

Un bris à l'intérieur de la séquence de remplissage peut être observé puisqu'il y a une réapparition d'épaisses séquences de lave massive à l'est de Norbec. Cette réapparition de lave massive nous incite à croire qu'il y a non pas une mais deux séquences de remplissage. La deuxième séquence diffère de la première par la nature plus vésiculaire de ses laves et par une augmentation très rapide du volume de brèche de coulée à l'intérieur de chaque coulée.

Comme déjà mentionné, les coulées situées au sommet de l'empilement sont en général plus vésiculaires et renferment une plus forte proportion de brèche de coulée. Ces observations nous portent à conclure que le niveau de l'eau existant au moment de l'effusion des dernières coulées de la Formation Amulet était plus bas que lors des premières coulées émises par le volcan (voir Jones, 1969). Un phénomène semblable a aussi été observé par Clifford et Mc Nutt (1970) dans leur étude d'un strato-volcan archéen. Ces auteurs avaient noté en plus une diminution de la taille moyenne des coussins dans l'empilement, mais une telle variation n'est pas évidente dans la Formation Amulet.

Enfin, il existe à la base de la formation un plus grand nombre de dykes d'âge synvolcanique à post-dioritique. Ainsi dans la zone ouest et surtout sud-ouest la séquence volcanique est recoupée en tous sens par des dykes de puissance variable de 15 cm à 1 km, mais généralement 30-40 cm et de composition andésitique, gabbroïque et rhyolitique (?). Ailleurs, de tels dykes n'apparaissent qu'en plus faible concentration, en bordure des grandes intrusions dioritiques et gabbroïques. Une concentration importante de dykes semblables a été observée autour des mines Vauze (Lickus, 1966), Waite (Wilson, 1941) et Horne (de Rosen-Spence, 1976). Aucun de ces auteurs ni nous-mêmes, n'avons observé de coussins prenant naissance à partir de ces dykes comme fréquemment noté dans les séquences ophiolitiques (Dewitt et Stern, 1978).

7. INTERPRETATION DES OBSERVATIONS

7.1 Passage faciès massif - coussins

L'organisation générale des faciès des coulées suggère fortement que le faciès massif et le faciès coussiné sont deux parties intégrantes d'une même coulée de lave et qu'ils sont transitionnels entre eux. La lave massive se forme selon nous, lors d'une émission rapide d'un grand volume de lave liquide peu visqueuse. Une augmentation de la viscosité de la lave (produite par une diminution de la température, par exemple) plus loin en aval, permettra la formation de lave coussinée. Nous considérons donc que le faciès massif est le faciès proximal et le faciès coussiné, un faciès plus distal.

Comme déjà mentionné dans le chapitre précédent, de grands épanchements de lave massive ne sont possibles que lors d'émissions successives rapides de matériel liquide peu visqueux. Dans notre modèle, par la suite, bien qu'une augmentation de la viscosité immobilise le front de la coulée de lave massive, la pression de cette lave est encore suffisante pour perforer la croûte du front de la coulée massive. Par les diverses fissures ainsi formées, la lave s'écoule sous forme de mégatubes. Il y a donc passage d'un lobe de lave massive à des mégatubes par un processus de ramifications du front du lobe de lave massive (fig. 14). La croissance des mégatubes se fait probablement selon un processus semblable à celui des tubes. Mais, une augmentation subséquente de la viscosité arrête la progression des mégatubes; de nouveau, la pression élevée de la lave liquide circulant dans ces mégatubes est suffisante pour en perforer les extrémités en divers endroits. Par ces nouvelles fissures se forment de nouveaux tubes; il y a donc passage de mégatubes (mégacoussins) à tubes (coussins) par ramifications du mégatube. Par la suite, les tubes de lave continuent de croître selon le processus décrit par Moore (1975) et à se subdiviser en branches de dimensions semblables. A cette étape une augmentation de la viscosité arrête la propagation d'un tube et une augmentation de la pression de la lave liquide ne permet de former qu'un nouveau tube ailleurs.

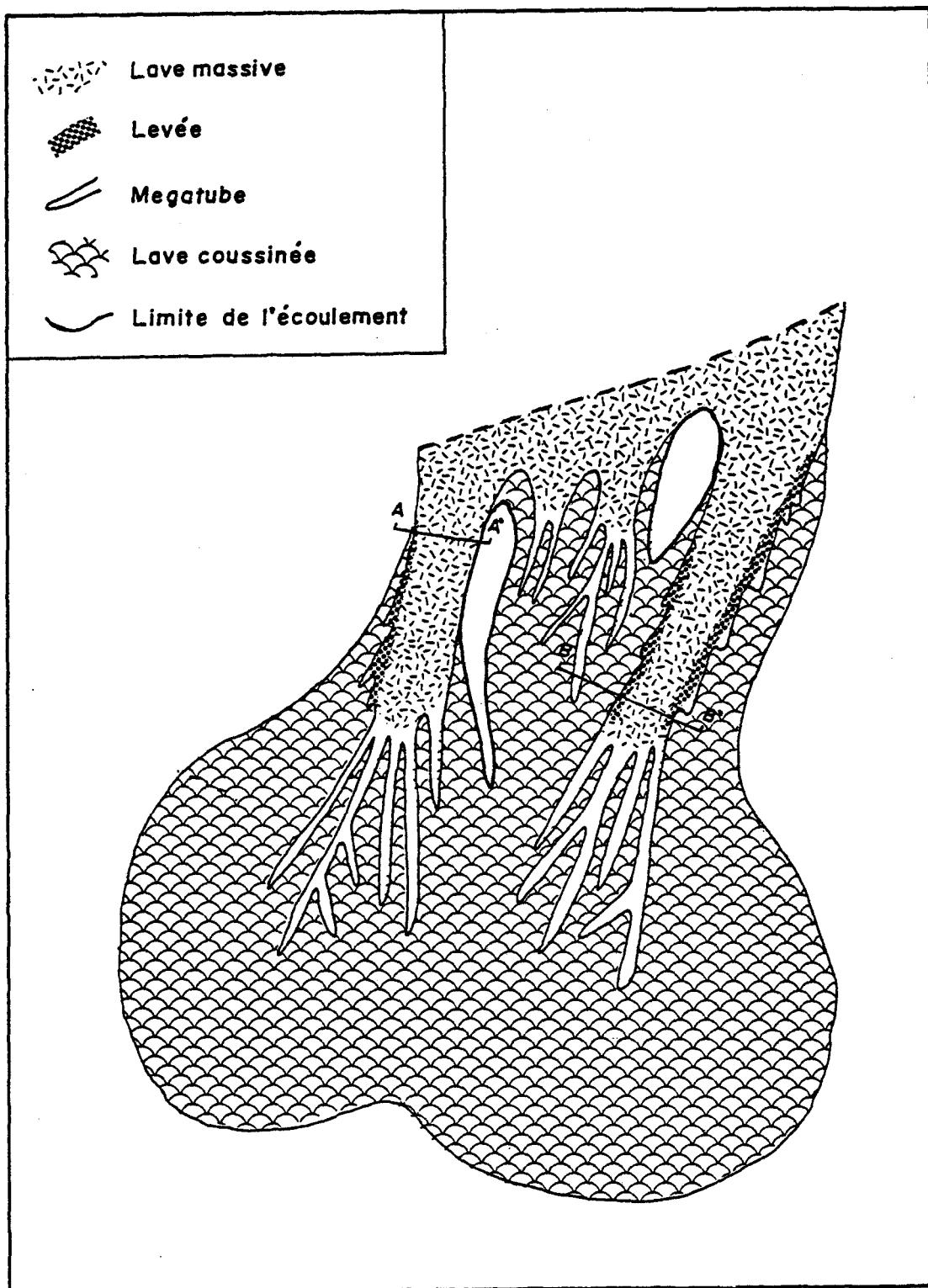


Figure 14- Patron d'écoulement de la lave sur un flanc d'un volcan-bouclier montrant la position des mégatubes et des levées.

