

UNIVERSITE DU QUEBEC A CHICOUTIMI

ETUDE DES COMPLEXES GRANITO-
GNEISSIQUES DE CYIMBILI, MARA ET MUTARA
REPUBLIQUE RWANDAISE
(AFRIQUE CENTRALE)

PAR

KANZIRA HILDEBRAND
DEPARTEMENT DES SCIENCES APPLIQUEES

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MAITRISE ES SCIENCES APPLIQUEES (GEOLOGIE)

DECEMBRE 1984



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.

REMERCIEMENTS

La présente étude a été réalisée grâce à une bourse d'études qui nous a été accordée par l'Agence Canadienne de Développement International (A.C.D.I.), dans le cadre de la coopération Canado-Rwandaise.

Les travaux de terrain au Rwanda et de laboratoire à l'Université du Québec à Chicoutimi ont été effectués sous la direction combien efficace du Dr G. Woussen, professeur à la-dite institution.

Nous avons bénéficié des conseils, on ne peut plus judicieux des Drs D.W. Roy, J. Carignan et E.H. Chown, professeurs à l'Université du Québec à Chicoutimi.

Le concours et l'expérience de Y. Sanschagrin du Projet de Prospection Géophysique (PPG-ACDI) au Rwanda nous furent de première nécessité pour la réalisation de ce travail.

A. Mercier du Projet Prospection Géophysique au Rwanda

et E. Akimanizanye, étudiant Rwandais à l'Université du Québec à Chicoutimi, nous ont fourni les données géophysiques utilisées dans cette étude.

Madame C. Bouchard nous a témoigné une franche collaboration durant notre séjour à l'Université du Québec à Chicoutimi.

Madame A. Marier a assuré efficacement les travaux de dactylographie de ce travail.

Nous nous souviendrons longtemps de l'assistance combien pertinente de MM. R. Lechasseur, Y. Boudreault, J.E. Villeneuve et M. Lapointe au cours de nos divers travaux de laboratoire.

Nous avons fort bien apprécié la patience et le soutien avec lesquels Kanzira M. Hélène et Kanzira S. Rémi ont vaillamment contribué à l'achèvement du présent mémoire.

Que toutes ces personnes et ces institutions trouvent en ces quelques pages, jointes à notre grand estime, l'expression de notre profonde gratitude.

RESUME

Le présent travail a été effectué au nord-ouest du Rwanda, principalement dans la région de Cyimbili. Des échantillons provenant des régions du Mutara et de Mara ont été analysés en vue d'une étude comparative.

Au point de vue contexte tectonique africain, le Rwanda constitue une zone mobile entre les cratons du Congo, de la Zambie et de la Tanzanie.

Les roches du Rwanda ont subi au moins deux orogénèses: l'orogénèse anté-burundienne (environ 2100 millions d'années) et l'orogénèse burundienne plus récente (environ 760 à 1300 millions d'années).

Les travaux de terrain et de laboratoire prouvent qu'il existe un socle gneissique anté-burundien (archéen ou protérozoïque) au Rwanda, sur lequel repose en discordance une couverture sédimentaire burundienne plus jeune, dont la base est constituée par un conglomérat. Ce socle affleure sous forme de fenêtres ou d'écrans dans les régions de Cyimbili, Mara

et Mutara.

Dans la région du Mutara, les analyses chimiques ont révélé une suite trondhjémitique dans certains granitoïdes. Cette suite rattache le socle anté-burundien, dans ce coin du pays, aux gneiss de l'Archéen.

La présence des quartzites recristallisées dans le socle anté-burundien de la région de Mara implique l'existence préalable de métasédiments pré-burundiens et possiblement une discordance entre ces métasédiments et un socle archéen plus ancien. Ceci signifierait que l'orogénèse pré-burundienne, telle que nous la connaissons actuellement, engloberait en fait deux orogénèses, à savoir l'orogénèse Eburnéenne ou Ruzizienne et une orogénèse plus ancienne connue dans le contexte tectonique africain sous le nom de tectogénèse Limpopo-Libéria (2700 ± 200 millions d'années).

Les roches plutoniques du Rwanda sont essentiellement constituées de granites d'anatexie. La pétrographie et la géochimie de ces granites montrent que ceux-ci se classifient en groupes magmato-tectoniques distincts les uns des autres. Cinq groupes magmato-tectoniques principaux sont reconnus par la présente étude:

1. Leucogranite très déformé G1
2. Granite à biotite G2

3. Granite à deux micas G3
4. Granite hololeucocrate G4
5. Pegmatites et aplites.

Les deux premiers groupes (1 et 2) sont pré-cinématiques ou syn-cinématiques et ont un âge approximatif variant entre 1300 et 1650 millions d'années, tandis que les groupes 3 et 4, beaucoup moins déformés, sont tardi à post-cinématiques. Leur âge est estimé entre 550 et 950 millions d'années.

Les granitoïdes du Rwanda n'ont pas une même réponse radioactive: les mesures spectrométriques (spectrométrie du rayonnement gamma) prises sur les affleurements montrent une grande variation des teneurs en éléments radioactifs (U, Th et K) en fonction des groupes magmato-tectoniques reconnus par la chimie et la pétrographie.

Les analyses chimiques et pétrographiques ont par ailleurs montré que ces roches ont un caractère hyperalumineux et que, par conséquent, les termes "alcalins et hyperalcalins" longtemps appliqués à ces roches sont inadéquats.

Dans leur contexte géologique et leur composition, les roches d'affinité granitique du Rwanda s'apparentent aux roches des sous-provinces de Berens et de Sachigo dans la province du Supérieur au Manitoba (Canada). Elles sont caractéristiques des terrains à cheval sur le Protérozoïque et l'Archéen.

TABLE DES MATIERES

	PAGE
REMERCIEMENTS.....	i
RESUME.....	iii
TABLE DES MATIERES.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xvii
 CHAPITRE I GENERALITES.....	 1
1.1 Sommaire de la géologie générale du Rwanda	1
1.1.1 Socle anté-burundien.....	1
1.1.2 Couverture burundienne.....	3
1.1.3 Roches volcaniques associées au Rift africain.....	5
1.2 Travaux antérieurs.....	7
1.3 But de l'étude.....	8
1.3.1 Recherche du socle anté-burundien au Rwanda.....	9
1.3.2 Etude des granitoïdes.....	12
1.4 Méthode de travail.....	15
1.5 Physiographie, localisation et moyens d'accès.....	16
1.5.1 Région de Cyimbili.....	17
1.5.2 Région de Mara.....	18

	PAGE
1.5.3 Région de Gishwati.....	18
1.5.4 Région du Mutara.....	19
CHAPITRE II PETROGRAPHIE ET STRATIGRAPHIE REGIONALE....	20
2.1 Introduction.....	20
2.2 Relations socle-couverture.....	24
2.2.1 Introduction.....	24
2.2.2 Région de Cyimbili.....	25
2.2.3 Région de Mara.....	28
2.2.4 Région du Mutara.....	30
2.2.5 Autres occurrences du socle anté-burundien.....	31
2.3 Composition du socle anté-burundien.....	34
2.3.1 Les gneiss mixtes.....	35
2.3.1.1 Les gneiss granitiques oeillés.....	35
2.3.1.2 Les gneiss quartzo-feldspathiques.....	40
2.3.1.3 Les migmatites.....	43
2.3.1.4 Analyse modale des gneiss granitiques.....	44
2.3.1.5 Les roches anté-burundiennes d'affinité gabbroïque.....	46
2.3.2 Les quartzites recristallisées.....	48
2.4 Les roches métasédimentaires burundiennes.....	48
2.4.1 Introduction.....	48
2.4.2 Région de Cyimbili.....	49
2.5 Les roches burundiennes d'affinité granitique.....	50

2.5.1	Introduction.....	50
2.5.2	Leucogranite très déformé.....	51
2.5.3	Granite à biotite.....	53
2.5.4	Granite à deux micas.....	55
2.5.5	Granite hololeucocrate.....	61
2.5.6	Pegmatites et aplites.....	64
2.6	Analyse modale des granites burundiens....	67
2.7	Les roches burundiennes d'affinité gab- broïque.....	69
2.8	Stratigraphie régionale.....	69
CHAPITRE III	TECTONIQUE DU N-W DU RWANDA.....	75
3.1	Observations structurales.....	75
3.1.1	Déformation ductile dans la couverture..	75
3.1.2	Déformation ductile dans le socle.....	85
3.1.3	Déformation ductile dans les granites...	86
3.1.4	Déformation cassante.....	87
3.1.5	Résumé de la structure dans le N-W du Rwanda.....	90
CHAPITRE IV	METAMORPHISME.....	94
4.1	Métamorphisme régional.....	94
4.2	Métamorphisme de contact.....	97
CHAPITRE V	GITOLOGIE.....	98
5.1	Introduction.....	98