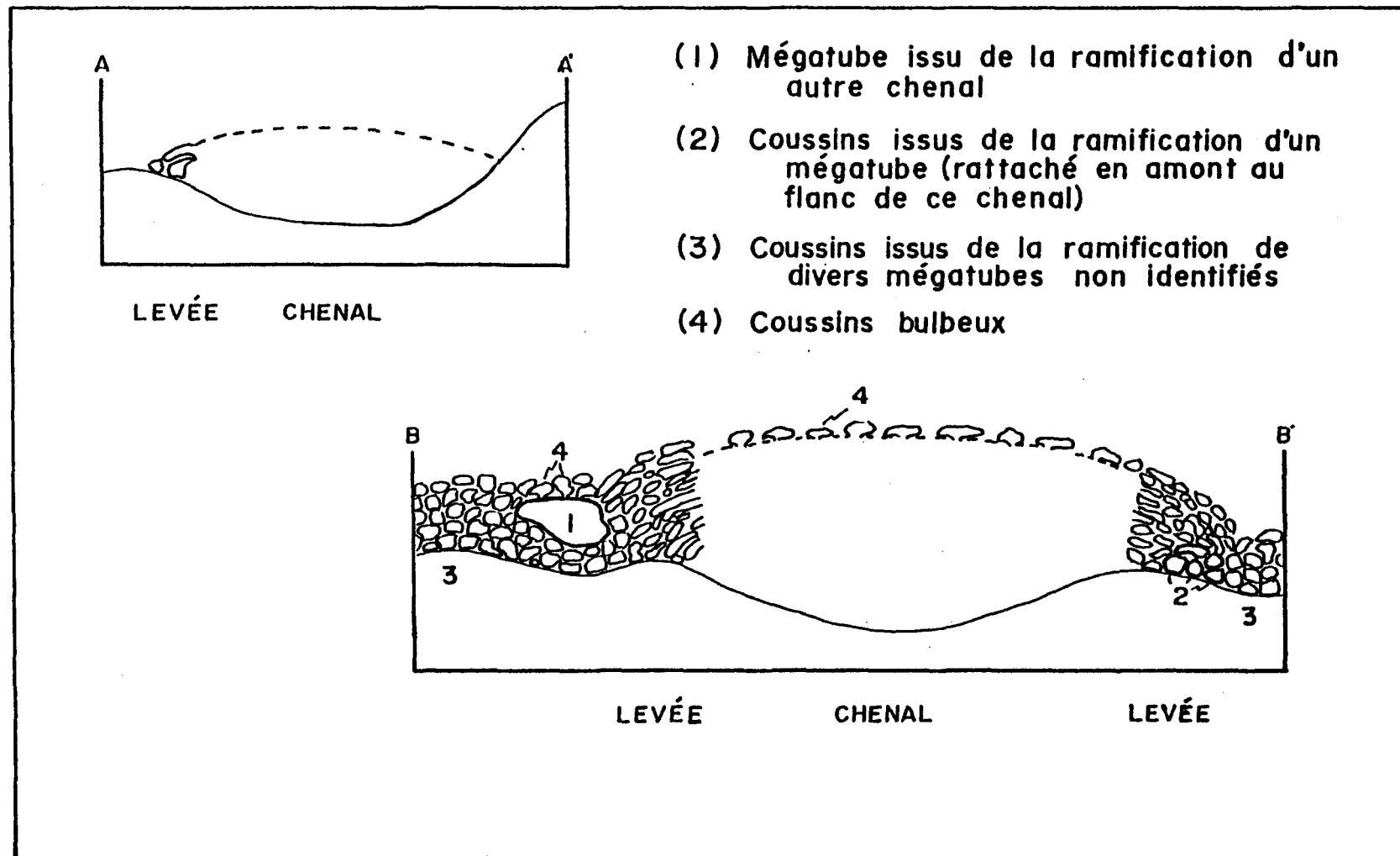


Figure 15- Coupes AA' et BB' à travers des chenaux de lave massive de la figure 14

De petites fissures peuvent aussi apparaître régulièrement à la surface des lobes de lave massive et des mégatubes. Par ces fissures, s'écoulent de faibles quantités de lave; celles-ci forment alors à la surface des lobes et des mégatubes de petits coussins appelés coussins bulbeux (fig. 15).

7.2 Chenaux de lave

L'organisation en chenaux tressés d'une partie de la coulée W-10 à l'ouest de Norbec, de même que 1) la présence au sud de ces chenaux, d'une séquence de lave massive, identifiée m(V6-2A) / (W-10) et 2) la présence en bordure d'un de ces chenaux (celui le plus à l'ouest) de mégacoussins, nous suggère que les épaisses séquences de lave massive peuvent sous certaines conditions (pente forte locale avec des irrégularités topographiques, par exemple) se subdiviser en chenaux de lave massive et que des mégatubes se branchent régulièrement à partir des côtés des chenaux. Il existe aussi plus au nord, en bordure de la branche est, une brèche d'effondrement (décrise dans la section 5.4.3) en partie semblable à une brèche de coulée mais caractérisée entre autre par une plus forte proportion de croûtes de coussin. Cette zone de brèche est interprétée comme faisant partie de la levée du chenal.

En général, les levées de ces chenaux seraient constituées principalement de lave coussinée (tubes) produite lors de débordements temporaires et restreints de lave liquide hors des limites des chenaux (fig. 15). Occasionnellement, lorsque la pente de la levée est forte, des tubes peuvent croître rapidement sur les flancs de la levée sans qu'il y ait un apport continu de nouveau matériel liquide. Sous de telles conditions, le poids de la lave liquide suffit pour continuer la croissance du tube; par contre, à ce moment, une partie du tube (en amont) devient partiellement vide puis s'effondre. Il apparaît alors une brèche d'effondrement aux caractéristiques semblables à celles observées dans la zone étudiée. Les coussins entiers présents dans la brèche représenteraient des tubes de lave connectés avec le chenal principal plus loin en amont.

7.3 Faciès bréchique

Les brèches de coulée se trouvent de préférence au-dessus du faciès massif de la coulée et généralement à l'intérieur d'une coulée vésiculaire. Les gaz présents dans les laves (vésiculaires) en s'accumulant au sommet de la coulée massive, produisent certainement un affaiblissement de la croûte de la lave massive; ils contribuent donc à sa fracturation ultérieure. Selon les conclusions de Tazieff (1972) sur la formation de hyaloclastite, la fracturation de la croûte de la lave massive permet à l'eau d'entrer en contact avec la lave liquide et ainsi produire de la vapeur d'eau. La formation de cette vapeur d'eau dans un milieu confiné (à l'intérieur des vésicules de la lave ou sous des parties de croûte de lave) produit une série d'explosions, donc une comminution de la lave, pour former de la hyaloclastite.

Par les fractures de la croûte, peut aussi être émise de la lave liquide. Lorsque cette lave liquide est émise en puissance et en quantité suffisantes, il se forme à la (nouvelle) surface de la lave massive des protubérances et des tubes (coussins). La fracturation de ces tubes, produira des fragments de coussins. Ainsi donc, la croûte fracturée originale de la lave massive, constituera la variété brèche à fragments, de la brèche de coulée. Les coussins formés à la (nouvelle) surface de la coulée massive constitueront la variété brèche à coussins isolés. Enfin la partie intermédiaire constituée de fragments de coussins et de hyaloclastite formera la variété brèche à coussins brisés. Dans la Section d'Alembert, la présence de coussins amiboides indique que ceux-ci sont le produit d'émissions de lave liquide dans un matériel non consolidé.

En général, la présence d'une bréchification en place (*in-situ*) de même que la présence d'imbrications (Côté et Dimroth, 1976) ou des patrons concentriques ou en gerbes des fragments de brèches, exclut un mécanisme de mise en place des brèches de coulée résultant d'un écoulement par gravité. Le très faible relief de la surface de la brèche de coulée exclut aussi comme mécanisme de formation la bréchification par friction (viscous drag) de type aa à surface très irrégulière.

La formation des brèche de coulée se produit au stade terminal de l'effusion, lorsque le volume de lave en écoulement diminuait. Elle se forme donc au dessus des unités massives après l'apparition plus en aval des mégatubes et des tubes. En aval dans l'empilement de coussins, c'est aussi à ce moment que se produit la plupart des brèches d'effondrement et la formation de pseudo-coussins par polygonisation.

7.4 Coulée composite

L'origine des coulées composites variées, avec une coulée vésiculaire à la base et une coulée porphyrique au sommet, représente l'évolution de l'éruption d'un volcan nourri par une chambre magmatique différenciée. Soulignons d'abord que les gaz accumulés au sommet de la chambre magmatique seront émis majoritairement lors des premières éruptions, ce qui explique que les premières effusions seront plus riches en gaz (amygdales) que les effusions subséquentes. Ensuite, dans une telle chambre magmatique, puisqu'il y a ségrégation des cristaux de plagioclase, les dernières coulées émises seront alors plus riches en phénocristaux de plagioclase que les premières. (fig. 16, 17).

Les coulées composites cryptique sont émises à un moment où de telles ségrégations des phénocristaux n'existent pas. De plus, la faible profondeur d'eau existant lors des dernières éruptions favorisent l'émission de coulées très vésiculaires.

7.5 Remplissage de la caldéra

Les variations verticales, telles l'augmentation progressive et "absolue" de la vésicularté des laves et la croissance continue de la proportion de brèche de coulée dans les coulées simples ("upward shoaling sequence") indique une diminution de la profondeur d'eau lors de l'éruption dans le temps (Jones, 1969). Ces phénomènes s'interprètent comme le résultat du remplissage de la caldéra de Noranda par l'empilement des laves de la Formation Amulet et donc éruption des coulées successives sous des pressions

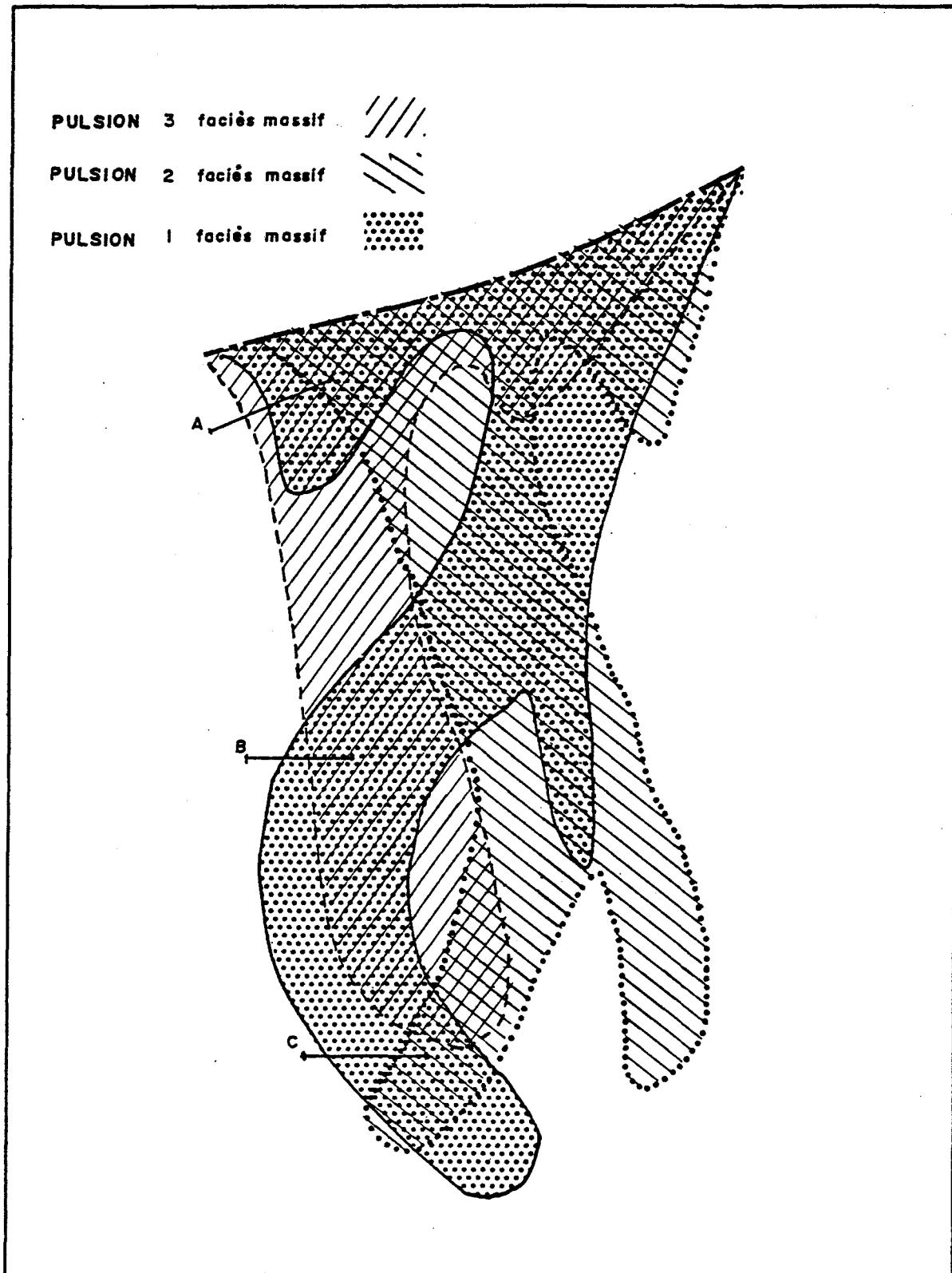


Figure 16- Représentation d'une coulée composite vue en plan.
Seuls les faciès massifs des lobes sont représentés.

COULÉE 3	faciès bréchique		PULSION AVEC PHÉNOCRISTAUX
COULÉE 2	faciès coussiné		PULSION DE TRANSITION
COULÉE 1	faciès massif		PULSION RICHÉ EN GAZ (VÉSICULAIRE)

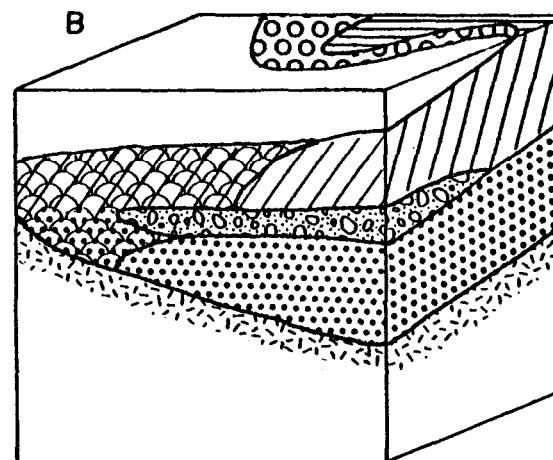
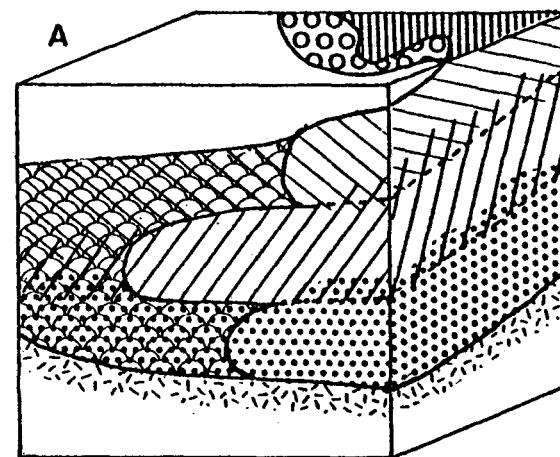
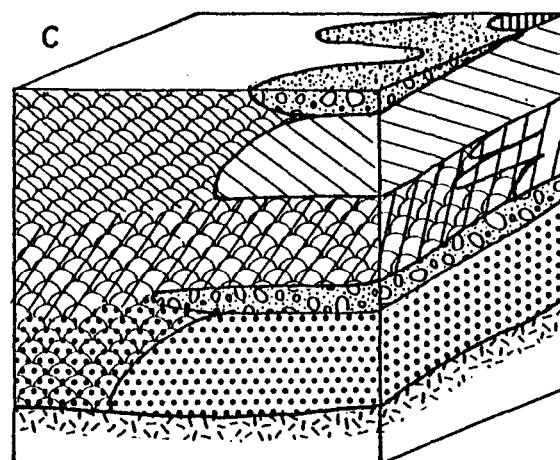


Figure 17- Série de blocs diagrammes représentant des coupes aux travers de la coulée composite de la figure 16. Dans le bloc A, les propriétés des divers lobes sont transitionnelles entre elles (superposition des figurés respectifs). Plus en aval, les mêmes propriétés présentent des passages abrupts entre elles (blocs B et C).

d'eau de plus en plus faibles.

7.6 Localisation du centre éruptif

La localisation du centre éruptif fut déterminée par déduction grâce: 1) aux résultats des mesures de directions et de sens d'écoulement; 2) à la localisation des faciès proximaux; 3) à la localisation de zones à forte concentration de dykes synvolcaniques.

Toutes les mesures de sens d'écoulement prises (à l'exception de celle de la partie sud de la Section d'Alembert) indiquent un sens du sud vers le nord. Ces directions se déterminent par l'asymétrie latérale des coussins et par les embranchements vers l'aval des tubes vus en trois dimensions. Dans la partie sud de la Section d'Alembert, les lits frontaux indiquent par contre une provenance du nord vers le sud.