	PAGE
5.2 Les gîtes d'étain.....	99
CHAPITRE VI ETUDES CHIMIQUES ET RADIOMETRIQUES DES GRANITOIDES.....	102
6.1 Introduction.....	102
6.2 Résultats d'analyse.....	102
6.2.1 Diagramme AFM.....	102
6.2.2 Diagrammes Qz-Ab-Or et An-Ab-Or.....	104
6.2.3 Diagramme Na ₂ O - K ₂ O versus SiO ₂	107
6.2.4 Diagrammes éléments traces versus ma- jeurs.....	110
6.2.5 Diagramme ternaire Th-U-K.....	113
CHAPITRE VII DISCUSSIONS.....	116
CHAPITRE VIII CONCLUSIONS.....	130
CHAPITRE IX RECOMMANDATIONS.....	133
REFERENCES.....	135
ANNEXES: 1. Planches des régions cartographiées.....	147
2. Analyse des éléments majeurs des roches par fluorescence-X (Woussen,G., 1984).....	159
3. Analyse des éléments par absorption ato- mique.....	182

	PAGE
4. Radiométrie des granitoïdes du N-W du Rwanda.....	184
5. Tableaux des analyses chimiques.....	186
5.1 Analyses chimiques, éléments majeurs.....	186
5.2 Analyses chimiques, éléments traces.....	187
5.3 Calcul de la norme CIPW.....	188
5.4 Diagrammes IFM-IDL et tétraèdre des granites et des roches felsiques.....	189
6. Tableau des mesures spectrométriques.....	192
7. Données structurales sur canevas de Wulff.	195
8. Liste des localités.....	214
9. Légende de la carte géologique du massif gneissique du Mutara.....	217

LISTE DES FIGURES

	PAGE
Fig. 1 Carte simplifiée montrant le craton de la Zambie, entouré par des zones plus jeunes (d'après Kröner, 1976; modifiée).....	2
Fig. 2 Système du Rift de l'Afrique orientale (d'après King, 1970).....	6
Fig. 3 Carte minière du Rwanda (d'après Ziserman et al., 1983).....	13
Fig. 4 Anomalies radioactives et magnétiques du nord- ouest du Rwanda (d'après Sanschagrin et al., 1983 b).....	14
Fig. 5 Carte schématique des domaines géologiques, nord-ouest du Rwanda (d'après Sanschagrin et al., 1983 b).....	21
Fig. 6 Représentation schématique des discordances angulaires entre le conglomérat de base et les gneiss granitiques.....	26
a) Rivière Nkora-amont	
b) Rivière Biruyi-amont	
c) Rivière Biruyi-moyen	
C) Contact conglomérat-gneiss	

	F ₁ Foliation des gneiss	
Fig. 7	Gneiss granitiques de Nyamirama et de Rutare rwa Munanira (d'après Gérards, 1969).....	32
Fig. 8	L'anticlinal de Mugombwa (d'après Gérards, 1973)	
Fig. 9	Croquis représentant la déformation hétérogène subie par les gneiss granitiques du Rwanda.....	38
	9 a Texture ophtalmique ou "augen gneiss" (éch. A 1205)	
	9 b Texture "flaser" (éch. A 162)	
	9 c Texture protomylonitique	
Fig. 10	Diagramme QAP (d'après Streckeisen, 1974) - Analyse modale des gneiss granitiques.....	47
	Région de Cyimbili: triangles ouverts	
	Région de Mutara: triangles fermés	
	Région de Mara: cercles ouverts	
Fig. 11	Diagramme QAP (d'après Streckeisen, 1974) - Analyse modale des granites burundiens.....	71
	G ₁ o G ₂ • G ₃ Δ G ₄ x et les pegmatites +	
Fig. 12	Observations structurales: carte de localisa- tion des secteurs 1-2-3...Nos de localités.....	78
	① no des stéréogrammes	
	1 no des secteurs	
Fig. 13	Stéréogramme de compilation (stéréonet de Wulff)....Dispersion des L _i	84

- ⊗ Axe de dispersion des L_i
 - ▣ Axes de dispersion S_o
 - ⊙ Axe de dispersion S_1
 - x Linéations L^o
 - Δ Linéations des crénulations moyennes
- chiffres: secteurs

Fig. 14 Pôles des plans de failles (Stéréonet de Wulff). 88

- ⊙ Couverture
- ▣ Socle
- ▨ Position des pôles des failles possibles reliées au Rift

Fig. 15 Carte de localisation des isogrades métamorphiques dans la région de Cyimbili..... 95

Fig. 16 Diagrammes AFM (d'après Ringwood, 1977)..... 103

- a Granites burundiens
- b Gneiss granitiques
- c Diagramme AFM, champs calco-alcalin, tholéitique et trondhjémitique (d'après Barker et Arth, 1976)

Cyimbili o Mara • Mutara Δ

Fig. 17 a Diagramme d'équilibre isobarique à 0.5, 2 et 3 Kb (d'après Tuttle et Bowen, 1958).... 105

Gneiss •

Granites et pegmatites o

Fig. 17	b	Diagramme Ab-An-Or Proportions normatives des roches granitiques du Rwanda.....	105
		Lignes pleines: classification de O'Connor (1965)	
		Pointillés: limites des plagioclases d'a- près Glikson et Sheraton (1972)	
Fig. 18		Diagramme ternaire An-Ab-Or des gneiss graniti- ques de Mara • Cyimbili o et Mutara Δ, d'a- près la classification de O'Connor (1965).....	106
Fig. 19	a	Diagramme Na ₂ O - K ₂ O versus SiO ₂ (d'après McDonald et Katsura, 1964) des granites bu- rundiens.....	107
	b	Diagramme Na ₂ O - K ₂ O versus SiO ₂ (d'après McDonald et Katsura, 1964) des gneiss gra- nitiques du Mutara Δ Cyimbili o et Mara • (compositions moyennes).....	107
Fig. 20		Diagramme K ₂ O versus Ba, groupes magmato-tecto- niques des granites burundiens	
		G ₁ Δ G ₂ * G ₃ + G ₄ x	109
Fig. 21	a	Diagramme K ₂ O versus Ba, gneiss granitiques du socle.....	111
		Cyimbili o Mutara Δ Mara •	
	b	Diagramme K ₂ O versus Rb, gneiss granitiques du socle.....	112
		Cyimbili o Mutara Δ Mara •	

- Fig. 22 Interprétation des données radiométriques des
granitoïdes du N-W du Rwanda..... 114

GN: gneiss granitiques

G₂: granites à biotite

G₃: granites à deux micas

G₄: granites hololeucocrates

P : pegmatites

- Fig. 23 Diagrammes AFM, Q-Ab-Or, K-Na-Ca comparatifs des
roches plutoniques du Rwanda et des roches batho-
litiques de la sous-province de Berens, Manitoba
(Canada)..... 123

a	AFM	}	Rwanda
b	Q-Ab-Or		
c	K-Na-Ca		
	□ granites		
	● gneiss granitiques		
	o tonalites-trondhjémites		
d	AFM	}	Berens
e	Q-Ab-Or		
f	K-Na-Ca		
	□ granites		
	● granodiorite à granite		
	o tonalite à granodiorite		

Fig. 24 Représentation schématique du modèle proposé... 128

- ① Plutonisme tonalitique
- ② Orogénèse anté-burundienne
- ③ Orogénèse burundienne
- ④ Rift Africain et volcanisme associé

LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
TABLERAU 1 Stratigraphie du Rwanda (d'après Sans- chagrin, 1983, modifié par Kanzira, 1983) ..	4
TABLERAU 2 a Stratigraphie du Burundien dans la par- tie orientale du Rwanda et du Burundi (d'après Cahen et Lepersonne, 1967)	10
b Stratigraphie du Burundien dans la partie occidentale (ouest du Rwanda et du Burun- di et Kivu-sud) (d'après Cahen et Leper- sonne, 1967)	11
TABLERAU 3 Classification magmato-tectonique des roches granitiques du Rwanda (d'après Gérards et Ledent, 1970; Petticec, 1979)	23
TABLERAU 4 Niveaux topographiques de la discrodance entre le socle et sa couverture burundien- ne	29
TABLERAU 5 Gneiss: analyse modale	45
TABLERAU 6 Granites burundiens: analyse modale	68
TABLERAU 7 Caractéristiques des divers types de ro- ches burundiennes d'affinité gabbroïque (d'après Sanschagrin et al., 1983 a)	70

TABLEAU 8	Stratigraphie régionale.....	74
TABLEAU 9	Relations structurales entre les failles du socle et celles de la couverture.....	89
	S ₁ et S ₂ : failles 1 et 2 du socle	
	C ₁ et C ₂ : failles 1 et 2 de la couverture	
TABLEAU 10	Synthèse structurale de la région de Cyimbili.....	92
TABLEAU 11	Modèle proposé pour l'évolution des pluto- nites et laves du Rwanda.....	127

CHAPITRE I

GENERALITES

1.1 Sommaire de la géologie générale du Rwanda

Le Rwanda constitue une zone mobile entre les cratons du Congo à l'ouest, de la Zambie au sud et de la Tanzanie à l'est et comprend presque exclusivement des roches précambriennes (Kröner, 1976; Gérards et Ledent, 1970) (fig. 1).

Celles-ci peuvent être subdivisées en trois groupes d'âge.

1.1.1 Socle anté-burundien

Le socle anté-burundien (2100 m.a. \pm 250) est communément appelé Ruzizien, terme qui, pour le moment est sujet à discussions au Rwanda, puisqu'aucune datation de ce socle n'a été effectuée. Ce socle est constitué de roches du Protérozoïque inférieur ou archéennes affectées par une orogénèse anté-burundienne, possiblement l'orogénie ruzizienne ou anté-ruzizienne.

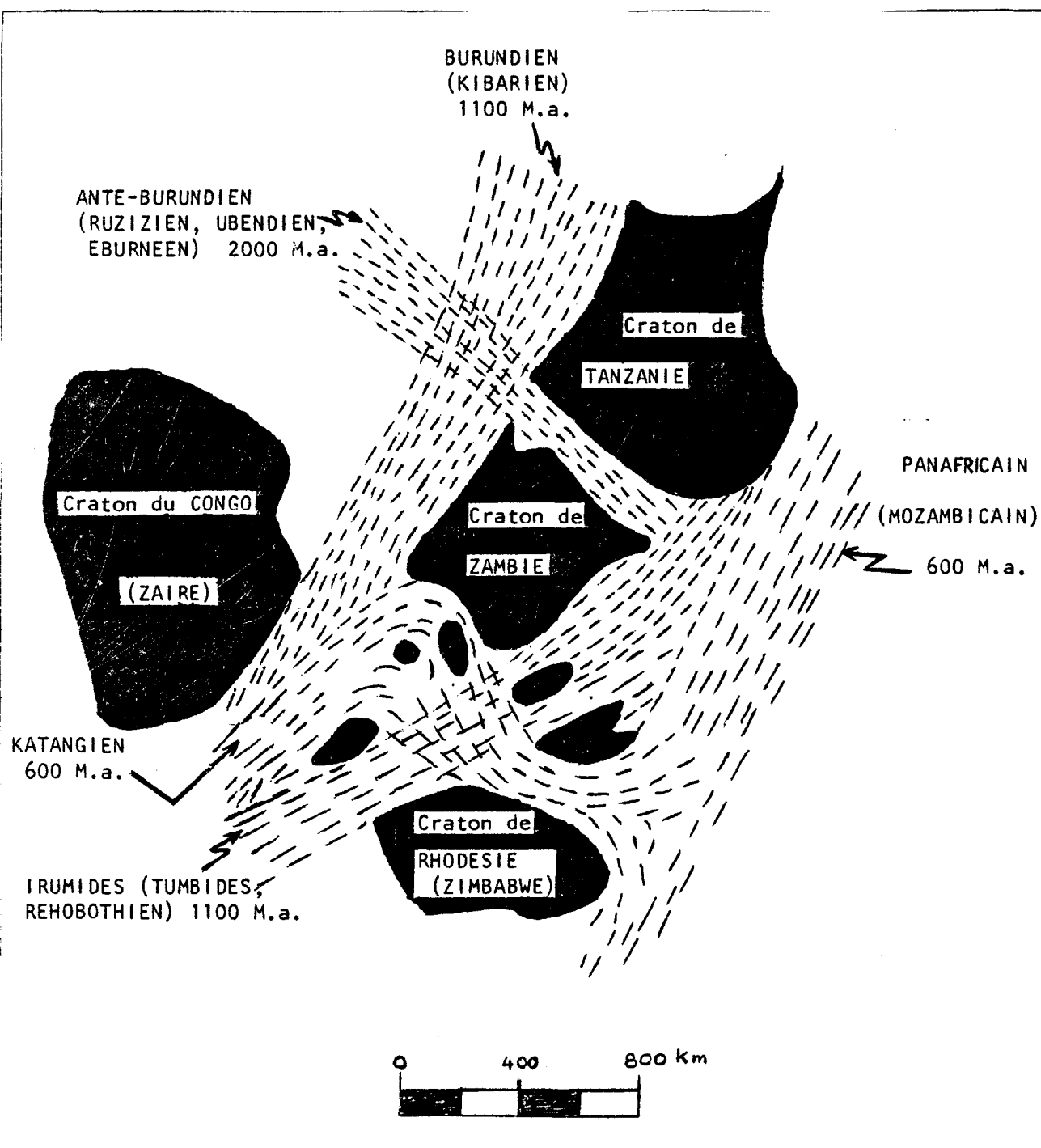


Fig. 1 Carte simplifiée montrant le craton de la Zambie entouré par des zones plus jeunes. Les zones en noir représentent la croûte cratonique stable depuis le Protérozoïque inférieur (d'après Kröner, 1976; modifiée).

Cette orogénèse correspond à la tectogénèse éburnéenne (2000 ± 200 m.a.) bien connue en Afrique et à l'orogénèse ubendienne, dont elle est le prolongement (Kröner, 1976).

Cette zone Ubendienne-Ruzizienne sépare le craton de la Zambie du craton de Tanzanie. Sa lithologie (Quenell et Haldemann, 1960) et sa tectonique indiquent une remobilisation à grande échelle de l'ancien socle et des roches ubendiennes (Ray, 1974) au cours du cycle tectogénétique éburnéen, environ 2000 m.a. (Dodson et al., 1975). Cahen et Lepersonne (1967) rapportent que des roches cristallines et des métasédiments du complexe de Muhila constitueraient une partie du substratum de la séquence ruzizienne.

1.1.2 Couverture burundienne

La couverture burundienne (760 m.a. ± 60 à 1300 m.a. ± 150) est constituée de roches du Protérozoïque moyen et supérieur affectées par l'orogénèse burundienne (tableau 1).

Dans le contexte tectonogénétique africain, l'orogénèse burundienne correspond à l'orogénèse kibarienne (1100 ± 200 m.a.) et est représentée par deux ceintures majeures ayant évolué dans des bassins profonds et subi des déformations lors de l'orogénie kibarienne. Ce sont les Kibarides (Cahen, 1970) et la ceinture Rehoboth-Irumides (De Villiers and Simpsons,

STRATIGRAPHIE DU RWANDA

Tableau I

(D'APRES SANSCHAGRIN, 1983, COMPLETE PAR KANZIRA, 1983)

4

CON	ERE	AGE AM. DU NORD	AGE AFRIQUE	PERIODE	SUPER GROUPE	MAGMATISME	TECTONIQUE
PHANEROZOIQUE	Cénozoïque (Quaternaire)	0		Pleistocène	AGE TR. SEDIMENTAIRES	Volcanisme récent Burunga au nord-ouest du Rwanda	
		28		Miocène			
		60		Paleocène	50	Volcanisme cénozoïque au sud du Rwanda	Début du Rift
				Crétacé	75	Dykes mafiques porphyriques #1	
	Mésozoïque (Tertiaire)	105			120		Soulèvement de crête Zaïre - Ni
					550	Ventes de quartz #1 Aplites Pegmatite I (non déformée) G4 Granite hololeucocrate	
	Paléozoïque (Secondaire)	520	680	Supérieur P & A	700		
					720		
					906	G3 Granite à 2 micas	
					947		
			1000		1190	Pegmatite I (déformée)	
					1299	G2 Granite à biotite	
					1300	Amphibolite II déformée déformée et métamorphosée	
CRYPTOZOIQUE (Primaire)	Proterozoïque			Moyen P & B		G1 Leucogranite très déformé	
						Sédiments Burundiens	
						a) Séries supérieures: Série de Mýove assises pélitiques et arénacées quartzites et poudingues de Gitare et de Rwentwavu Série de Byumba (Burundien moyen). assises pélitiques et arénacées quartzites de la Luhwa quartzites de la Rwamabara	
						b) Séries inférieures Série de Rutonga assises pélitiques et arénacées quartzites de la Mulindi quartzites de Nduba Série de Gatumba schistes granitiques supérieurs Série de la Muhemba Conglomérat de base	
	Archaïen		1650			Discordance angulaire	
				Intérieur P & C	2100	Gneiss granitiques ocellés Amphibolite I (en lambeaux dans les gneiss) Gneiss mixtes: Gneiss granitiques ocellés Amphibolite I (migmatisée ?) Migmatites Quartzites recristallisées	
	Archaïen		2600			Discordance angulaire???	
				P & D		Gneiss tonalitiques Gneiss trondhémiques	

#1 Relations d'âge inconnues

1974).

Les formations kibarides consistent en des couches déformées des séquences kibariennes et burundiennes dont l'épaisseur atteint 10 à 15 km et sont composées de séries monotones de métasédiments avec de rares occurrences de roches volcaniques acides et basiques avec leurs équivalents métamorphiques (Cahen et Lepersonne, 1967, Cahen, 1970).

1.1.3 Roches volcaniques associées au Rift Africain

Les roches volcaniques sont associées au Rift Africain (fig. 2). Le soulèvement de la crête Zaire-Nil au Mésozoïque (75 à 120 m.a.), la latérisation et l'érosion (60 à 75 m.a.) ont été accompagnés d'éruptions volcaniques.

Dans la région des Birunga, au nord et nord-ouest du Rwanda, huit édifices volcaniques majeurs se sont érigés dans le Rift.

Ce sont des cônes à pentes abruptes et de hauteur maximum atteignant 4350 m. Les laves sont de composition allant de leucitite ou néphélinite à trachyte, mais sont caractérisées par un rapport K/Na élevé (Clifford et Gass, 1970). Deux de ces volcans sont encore en activité, le Nyamuragira (3000 m) et le Nyiragongo (3416 m) dont un des cratères, le Murara a fait éruption tout récemment en 1980.

Au sud du lac Kivu, se trouve un champ de laves composées essentiellement de basaltes alcalins et de basanites, mais les trachytes et les trachyandésites y sont représentées (Clifford et Gass, 1970).

L'activité ignée commence au début du Cénozoïque (Pliocène) par l'émission de laves basaltiques (région du Bugarama) et se termine au quaternaire par l'épanchement de laves alcalines de la chaîne des Birunga (Clifford et Gass, 1970; Pétricec, 1979).

L'activité hydrothermale associée à cet accident tectonique (Rift) s'est poursuivie jusqu'aujourd'hui. En effet, des sources chaudes précipitent encore des roches carbonatées. Ces sources chaudes sont connues au Rwanda sous l'appellation "Mashyuza" (eaux chaudes) et se chiffrent à environ une quinzaine.

1.2 Travaux antérieurs

Beaucoup de travaux ont déjà été réalisés dans la région du nord-ouest du Rwanda.

Outre ceux de Cahen et Lepersonne (1967), de Antun (1964) et de Peeters déjà cités, qui nous ont permis de soupçonner l'existence du socle anté-burundien dans la région, nous citerons ceux de Klob (1977) et Gérards et Ledent (1970) qui

relataient un grade de métamorphisme très élevé dans cette zone par rapport au reste du pays. Le premier signale dans la région la présence des gneiss, ce qui nous laisse présumer la présence de roches burundiennes fortement métamorphisées, lesquelles se prêtent bien à l'analyse structurale, alors que les deux derniers signalent l'existence du faciès granulite ou amphibolite supérieur (micaschistes à sillimanite) aux environs des granites de la crête Zaïre-Nil.

Les travaux de Gérards et Ledent (1970) et de Pétricc (1979) ont apporté les premières précisions à la classification des roches d'affinité granitique du Rwanda.

Plusieurs autres travaux ont été effectués, parmi lesquels nous retrouvons ceux de Corminboeuf (1969), d'Agassiz (1954) qui ont contribué à une meilleure connaissance géologique de la région.

Certes, si ces travaux ont été d'un grand intérêt pour nous, il n'en est pas moins évident qu'ils sont souvent en désaccord les uns avec les autres.

1.3 But de l'étude

Loïn d'être une étude exhaustive, le présent travail a pour but de définir un cadre géologique général dans une région relativement mal connue, qui pourrait servir de tremplin à des

études subséquentes plus détaillées.

L'objectif principal de notre travail fut de rechercher le socle précambrien au Rwanda, afin de mieux définir le contexte tectono-stratigraphique du pays, et faciliter ainsi la tâche aux travaux ultérieurs.

Le deuxième volet fut consacré à l'étude des roches d'affinité granitique auxquelles traditionnellement sont génétiquement reliées les minéralisations en étain et tungstène (Sanschagrin et al., 1983 a).

1.3.1 Recherche du socle précambrien au Rwanda

Plusieurs raisons nous ont poussés à choisir le feuillet Murunda (**carte** en pochette) comme cible favorable à la recherche du socle anté-burundien.

a) D'après les travaux effectués par Cahen et Leperonne (1967), le géosynclinal burundien présente au Rwanda central et oriental un maximum d'épaisseur. L'épaisseur totale des formations burundiennes atteindrait 10 000 m, alors que dans la zone occidentale, l'épaisseur totale atteindrait seulement 4 à 5 000 m (tableaux 2a et 2b), ce qui signifie que le socle anté-burundien devrait affleurer dans la région de la crête Zaïre-Nil.

TABLEAU 2 a - STRATIGRAPHIE DU BURUNDIEN DANS LA PARTIE ORIENTALE DU RWANDA ET DU BURUNDI

DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	EPAISSEUR (m)	EPAISSEUR TOTALE
Séquence de Miyove		
(10) Schistes ardoisiers siliceux et phyllites avec intercalations de quartzite, grès conglomératiques et intercalation d'arkose à granulométrie grossière à la base	~1300-1400	
(9) Grès à grains anguleux et à granulométrie fine à grossière avec des conglomérats dans la partie supérieure	~140	
-----Discordance faible-----		
Séquence de Byumba		
(8) Phyllites foncées et phyllites à quartz avec intercalations de quartzite et de grès conglomératique	1200	
(7) Quartzites grossières avec intercalations de phyllites rubannées; conglomérat de base avec petits cailloux de quartz et quartzite	1000	
Séquence inférieure		
(6) Schistes foncés et phyllites avec rares intercalations de quartzite; phyllites foncées à quartz à la base	2000	
(5) Quartzite de Nduba	30	
(4) Phyllites, phyllites à quartz, grès à grains anguleux et quartzites; quartzite basale devenant conglomérat à petits cailloux de quartz et de quartzite	1300	
(3) Alternance de schistes, phyllites, grès à grains anguleux et quartzites	1200	
(2) Grès et quartzites de Rutongo, localement grossiers	130	
(1) Alternance de quartzites et phyllites, devenant à la base des schistes à muscovite et des quartzites cristallins à cause d'un métamorphisme de contact causé par un granite	1000	9400

TABEAU 2 b - STRATIGRAPHIE DU BURUNDIEN DANS LA PARTIE OCCIDENTALE (OUEST DU RWANDA ET DU BURUNDI ET KIVU-SUD)

SEQUENCE	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	EPAISSEUR (m)	EPAISSEUR TOTALE
Burundienne	(7) Schistes ardoisiers avec lentilles de quartzite	600	
	(6) Quartzite	40-800	
	(5) Schistes ardoisiers noirs et rubannés; petites lentilles de marbre et quelquefois lentilles épaisses de conglomérat avec une matrice argileuse (tillorde)	>2000	
	(4) Schistes ardoisiers rubannés, souvent noirs, avec de rares lentilles minces de quartzite	200-1000	
	(3) Quartzite, porteuses de feldspath et conglomératiques à la base, avec intercalations de schistes et de phyllites à quartz	600-1000	
	(2) Phyllites et schistes à sérícites foncés avec localement des calcaires cristallins	600-1000	
	(1) Quartzites et conglomérats	50-200	
	-----Discordance-----		
Pré-burundien (Ruzizien)			~5350

TABEAU 2 STRATIGRAPHIE DU BURUNDIEN D'APRES CAHEN ET LEPERSONNE (1967)

- a) Stratigraphie du Burundien dans la partie orientale du Rwanda et du Burundi
- b) Stratigraphie du Burundien dans la partie occidentale (ouest du Rwanda et du Burundi et Kivu-sud).