Pour toutes les coulées, le faciès proximal se trouve à leur extrémité sud. Ces parties massives sont fortement développées près de l'ancienne mine Old Waite où elles sont associées à une forte proportion de dykes synvolcaniques andésitiques de même qu'à de nombreuses failles de décrochement.

Pour un centre éruptif proche de Old Waite, un écoulement de lave à partir de ce centre dans la direction ouest-est (ou légèrement sud-est) se traduit actuellement par des mesures subverticales ou dans le deuxième cas, du nord vers le sud. C'est le cas pour la partie sud de la Section d'Alembert (fig. 18).

Ces évidences nous incitent donc à croire que le centre éruptif se trouvait probablement au sud-est de l'ancienne mine Old Waite. Cette localisation est d'ailleurs en accord avec les travaux des géologues de la compagnie Falconbridge dans les Collines Amulet, plus au sud (C.D.A.Comba, communication personnelle, 1978).

La présence à l'est de Norbec, d'épaisses séquences de lave massive (fig. 6) est interprétée comme une évidence pour l'existence à cet endroit

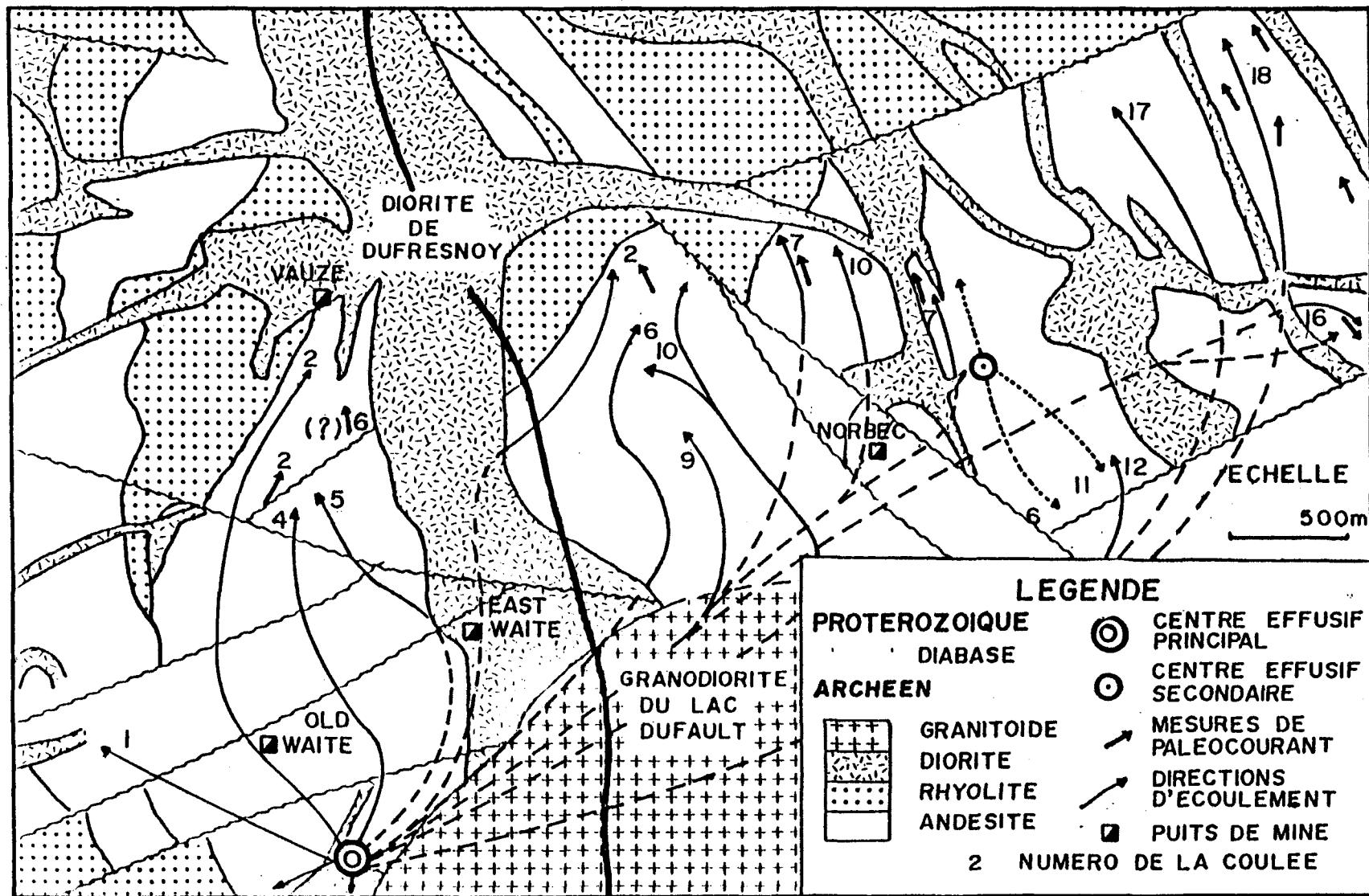


Figure 18- Carte géologique sommaire de la région étudiée montrant les directions d'écoulement de la lave émise à partir du centre d'effusion principal. La position du centre d'effusion secondaire est aussi indiquée.

d'un centre effusif secondaire. Les directions d'écoulement suivies par ces coulées sont peu connues puisque les zones de passage de lave massive à lave coussinée affleurent peu dans cette région. De plus il est difficile de déterminer qu'elles sont les coulées de lave dans l'empilement qui furent émises par ce centre en particulier. Les coulées de lave situées aux environs de ce centre et au-dessus (plus à l'est) sont en général plus vésiculaires que les coulées aux environs de Old Waite; si elles ont été émises par le centre secondaire, celui-ci se trouvait plus proche de la surface de la mer.

Le centre effusif secondaire à l'est de Norbec fournirait la lave de la coulée W-6 (fig. 6) présente au sud et dont les lits frontaux indiquent une source provenant du nord. Il permet aussi d'interpréter l'organisation des coulées W-11 et W-12 à ce même endroit. On y observe que la coulée W-11 bien que présente principalement sous la coulée W-12, se retrouve aussi au-dessus d'elle. Un tel phénomène n'est possible que si chacune des deux coulées est émise simultanément par deux centres effusifs différents. Le centre effusif secondaire émet W-11, le centre principal W-12 puis de nouveau le centre secondaire émet W-11 (fig. 6, 18).

7.7 Nature de l'appareil volcanique

A partir des centres effusifs, les coulées de lave émises ont une composition homogène. Il n'y a pas de hyalotuf ni d'agglomérat. Les lits de tuf (granulométrie inférieure à 1 mm) présents dans l'empilement sont de très faibles dimensions et ne représentent qu'un volume très réduit; de plus, ils ne proviennent pas nécessairement du même volcan. L'appareil volcanique est donc monogénique.

La présence de chenaux de lave massive dans l'empilement volcanique dénote l'existence sur les flancs du volcan Amulet de pentes plus ou moins faibles et de dépressions topographiques allongées pouvant canaliser des rivières de lave. La présence de lits frontaux dans certaines coulées s'explique aussi par l'existence sur les flancs du volcan de dépressions topographiques ou de changements brusques de leurs pentes. Pour ces rai-

sons, nous concluons que l'appareil volcanique est un volcan-bouclier et que les laves émises par ce volcan ne forment pas une plaine de lave (fig. 19) .