Au sud du Rwanda et au nord du Burundi (coupe Butare-Bujumbura), Antun (1964) a établi une échelle stratigraphique des formations attribuées au Burundien et débutant par un niveau de base discordant sur des gneiss sousjacents considérés par lui comme anté-burundiens.

Les travaux de Phillips (1959) et de Reece (1960) signalent que dans le sud-ouest de l'Uganda, c'est-à-dire juste au nord-ouest du Rwanda, il existe une transgression rapide du Burundien sur son socle, accompagnée de lacunes stratigraphiques.

b) Les cartes pré-existantes présentent une lithologie diversifiée et une bonne densité d'affleurements plus ou moins frais.

c) La région présente un grand nombre d'indices minéralisés, des mines en exploitation ou abandonnées (fig. 3).

d) Les cartes des résultats du levé aéroporté révèlent des anomalies magnétiques très expressives dans cette région (fig. 4).

1.3.2 Etude des granitoïdes

Dans cette étude, nous tenterons de:

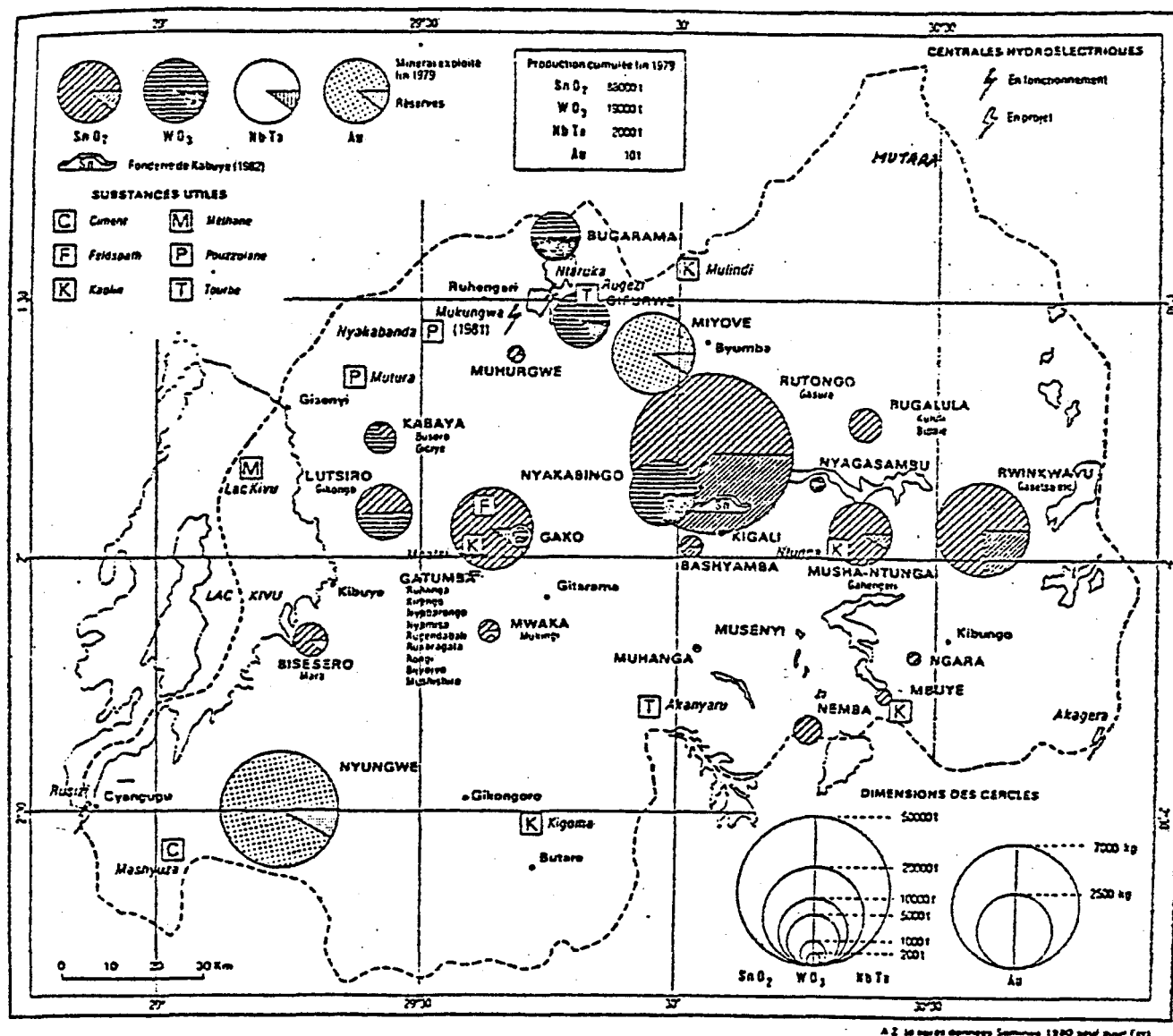


Fig. 3 Carte minière du Rwanda (d'après Ziserman et al. (1983))

ANOMALIES RADIOACTIVES ET MAGNETIQUES DU NORD-OUEST
DU RWANDA

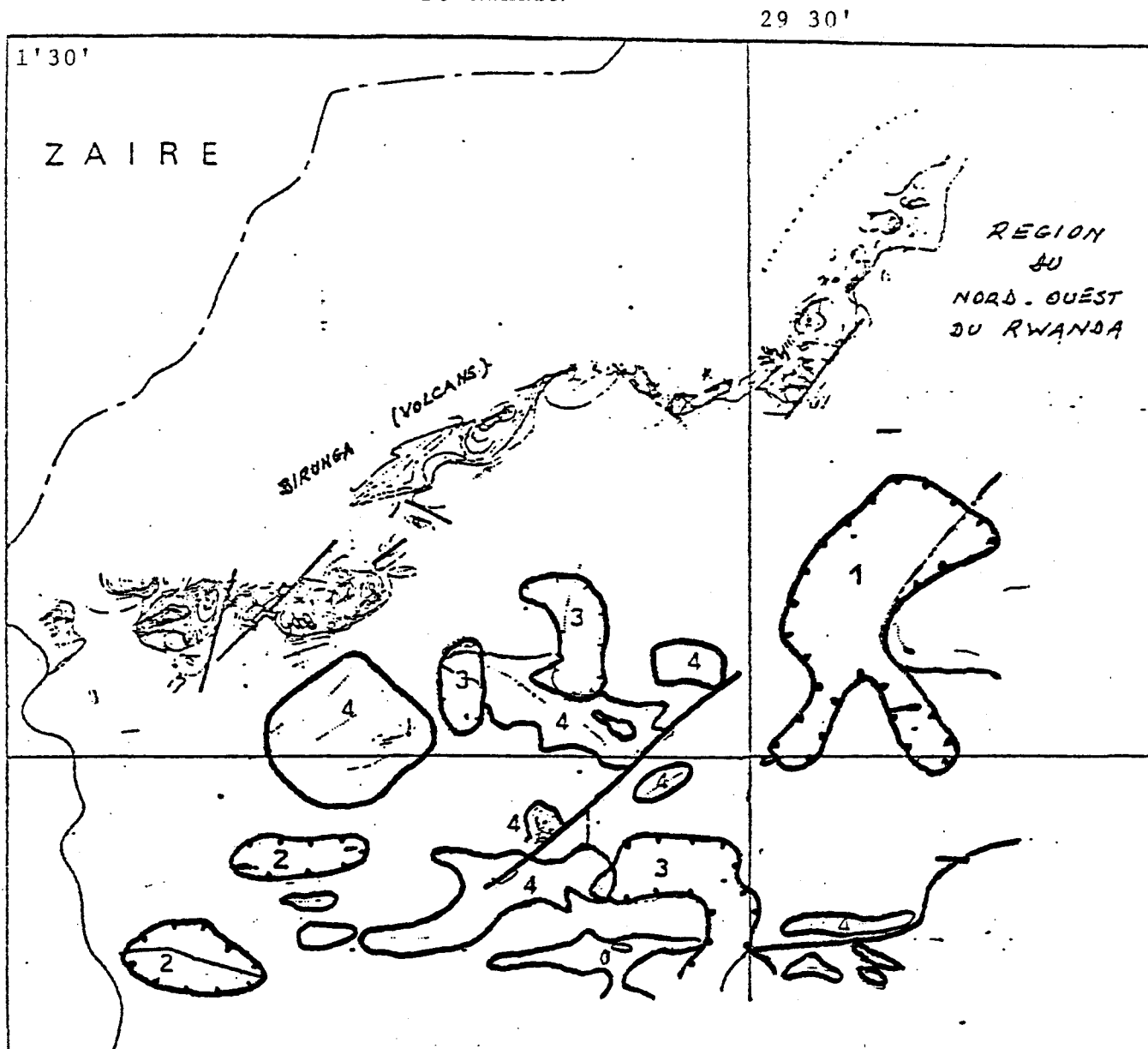


Fig. 4 Anomalies de Hunging Geology and Geophysics (modifiée d'après Hunting, 1975)

1. Limite des zones enrichies en thorium avec anomalies mixtes eU-eTh et eU, eTh et K d'intérêt moyen
2. Limite des zones enrichies en thorium avec anomalies mixtes eU-eTh et d'intérêt moyen
3. Limite des zones enrichies en thorium avec anomalies mixtes eU-eTh et K d'intérêt moyen
4. Train d'anomalies magnétiques (d'après Sanschagrin et al. (1983 b))

a) caractériser les différents types de roches d'affinité granitique par une étude pétrographique et chimique

b) dater les différents types de roches granitiques par les relations stratigraphiques et structurales (les études postérieures devront porter sur la radiodattation)

c) établir la carte des domaines burundiens et anté-burundiens

d) établir une carte des isogrades métamorphiques dans la mesure du possible

Les études ultérieures porteront intérêt également sur le problème de la minéralisation en examinant les relations entre les zones minéralisées connues et la source probable de la minéralisation.

e) étudier les réponses spectrométriques de ces roches sur le terrain en vue de les corréler avec celles du levé aérien

f) établir la stratigraphie sommaire de la région.

1.4 Méthode de travail

Le travail s'est effectué en deux étapes: en premier

lieu, une reconnaissance régionale uniquement sur des terrains accessibles par voies carrossables; ensuite, une cartographie systématique le long des grandes rivières et des sommets des collines susceptibles d'intérêts géologiques.

Nous disposons de fonds topographiques au 1/20000e (forêt de Gishwati) du Projet Agro-Sylvo-Pastoral et d'agrandissements au 1/20000e de la carte planimétrique de Tervuren (Musée Royal de l'Afrique Centrale) dont l'échelle originale est de 1/50000e.

La distorsion présentée par certains des agrandissements peut être à l'origine de certaines erreurs de localisation de quelques-uns de nos affleurements.

A cause de l'échelle à laquelle nous avons travaillé (1/50000e), certains de nos affleurements ne pouvant être représentés, nous avons regroupé les lithologies dans des zones hybrides avec chaque fois la lithologie principale en exergue et les lithologies secondaires entre parenthèses (**carte géologique** en pochette).

1.5 Physiographie, localisation et moyens d'accès

Les régions cartographiées sont celles de Cyimbili (en entier), de Gishwati (axe routier Nahoko-Kabaya: uniquement les formations présumées anté-burundiennes) ainsi que celle de

Mara.

Pour une étude comparative, nous avons analysé les échantillons de la région du Mutara, cartographiée par Sanschagrin (1983). Le lecteur trouvera en annexe la liste des localités ainsi que les **cartes de localisation** en pochette.

1.5.1 Région de Cyimbili

La région cartographiée est située au nord-ouest du pays, à cheval sur la préfecture de Kybuye et celle de Gisenyi, à l'ouest de la crête Zaïre-Nil.

La route nationale Kibuye - Gisenyi ainsi que la route Gisenyi - Cyimbili - Nkora desservant la région respectivement à l'est et à l'ouest, alors qu'une route carrossable intermédiaire traverse toute la zone et passe par les centres de négoce Kurugarika, Kannywero, Biruyi et Gahotora.

Le réseau hydrographique est assez dense. Les rivières Koko (près de Murunda), Gashashi (près de Nyamyumba), Cyimbili, Biruyi, Nkora et Rugamba (dans la commune Kayove) sont les principaux cours d'eau.

La plupart de ces rivières prennent leur source dans la forêt naturelle de Gishwati, située au nord-est de la zone

considérée.

Le point topographique le plus haut est situé à 2000 m (paroisse de Kivumu) tandis que le plus bas se trouve au bord du lac Kivu avec une altitude de 1437 m. La superficie de la zone étudiée est d'environ 120 km².

1.5.2 Région de Mara

La région de Mara est située au sud-ouest de la préfecture de Kibuye avec une superficie d'environ 30 km². Elle est délimitée par les rivières Kilaro, Lubyiro, Mara, Karora, Kamabuye et de nombreux petits affluents.

De petites routes régionales sillonnent la région et sont presque toutes carrossables. Le relief est assez accidenté.

1.5.3 Région de Gishwati

La région de Gishwati se trouve à l'extrême nord de la zone de Cyimbili, dans la forêt naturelle du même nom. L'altitude maximale atteint 2850 m. La seule route suivie est la route Mahoko-Kabaya. Comme partout ailleurs, les ruisseaux et rivières sont très abondants.

1.5.4 Région du Mutara

La région du Mutara se trouve au nord-est du Rwanda. Elle est constituée de collines aux pentes relativement douces. L'altitude maximale se situe un peu au-dessus de 1500 m. Les grands axes hydrographiques ont une orientation nord-nord-est (**carte** en annexe) et s'écoulent vers la rivière Akagera (frontière Uganda-Rwanda) à proximité du poste frontalier de Kagitumba.

La physiographie du Mutara est très différente de celle de la région de Byumba immédiatement adjacente au sud-ouest de la première. En effet, dans la région de Byumba, les collines sont très escarpées et l'altitude maximale dépasse les 2100 m.

CHAPITRE II

PETROGRAPHIE ET STRATIGRAPHIE REGIONALE

2.1 Introduction

La compilation des cartes pré-existantes montre quatre domaines géologiques ayant une signature géophysique différente (fig. 5).

Domaine 0: le domaine 0 comprend des roches burundien-
nes supracrustales peu ou pas métamorphi-
sées

Domaine I: le domaine I comprend des roches sédimen-
taires faiblement à fortement métamorphi-
sées avec quelques intrusions granitiques