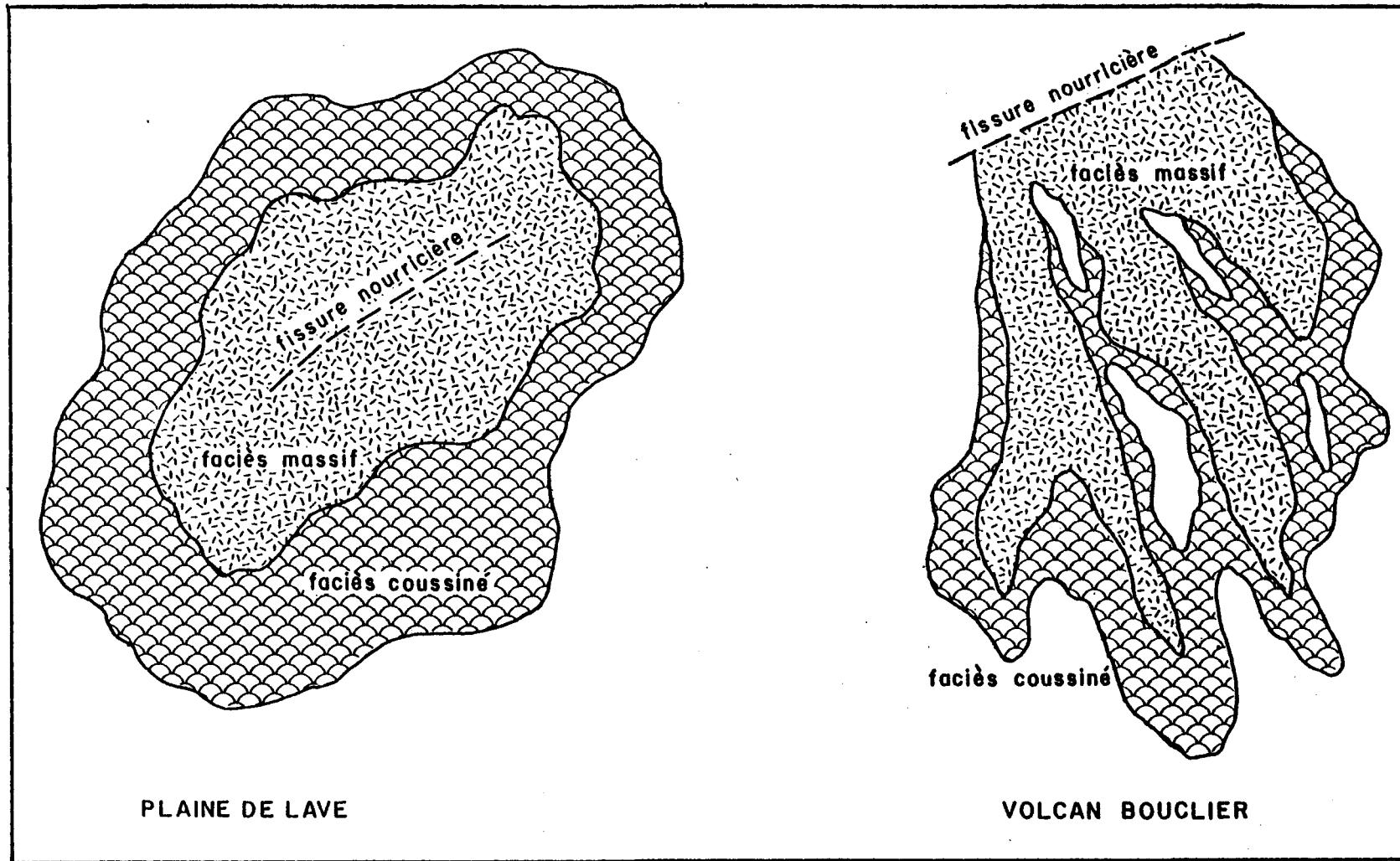


Figure 19- Patrons d'écoulement de la lave à partir d'une fissure nourricière. Sur un terrain plat, une plaine de lave se forme; sur un terrain incliné, un patron similaire à un volcan-bouclier est obtenu. Tirée de Dimroth et al. (1978).

8.

ROCHES INTRUSIVES

8.1 Roches mafiques (2D)

Dans ce groupe, on retrouve la Diorite de Dufresnoy et tous les dykes de nature semblable. Ce type est le plus important de la région tant en volume que par son influence tectonique (il occupe fréquemment des failles majeures) (fig. 14). Ces dykes recoupent des volcanites plissées mais sont à leur tour recoupés par le pluton du Lac Dufault. Ils peuvent se subdiviser en deux réseaux: le réseau principal est orienté N 20° O avec pendage de 65° à 80° E; le réseau secondaire, plus ancien, est orienté N 45° O avec pendage 45° N E. Certaines apophyses occupent entre autres la faille du Ruisseau Vauze (de Rosen-Spence, 1976).

D'après Cooke et al. (1931) et Wilson (1941), ces diorites varient en composition de gabbro à diorite quartzifère et possèdent une granulométrie de grain moyen à grossier. Les analyses chimiques de Rosen-Spence (1976) indiquent pour ces roches une composition de gabbro tholéitique calcique.

En plus de ces grands dykes dioritiques, il existe toute une série de petits dykes mafiques de composition gabbroïque à dioritique de granulométrie faible et dont l'attitude est variable. Ils s'orientent fréquemment N - S avec un pendage variable. On retrouve ces types de petits dykes surtout à la base de la formation dans le secteur des anciennes mines Waite et Vauze. Leur âge varie de synvolcanique à post-dioritique; par contre, tous sont plus vieux que le pluton du Lac Dufault.

8.2 Roches felsiques (IR)

Ces dykes représentent généralement de minces lentilles associées aux roches mafiques. De composition acide, ils sont à grains très fins avec fréquemment des phénocristaux de quartz et/ou de plagioclase, de même que des cubes de pyrite. Les plus grands présentent parfois des contacts rurbanés alors qu'ailleurs, d'autres ont un contact plus "graduel" avec la

roche encaissante, dû à une silicification de la zone de contact.

La pâte de ces dykes se compose presque exclusivement de quartz grenu et de microlites irréguliers d'albite avec de petites gerbes d'aiguilles d'actinote.

9.

TECTONIQUE

L'orogenèse Kénoréenne est responsable du développement d'un système de plis isoclinaux de direction est-ouest (localement nord-est ou sud-est). Les variations dans l'intensité des plis, de même que dans les changements de direction de ces plis semblent reliés à la présence d'intrusions granitiques dans le centre de certains complexes volcaniques centraux (Dimroth et Rocheleau, 1979). C'est ainsi que ceux-ci ont renforcé mécaniquement le centre du complexe de Noranda pour produire une zone relativement peu déformée autour de laquelle s'orientent les plis isoclinaux. C'est, entre autres, le cas pour notre zone d'étude où les plutons du lac Flavrian et du lac Dufault y ont empêché la formation de tels plis isoclinaux.

Le Synclinal de Duprat constitue la structure la plus importante de notre région. Un peu au nord, on retrouve une partie de l'Anticlinal de Québec-Copper, alors que l'axe de l'Anticlinal d'Amulet se retrouve plus au sud (à l'extérieur de la fig. 20). Ces structures deviennent de moins en moins marquées en se développant vers l'est (voir fig. 20).

Il existe divers groupes de failles post-plissements et à forts déplacements verticaux dans la région. Les plus jeunes et les plus importantes ont une direction nord-est à est, à pendage subvertical. Ce sont notamment les failles des ruisseaux Waite et Vauze. Celles-ci recoupent toute une seconde série de failles nord-ouest à pendage variant de 50° à 80° (dont le bloc est, est invariablement celui qui a remonté). De plus, ces derniers présentent parfois des apophyses injectées dans les failles du premier groupe, notamment la faille du Ruisseau Vauze.

Un autre type de structures présentes sont des déformations synvolcaniques (de Rosen-Spence, 1976). Il s'agit de zones locales de subsidence limitées par des flexures ou des failles actives formées lors de l'accumulation du matériel volcanique. Ainsi le Synclinal de Duprat se superpose sur la zone de subsidence des Andésites Waite et dont le flanc sud représente l'emplacement d'une flexure synvolcanique.