Domaine II: le domaine II est constitué d'une ceintu-
re granito-gneissique avec diverses zones
anomaliques

zone 1: anomalies géochimiques rapportées

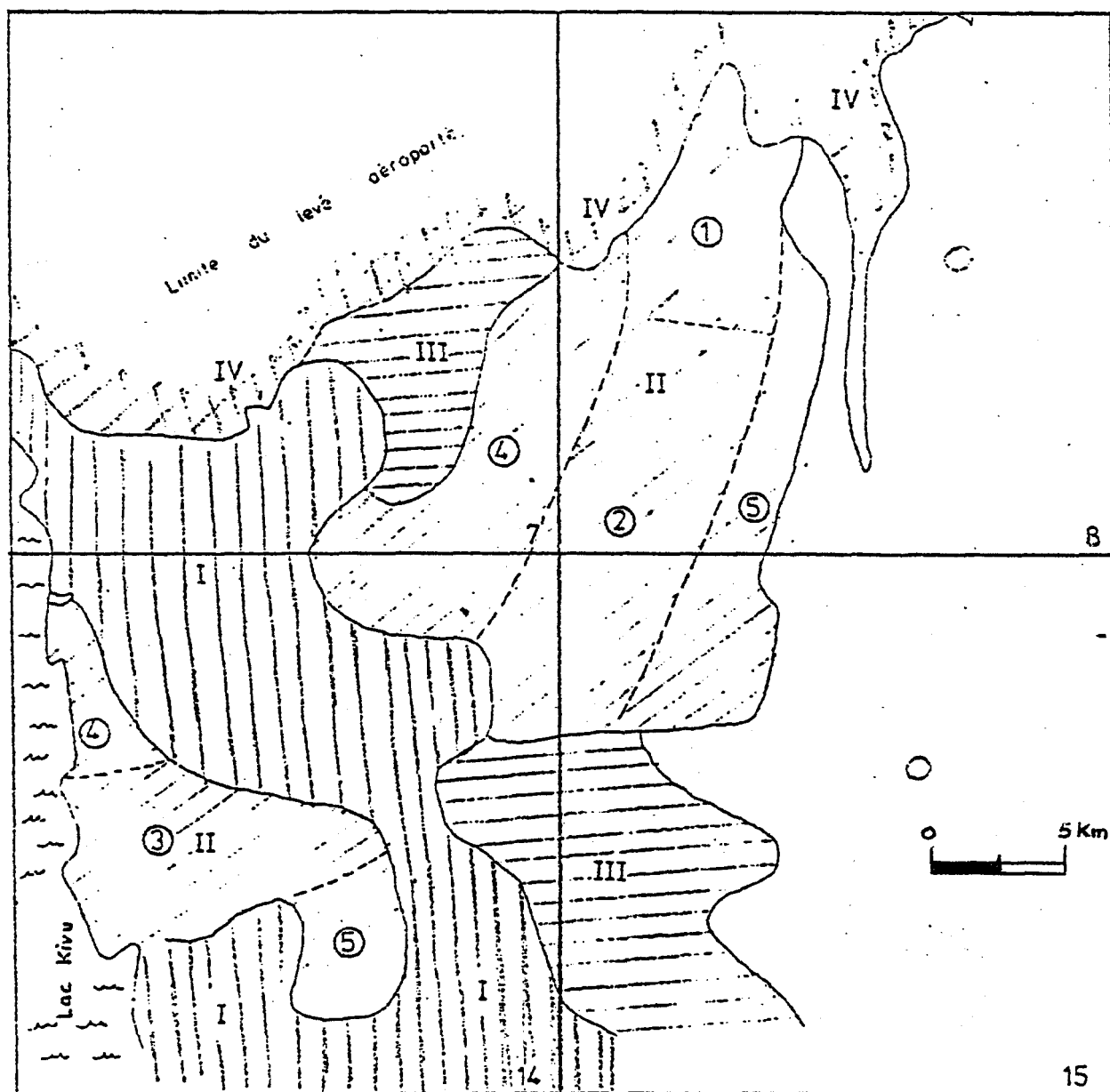


Fig. 5 Carte schématique des domaines géologiques nord-ouest du Rwanda (d'après Sanschagrin et al., 1983b)

- zone 2: anomalies radiométriques (eU)
- zone 3: anomalies radiométriques (eTh)
- zone 4: partie interne de la ceinture
sans anomalie radiométrique
- zone 5: partie externe de la ceinture
sans particularité radiométrique.

Domaine III: le domaine III comprend des gneiss avec un mélange de roches sédimentaires et intrusives felsiques (Klob, 1977)

Domaine IV: le domaine IV comprend des roches intrusives indifférenciées d'affinité granitique et des volcanites cénozoïques.

La majorité des granitoïdes est considérée par les anciens auteurs (Gérards et Ledent, 1970; Pétricec, 1979) comme d'âge burundien et sont classifiés en deux groupes magmatotectoniques principaux, le second groupe lui-même étant scindé en deux (tableau 3).

La mise en place des plutons granitiques burundiens est considérée comme reliée à l'orogénèse burundienne. Celle-ci constitue l'événement géologique majeur qui a plissé la séquence sédimentaire burundienne et favorisé la mise en place des massifs granitiques dont les rapports avec la minéralisation sont très intimes (Sanschagrin et al., 1983 a).

TABEAU 3 - CLASSIFICATION MAGMATO-TECTONIQUE DES ROCHES GRANITIQUES DU RWANDA
(d'APRÈS GERARDS ET LEDENT, 1970; PETRICEC, 1979; BAUDIN, 1979).

GROUPE I	Gneiss granitiques (généralement à biotite) qui sont pré ou syncinématiques, environ 1300 m.a.
GROUPE IIa	Granites alcalins* non gneissiques (généralement à muscovite et biotite) qui sont tardi ou postcinématiques, environ 1200 m.a.
GROUPE IIb	Granites hyperalcalins* à muscovite accompagnée parfois de biotite très subordonnée qui sont postcinématiques. Dans ce groupe, sont inclus les dykes de pegmatites et d'aplites ainsi que les veines de quartz.

* Les termes "alcalins" et "hyperalcalins" utilisés par les auteurs précités ne semblent pas appropriés, parce qu'ils ne sont pas de concert avec les résultats des analyses chimiques et pétrographiques de cette étude qui révèlent plutôt le caractère hyperalumineux de ces roches.

Cependant, cette dernière corrélation n'est pas exclusive. En effet, selon Sanschagrin (communication personnelle), des minéralisations d'étain et tungstène peuvent être rattachées à des roches volcaniques acides.

Deux raisons principales viennent renforcer cette dernière hypothèse. D'une part, au Rwanda, certains gisements de tungstène sont localisés, soit au toit, soit au mur d'un niveau d'une quartzite, dite de Nduba (Ziserman et al., 1983). Cette quartzite, suivie par Sanschagrin à partir de la rivière Base vers le nord sur la route Kigali-Ruhengeri, change graduellement de faciès. En outre, la présence de quartz bleu dans cette quartzite incite l'auteur à penser qu'il s'agirait plutôt d'une roche volcanique felsique de faciès variant de proximal à distal que d'une roche sédimentaire.

D'autre part, des volcanites acides ont été reconnues aux abords de la mine de Bashyamba au Mont Kigali (Schoonderbeeck, communication personnelle) et pourraient avoir une relation avec la minéralisation.

2.2 Relations socle-couverture

2.2.1 Introduction

Malgré l'opinion de certains auteurs tels que Slatkine (1968) qui notait qu'aucune discordance entre les système Bu-

rundien et anté-burundien n'apparaissait nettement sur le terrain, et bien que dans la région du nord-ouest du Rwanda, les relations socle-couverture furent partiellement oblitérées par les déformations, le métamorphisme et les épisodes intrusifs qui ont accompagné l'orogénie burundienne, des relations socle-couverture sont conservées à plusieurs endroits sur le terrain.

2.2.2 Région de Cyimbili

Lors de nos travaux (août 1983) dans la région de Cyimbili, près du lac Kivu et dans la forêt de Gishwati, des évidences de terrain nous ont montré une discordance angulaire entre les sédiments burundiens représentés par un conglomérat de base de la séquence burundienne et le socle anté-burundien représenté par un gneiss granitique ocellé dans les rivières Biruyi et Nkora, tributaires du lac Kivu, ainsi que dans deux de leurs affluents (Nyabahanga et Lyamunanira); (figs. 6 a,b,c). En outre, des paragneiss migmatitiques apparaissent à Cyimbili et dans la forêt de Gishwati.