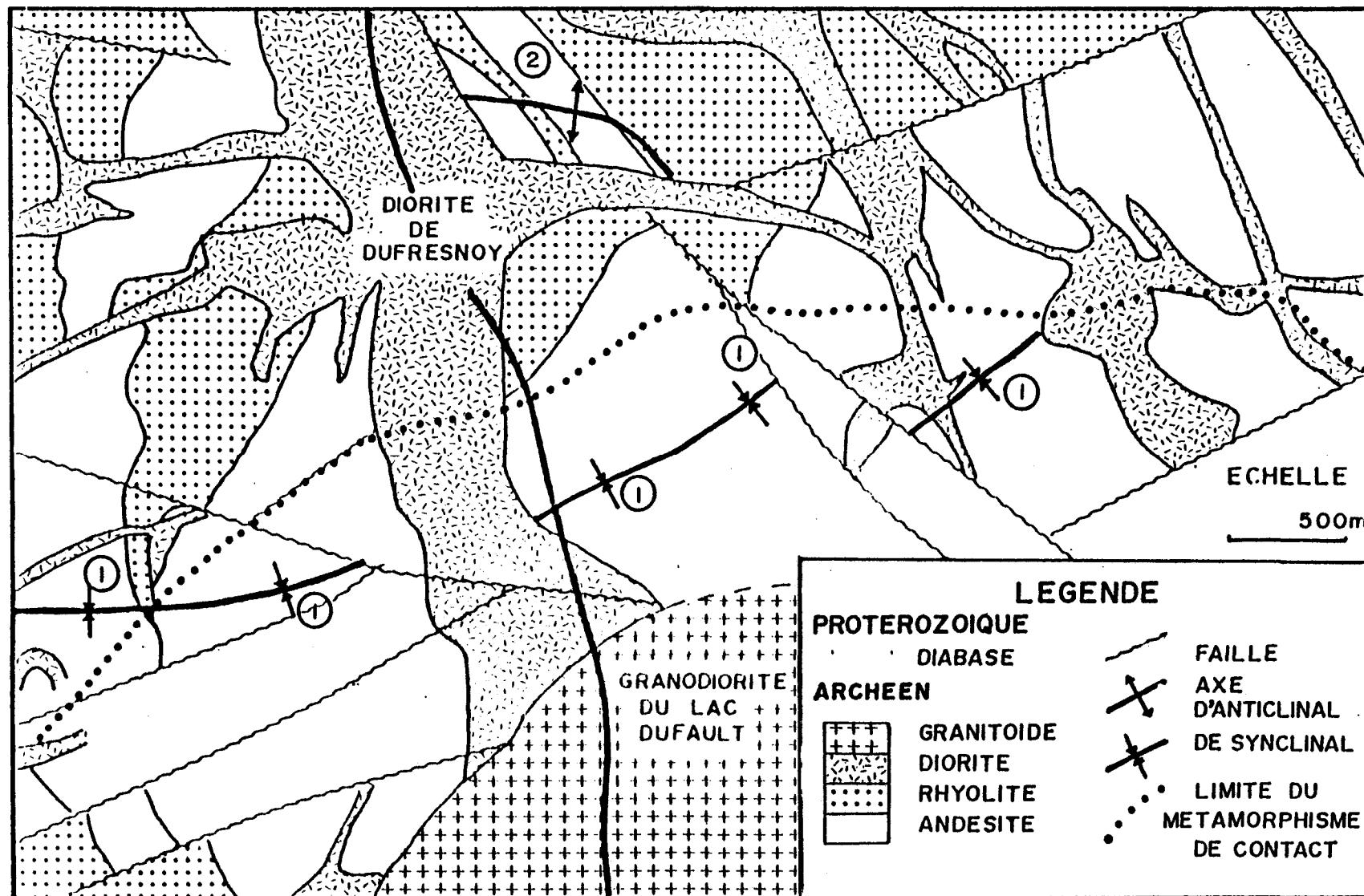


Figure 20- Carte géologique sommaire de la région étudiée montrant la position des axes structuraux et la limite de l'auréole de métamorphisme du pluton du Lac Dufault.

10.

METAMORPHISME REGIONAL

Dimroth et Rocheleau (1979) identifient six phases de métamorphisme reconnaissables dans la région de Rouyn-Noranda, soit: 1) métamorphisme sous-marin, 2) altération hydrothermale autour des cheminées d'altération volcanique, 3) la métamorphisme d'enfouissement pré-cinématique, 4) le métamorphisme thermique pré-cinématique au contact des intrusions pré-orogéniques, 5) le métamorphisme dynamothermique syn-cinématique, et 6) le métamorphisme thermal post-cinématique au contact des corps intrusifs post-orogéniques.

Cette sixième étape du métamorphisme régional prédomine sur plus de 75 % de notre zone d'étude. En effet, presque toute la région se trouve à l'intérieur de l'auréole de métamorphisme du platon du Lac Dufault, large de 1 à 2 km. A l'intérieur de cette zone, le grade métamorphique est schiste vert moyen avec présence de biotite dans les roches volcaniques. Sur le terrain, ces roches volcaniques ont une couleur d'altération de surface vert foncé. Hors de l'auréole de métamorphisme de contact, la couleur des roches volcaniques est chamois et le métamorphisme régional est schiste vert faible (métamorphisme dynamothermique syn-cinématique).

Selon de Rosen-Spence (1976), le métamorphisme d'enfouissement se traduit entre autres par la présence de balles d'épidote. Sur le terrain, celles-ci ont une forme sub-circulaire de quelques centimètres à quelques décimètres de diamètre et sont de couleur jaune. L'étude en lame mince de ces zones épidotisées révèlent qu'elles sont uniquement constituées d'épidote et de quartz grenus. Cette altération affecte aussi bien les roches volcaniques que la plupart des intrusions mafiques.

En général par contre, dans tous les cas étudiés, la préservation des textures primaires est bonne.

11.

MINERALISATION

11.1 Généralités

La théorie volcanogénique considère les gîtes de la région de Rouyn-Noranda comme le produit d'une activité fumarolique, ce qui implique une position stratigraphique particulière pour ceux-ci. Dans son étude de 1967, de Rosen-Spence notait que la majeure partie des gîtes de Cu-Zn se trouvent associés à la Zone de Rhyolite des Mines (mines Vauze, Norbec, Waite, Amulet, Millenbach, Quémont et Horne) ou avec la Zone à Rhyolite Porphyrique pour les gîtes de pyrite-Zn (mines Delbridge et Mac Donald).

D'après Spence et de Rosen-Spence (1975), ces dépôts de Cu-Zn se sont développés à la fin de la période de formation de la Rhyolite des Mines. Cette phase terminale se caractérisant entre autres par l'apparition de petits dômes extrusifs de rhyolite (Vauze, Old Waite, East Waite, Millenbach) et les premiers dépôts à se former sont ceux de la partie nord (Norbec, Vauze, East Waite et Old Waite) qui reposent sur ces dômes.

Ces deux phases sont en partie contemporaines avec les premières coulées andésitiques de la Formation Amulet. En effet, plus au sud de notre zone d'étude, on retrouve une interdigitation de rhyolite et d'andésite. En général, la présence de lentilles minéralisées riches en zinc situées entièrement dans les laves andésitiques d'Amulet (Old Waite, East Waite) soulignent que l'activité hydrothermale ne s'est pas terminée avec les rhyolites. De plus, la découverte de gisement entièrement dans l'Andésite Waite (sous-jacente à la Rhyolite Waite) démontre que cette activité hydrothermale n'a même pas débuté avec les coulées rhyolitiques (Knuckey et Watkins, 1978).

Dans tous les cas, les gisements se retrouvent au-dessus d'une cheminée d'altération chloritique.

11.2 Secteur de la mine Norbec

Le secteur de la mine Norbec (incluant la portion minéralisée) représente une écaille limitée par deux failles sub-parallèles de direction NO.

La cartographie de la région et l'établissement de sa stratigraphie semblent appuyer l'hypothèse que cette éaille est actuellement intercalée dans la Formation Amulet à un endroit autre que sa position stratigraphique originale. Ces deux failles font partie d'un réseau où le bloc est, est régulièrement soulevé. Ce secteur représente donc un biseau de lave déplacé de bas vers le haut (est vers ouest). Enfin, des décrochements de direction nord-sud ne sont pas à négliger, mais ne peuvent être évalués.

12.

CONCLUSION

Les évidences présentées jusqu'ici nous permettent de reconstituer l'historique de l'emplacement de la Formation Andésitique d'Amulet (Partie Nord). Après la formation d'une caldéra à l'intérieur du Complexe Volcanique Central de Noranda, les premières coulées de cette formation apparaissent avant la fin de l'activité rhyolitique (Formation Rhyolitique de Waite) et alors que l'activité hydrothermale se poursuivait. Ceci est démontré à certains endroits par une interdigitation de laves rhyolitique et andésitique et la présence dans les Andésites Amulet de lentilles de sulfures massifs (de Rosen-Spence, 1976).

Les coulées sont émises à partir d'un point un peu au sud-est de l'ancienne mine Old Waite, tel qu'en témoigne entre autres, la prépondérance du faciès proximal (lave massive) et de dykes synvolcaniques dans cette région. La formation d'épaisses coulées massives à l'est de Norbec peut être le résultat de l'apparition d'un cône secondaire à cet endroit. Lors des périodes effusives, les coulées émises sont généralement des coulées composites variées; avec une coulée unitaire riche en gaz à la base et une coulée porphyrique au sommet. Dans certaines coulées, la lave massive s'écoule à l'intérieur de chenaux bordés de levées.

Avec le remplissage de la caldéra, une diminution de la pression d'eau se traduit par une augmentation régulière de la vésicularité de la lave et de la formation de brèche de coulée plus épaisse. Ce remplissage se caractérise surtout par une séquence verticale de remplissage ("upward shoaling sequence") tel que le démontre l'augmentation régulière de la proportion des faciès coussiné puis bréchique dans les coulées successives de l'empilement.

Ces empilements de lave ont constitué un volcan-bouclier monogénique.

L'étude des coulées de la Formation Andésite d'Amulet nous a permis de concevoir un modèle de la mise en place des coulées de lave mafique sous-marines. Dans ce modèle, les diverses divisions structurales des laves mafiques sous-marines (massif, coussin, brèche de coulée) repré-

tent divers faciès d'une même coulée.

La séquence verticale idéale et complète dans une coulée typique est, de la base au sommet: lave massive, lave coussinée et brèche de coulée. Plusieurs variantes de cette séquence idéale se forment par omission d'une ou de deux divisions. Les séquences les plus fréquentes sont: 1) lave massive surmontée de lave coussinée, et 2) lave massive avec brèche de coulée dessus. Dans la Section d'Alembert, la séquence verticale est constituée par un empilement de coussins, lave massive (mégatubes) et brèche de coulée sous forme de lentilles et de rubans en alternance les uns avec les autres. Un tel empilement forme parfois des lits frontaux interprétés alors comme un véritable front de coulée.

Notre cartographie des transitions latérales suggère que la lave massive est un faciès proximal par rapport à la lave coussinée et qu'il existe entre les deux une zone de transition. La présence de levée, constituée entre autres d'une brèche d'effondrement et formée par des débordements de la lave massive du chenal principal est aussi démontrée.

La Formation Andésitique d'Amulet représente un volcan-bouclier dont les pentes ont un angle faible mais suffisant pour que les coulées présentent un patron de rivières tressées. Chaque bras principal circule dans un chenal en suivant les dépressions du terrain. A partir des flancs du chenal principal apparaît régulièrement des branches secondaires et des mégatubes. Ceux-ci se subdivisent régulièrement en tubes, et des coussins bulbeux sont observés à leur surface. Plus en aval, la bras principal de lave massive se segmente en de nombreux mégatubes (zone de transition massif - coussin); ceux-ci passent ensuite graduellement à des tubes de troisième génération (variété hétérogène suivie de la variété homogène). Les coussins véritables sont constitués de tubes, croissant selon le modèle proposé par Moore (1975), avec parfois entre eux de petits coussins isolés.

La fracturation de la croûte au-dessus de la lave massive (et coussinée) généralement vésiculaire, permet la formation de hyaloclastite et brèche de coulée et parfois l'éjection de lave liquide (coussin). La bréchification in-situ des coussins se fait principalement par exfoliation.

Les relations entre lave massive, lave coussinée et brèche de coulée suggèrent que la lave massive se forme durant l'avancée rapide d'un grand volume de lave peu visqueuse à haute température; les coussins prennent naissance au front distal de la coulée au moment où la vitesse de la lave diminue à cause d'une baisse de la température et de l'augmentation de la viscosité de la lave. Les brèches à coussins se forment au stade terminal de l'éruption quand le volume de lave en écoulement diminue. Par la suite, apparaît des phénomènes statiques, telle la formation de pseudo-coussins par polygonisation et des brèches d'effondrement.

Enfin, tel que démontré par Dimroth et Rocheleau (1979), l'absence de sculptures à la surface des coussins et la présence de petits coussins détachés, entre autres, suggèrent que le rythme de croissance des tubes archéens était supérieur à celui de leurs équivalents récents.

Ce travail a principalement permis d'approfondir et d'affiner le modèle de l'écoulement des coulées mafiques sous-marines archéennes tel que proposé par Dimroth et al. (1978). Parmi les contributions les plus importantes, notons la reconnaissance d'un faciès de levée, la présence d'activité statique après l'écoulement dynamique (formation de pseudo-coussins et des diverses brèches d'effondrement) et en général une meilleure documentation de la zone de transition entre les faciès massifs et coussinés.

Du point de vue volcanique, il a permis de concevoir un empilement volcanique tel la Formation Amulet, comme constitué de coulées composites et d'y reconnaître une séquence verticale de remplissage de la caldeira ("upward shoaling sequence") avec formation possible d'un cône secondaire au cours de l'évolution du volcan. Par ces phénomènes, la plupart des variations verticales ont pu être expliquées.

La méthodologie de recherche appliquée a permis de confirmer que l'on peut séparer des coulées mafiques et les suivre latéralement et y déterminer les changements de faciès présents.

REMERCIEMENTS

Ma reconnaissance la plus profonde va au professeur E. Dimroth pour son appui constant, ses encouragements répétés et ses critiques constructives. C'est lui qui a sélectionné la zone d'étude de cette thèse et m'a proposé comme projet de Mémoire de maîtrise à l'Université du Québec à Chicoutimi une étude des changements de faciès dans les coulées de lave mafique sous-marines archéennes. Je remercie aussi Messieurs G. Wous-sen et J. Guha pour leurs lectures critiques de ce manuscrit.

Le ministère des Richesses naturelles du Québec a entièrement financé la cartographie du terrain. Il a aussi fourni, à cette fin, au cours de deux années consécutives, deux assistants: Messieurs D. Cossette et P.A. D'Haiti, qui se sont très bien acquittés de leur tâche.

Des discussions multiples et fructueuses avec Messieurs Y. Sanschagrin et M. Leduc ont fait beaucoup pour éclaircir nos propres idées sur l'écoulement des laves mafiques sous-marines.

REFERENCES

- Ambrose, J.W. 1941. Clericy and La Pause map area. Québec. Can. Geol. Surv., Mem. 233, 86 p.
- Arndt, N.T. 1973. Pillows and lava toes in modern and ancient lavas. Geol. Soc. Am. Abst. with Prog., 5, p. 536.
- Ballard, R.D. and Moore, J.G. 1977. Photographic atlas of the Mid-Atlantic Rift Valley. Springer-Verlag, New York, N.Y.
- Baragar, W.R.A. 1968. Major element geochemistry of the Noranda volcanic belt. Québec-Ontario. Can. J. Earth. Sci., 5, pp.773-790.
- _____, Plant, A.G., Pringle, G.J. and Schau, M. 1977. Petrology and alteration of Mid-Atlantic Ridge basalt sampled from sites 332 and 335. DSDP. Can. J. Earth. Sci., 14, pp. 837-874.
- Bellaïche, G. et Cheminée, J.L. 1977. Formes volcaniques observées au cours de plongées Famous dans le rift médio-atlantique et la faille transformante "A". Bull. B.R.G.M. 2e sér., sect. IV, No. 4, pp. 311-329.
- _____, Cheminée, J.L., Francheteau, J., Hekinian, R., Le Pichon, X., Needham, H.D., and Ballard, R.D. 1974. Inner floor of the rift valley: first submersible study. Nature, 250, pp. 558-560.
- Carlisle, D. 1963. Pillow breccias and their aquagege tuffs. Quadra Island. British Columbia. J. Geol., 71, pp.48-71.
- Clifford, P.M., and McNutt, R.H. 1971. Evolution of Mt. St. Joseph - an Archean volcano. Can. J. Earth. Sci., 8, pp. 150-161.
- Cooke, H.C., James, W.F., and Mawdsley, J.B. 1931. Geology and ore deposits of the Rouyn-Harricanaw region. Quebec. Can. Geol. Surv., Mem. 166, 314 p.
- Côté, R., and Dimroth, E. 1976. Flow direction of Archean basalts determined from imbricated pillow breccias. N. Jb. Miner. Mh., 3, pp.97-109.
- Daly, R.A. 1903. Variolitic pillow lava from Newfoundland. Am. Geologist, 32, pp.65-78.
- Dewitt, M.J., and Stern, C. 1978. Pillow talk. J. Volcanol. Geotherm Res., 4, pp. 55-80.
- Dimroth, E. 1971. The evolution of the central segment of the Labrador geosyncline, part II: The ophiolitic suite. N. Jb. Geol. Palaeont., Abh., 137, pp. 209-248.
- _____, 1977. Archean autoclastic volcanic rocks, Rouyn-Noranda area, Quebec, Canada: Classification, diagnosis and interpretation. In Report of Activities, Geol. Surv. Can., Paper 77-1A, pp. 513-522.

- _____, and Lichtblau, A.P. 1979. Metamorphic evolution of Archean hyaloclastites, Noranda area, Quebec. Part I: Comparaison of Archean and Cenozoic sea-floor metamorphism. *Can. J. Earth. Sci.*, 16, pp. 1315-1340.
- _____, and Rocheleau, M. 1979. Volcanology and sedimentology of Rouyn-Noranda area, Quebec. *Geol. Assoc. Can.*, Guidebook A-1, GAC-MAC ann. meeting, Quebec 1979.
- _____, Larouche, C., and Trudel, P. 1976. Fifth progress report on volcanological and sedimentological work in Rouyn-Noranda area. *Min. des Rich. nat.*, Quebec, DP-500.
- _____, Cousineau, P., Leduc, M., and Sanschagrin, Y. 1978. Structure and organisation of Archean subaqueous basalt flows, Rouyn-Noranda area, Quebec, Canada. *Can. J. Earth. Sci.*, 16 pp. 902-918.
- _____, Gélinas, L., Provost, G., Rocheleau, M., and Tassé, N. 1975. Field trip and field conference on the volcanology of Rouyn-Noranda area. Resident Geologist's Office. *Min. des Rich. nat.*, Rouyn, P.Q., pp. 1-75.
- Drewes, H., Fraser, G.D., Snyder, G.L., Barnett, H.F. 1961. Geology of Unalaska Island and adjacent insular shelf, Aleutian Islands, Alaska. *U.S. Geol. Survey Bull.* 1028-S, pp. 583-676.
- Edwards, R.C.J. 1960. A progress report on the geological interpretation of the Noranda area. Unpub. company report for Consolidated Zinc Corp. Canada Ltd.
- Fuller, R.E. 1931. The aqueous chilling of basaltic lava in the Columbia River Plateau. *Am. J. Sci.*, 21, pp. 281-300.
- _____, 1940. Ellipsoidal structure as the gigantic disperse phase of an emulsion. (abs.), *Geol. Soc. Am. Bull.*, 51, p. 2022.
- Furnes, H. 1972. Meta-hyaloclastite breccias associated with Ordovician pillow lavas in the Solund area, west Norway. *Nor. Geol. Tidsskr.*, 52, pp. 385-407.
- Gélinas, L. and Brooks, C. 1974. Archean quench-texture tholeiites. *Can. J. Earth. Sci.*, 11, pp. 324-340.
- _____, Brooks, C., Perreault, G., Carignan, J., Trudel, P. et Grasso, F. 1977. Chemo-stratigraphic division within the Abitibi volcanic belt, Rouyn-Noranda district, Québec. In: Baragar, W.R.A., Coleman, L.C. and Hall, J.M. eds. Volcanic regimes in Canada. *Geol. Assoc. Can.*, Spec. Pap. L6, pp. 297-310.
- Goodwin, A.M. 1977. Archean volcanism in Superior Province, Canadian Shield. In: Baragar, W.R.A., Coleman, L.C. and Hall, J.M. eds. Volcanic regime in Canada. *Geol. Assoc. Can.*, Spec. Pap. 16, pp. 205-242.

- Gunning, H.C. and Ambrose, J.W. 1940. Malartic Area, Quebec. Can. Geol. Surv., Mem. 222, 142p.
- _____. 1939. The Timiskaming-Keewatin problem in the Rouyn-Harricanaw region, Quebec. Trans. Roy. Soc. Can., Sec. 3 and 4, v. 33, pp. 19-49.
- Hargreaves, R. and Ayres, L.D. 1979. Morphology of Archean metabasalt flows, Utik Lake, Manitoba. Can. J. Earth Sci., 16, pp. 1452-1466.
- Hocq, M. 1979. Demi nord et quart sud-ouest du canton Aiguebelle, comté d'Abitibi. Min. des Rich. nat., Québec, DPV 644, 44p.
- Imreh, L. 1976. Nouvelle lithostratigraphie à l'ouest de Val d'Or et son incidence gitologique. Min. des Rich. nat., Québec, DP-349 (v), 77 p.
- _____. 1978. Album photographique de coulées méta-ultramafiques sous-marinées archéennes dans le sillon de la Motte-Vassan. Min des Rich. nat., Québec, Rapport V-6, 131 p.
- Johnston, W.G.O. 1969. Pillow lava and pahoehoe: a discussion. J. Geol., 77, pp. 730-732.
- Jolly, D.T. 1974. Regional metamorphic zonation as an aid in study of Archean terrains, Abitibi region. Can. Min., 12, pp. 499-508.
- Jones, J.G. 1968. Pillow lava and pahoehoe. J. Geol., 76, pp. 485-488.
- _____. 1969. Pillow lavas as depth indicators Am. J. Sci., 267, pp. 181-195.
- Knuckey, M.J. and Watkins, J.J. 1978. The Corbet mine and its environment of ore deposition, Noranda, Quebec. Geol. Assoc. Can., Abst. with Prog., 3, p. 436.
- Krogh, T.E. and Davis, G.L. 1972. Zircon U-Pb ages of Archean metavolcanic rocks in the Canadian Shield. Carnegie Inst. Washington, Year Book 70, pp. 203-205.
- L'Espérance, R.L. 1951. The geology of Duprat township and some adjacent area of Northwestern Quebec. Min. des Rich. nat., Quebec, DP-087, 116 p.
- Lewis, J.V. 1919. Origin of pillow lavas. Geol. Soc. Am. Bull., 25, pp. 591-654.
- Mac Donald, G.A. 1953. Pahoehoe, aa, and bloc lava. Am. J. Sci., 251, pp. 169-191.
- _____. 1972. Volcanoes. Prentice-Hall. N.J., 510 p.
- Marshall, M. and Cox, A. 1971. Magnetism of pillow basalts and their petrology. Geol. Soc. Am. Bull., 82, pp. 537-552.

- Moore, G.J. 1965. Petrology of deep-sea basalt near Hawaii. Am. J. Sci., 251, pp. 169-191.
- _____. 1975. Mechanism of formation of pillow lava. American Scientist, 63, pp. 269-277.
- _____, Phillips, R.L., Grigg, R.W., Peterson, D.W., and Swanson, D.O. 1973. Flow of lava into the sea, 1969-1971. Kilauea Volcano, Hawaii. Geol. Soc. Am. Bull., 84, pp. 537-546.
- Nayudu, Y.R. 1972. A new hypothesis for the origin of guyots and seamount terraces. In: Crust of the Pacific Basin. Am. Geophys. Union, Geophys. Monogr., 6, pp. 171-180.
- Re, M.D. 1963. Hyaloclastites and pillow lavas of Acicastello, Mount Etna. Bull. Volc., 25, pp. 282-284.
- Rittmann, A. 1963. Les volcans et leur activité. Masson. Paris, 461 p.
- Rosen-Spence, A.F. (de). 1976. Stratigraphy, development and petrogenesis of the Central Noranda volcanic pile. Noranda, Quebec. Ph. D. Thesis, U. of Toronto, Ontario.
- Sigvaldason, G.E. 1968. Structure and products of subaqueous volcanoes in Iceland. Contrib. Mineral. Petrol., 18, pp. 1-16.
- Silvestri, S.C. 1963. Proposal for a genetic classification of hyaloclastites. Bull. Volc., 25, pp. 315-321.
- Snyder, G.L. and Fraser, G.D. 1963 a. Pillowed lavas, I: Intrusive layered pods and pillowed lavas, Unalaska Island, Alaska. U.S. Geol. Surv., Prof. Pap., 454-B, 23 p.
- _____. 1963 b. Pillowed lavas, II: A review of selected recent literature. U.S. Geol. Surv., Prof. Pap., 454-C, 7 p.
- Spence, C.D. 1967. The Noranda area. C.I.M.M., Centennial Field Excursion Guidebook, pp. 36-39.
- _____. 1975. Volcanic features of the Vauze sulphide deposit, Noranda, Quebec. Econ. Geol., 70, pp. 102-114.
- _____. and de Rosen-Spence, A.F. 1975. The place of sulphide mineralization in the volcanic sequence at Noranda, Quebec. Econ. Geol., 70, pp. 90-101.
- Tazieff, H. 1972. About deep sea volcanism. Geol. Rdsh., 61, pp. 470-480.
- Waters, A.C. 1960. Determining direction of flow in basalts. Am. J. Sci., 258-A, pp. 350-366.
- Wilson, M.F. 1918. Temiskaming county (Quebec). Can. Geol. Surv., Mem. 103.

- _____. 1941. Noranda district, Quebec. Can. Geol. Surv.. Mem. 229, 169 p.
- _____. 1942. Structural features of the Keewatin volcanic rocks of western Quebec. Geol. Soc. Am. Bull., 53, pp. 53-69.
- _____. 1962. Rouyn-Beauchatel Map area, Quebec. Can. Geol. Surv., Mem. 315, 140 p.