L'affleurement-clé se trouve dans la région de Cyimbili, tout près de la mission catholique du même nom (planche I, photo 1). Là, le conglomérat est constitué de galets arrondis de quartz de dimension variant entre 1 et 3 cm de diamètre, de feldspaths de dimension parfois pegmatitique mais souvent altérés, dans une matrice essentiellement argileuse. Sur l'affleu-

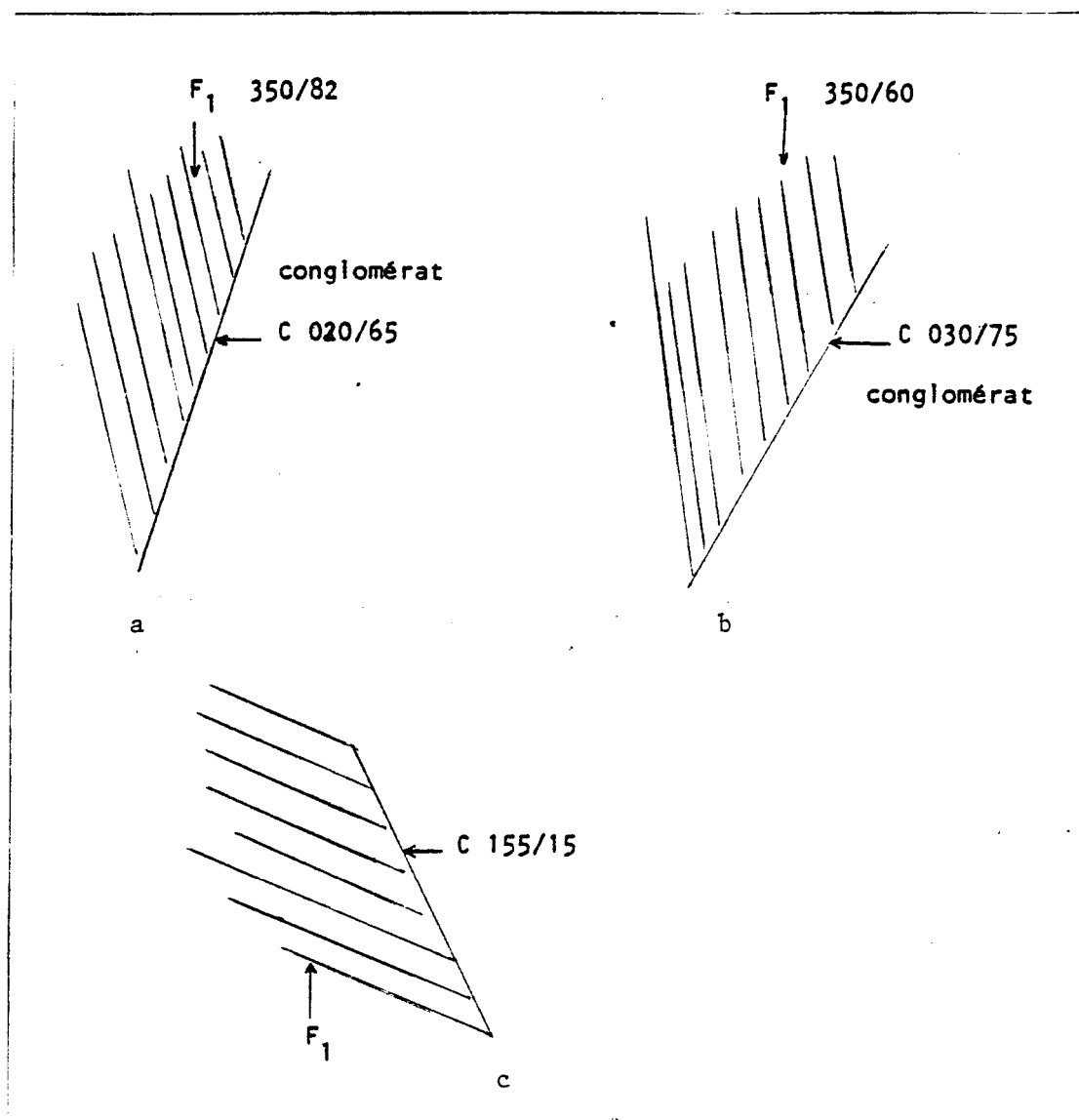


Fig. 6 Représentation schématique des discordances angulaires entre le conglomérat de base et les gneiss granitiques

a - Rivière Nkora-amont
c - Rivière Biruyi-moyen
F₁ - Foliation des gneiss

b - Rivière Biruyi-amont
C - Contact conglomérat-gneiss

rement, les proportions des galets sont de l'ordre de 5 à 10%, alors que les feldspaths très abondants atteignent facilement 70 à 80%, le ciment argileux ne constituant que 10% de l'affleurement.

Galets et feldspaths sont déformés et allongés, épousant souvent des formes lenticulaires, de grands axes orientés presque perpendiculairement à la foliation des gneiss granitiques sous-jacents.

Les gneiss de Cyimbili comportent des phénocristaux de feldspath moyennement déformés et allongés suivant le plan de foliation, caractérisée par la biotite, ce qui leur confère une texture dite "ophtalmique" ou "augen gneiss" de Mehnert (1968).

Le contact est bien défini. Il a une direction 155 degrés et un pendage de 15 degrés sud-ouest. La foliation des gneiss a une direction de 115 degrés et un pendage de 63 degrés vers le sud-ouest. La discordance assez considérable est de 40 degrés.

Les discordances dans les rivières Nkora et Biruyi-amont ont des angles respectifs de 30 et 40 degrés et les lithologies sont constituées des mêmes gneiss beaucoup plus déformés (faciès flaser) pour le socle, tandis que la couverture est re-

présentée par un microconglomérat qui repose en discordance sur les gneiss sous forme de plaques.

C'est le même genre de contact (microconglomérat plaqué) que l'on retrouve dans la région de Gishwati où la discordance est moins nette.

Dans la région de Cyimbili, la discordance a été suivie sur plus de vingt-cinq kilomètres et nous avons remarqué qu'elle se situait à des niveaux topographiques différents (tableau 4) et qu'elle adopte une forme irrégulière dans cette zone.

Cette irrégularité dans la forme s'explique par l'effet topographique anté-burundien et actuel et par la déformation subie lors de l'orogénèse et des événements tectoniques subséquents, reliés à l'émergence de la crête Zaïre-Nil.

2.2.3 Région de Mara

Au sud de la région de Cyimbili, en préfecture de Kibuye, se trouve la région de Mara. Là, les sédiments burundiens reposent en discordance angulaire sur une quartzite recristallisée qui appartient également au socle composé de gneiss granitiques ocellés (Sanschagrin, 1982, rapport sur la zone granito-gneissique de Mara, inédit). La description de ce

TABLEAU 4 NIVEAUX TOPOGRAPHIQUES DE LA DISCORDANCE ENTRE LE SOCLE ET SA COUVERTURE BURUNDIENNE

Rivières	Courbes de niveaux (mètres)
Biruyi amont	2100
Biruyi moyen	1890
Biruyi aval	1730
Nkora amont	1840
Nkora aval	1680
Rugamba	1780
Nyabahanga	1870
Lyamunanira	1880

quartzite sera envisagée plus loin.

2.2.4 Région du Mutara

L'étude effectuée par Sanschagrin et Mercier (1983) fait ressortir l'existence de deux domaines métamorphiques très différents l'un de l'autre.

Le premier est composé de roches métasédimentaires très peu métamorphisées (faciès schistes verts).

Le deuxième est un domaine gneissique localement migmatitique, début probable d'un processus de fusion partielle (anatexie). Le métamorphisme est donc plus poussé, puisque la formation de migmatites nécessite des conditions de pression et de température qui dépassent le point minimum de fusion des granites (Brown et Fyfe, 1970; Mehnert, 1968; White et Chappell, 1977; Winkler, 1976).

Dans leur étude, Sanschagrin et Mercier rapportent qu'il existe une divergence dans les directions structurales entre les foliations dans le massif gneissique du Mutara et les roches métasédimentaires burundiennes; ils n'apportent cependant pas de précision sur la nature de cette divergence (directions et pendages).

Bien qu'aucune discordance angulaire n'ait été observée, nous considérons comme très significatif le contraste métamorphique très brusque entre ces deux domaines.

Selon Sanschagrin et Mercier (1983), le coeur du massif du Mutara a été le lieu de processus migmatitiques et anatectiques poussés, qui en font le niveau structural le plus bas observé à date dans tout le pays. L'orogénèse burundienne serait caractérisée par un décollement entre la couverture cassante et son socle ductile.

2.2.5 Autres occurrences du socle anté-burundien

Région au sud de Butare

Gérards (1969), Gérards et Ledent (1970) ont signalé l'existence d'un socle anté-burundien dans les régions de Nyamirama et Rutare rwa Munanira (fig. 7).

Gérards (1973) mentionne aussi la région de Mugombwa (fig. 8) comme site possible d'un socle anté-burundien.

Tout récemment, (octobre 1983), lors d'une visite au Burundi, dans le cadre du colloque international sur la géologie de la ceinture kibarienne, nous avons observé des évidences de la présence d'un socle anté-burundien formé de gneiss migmatiti-

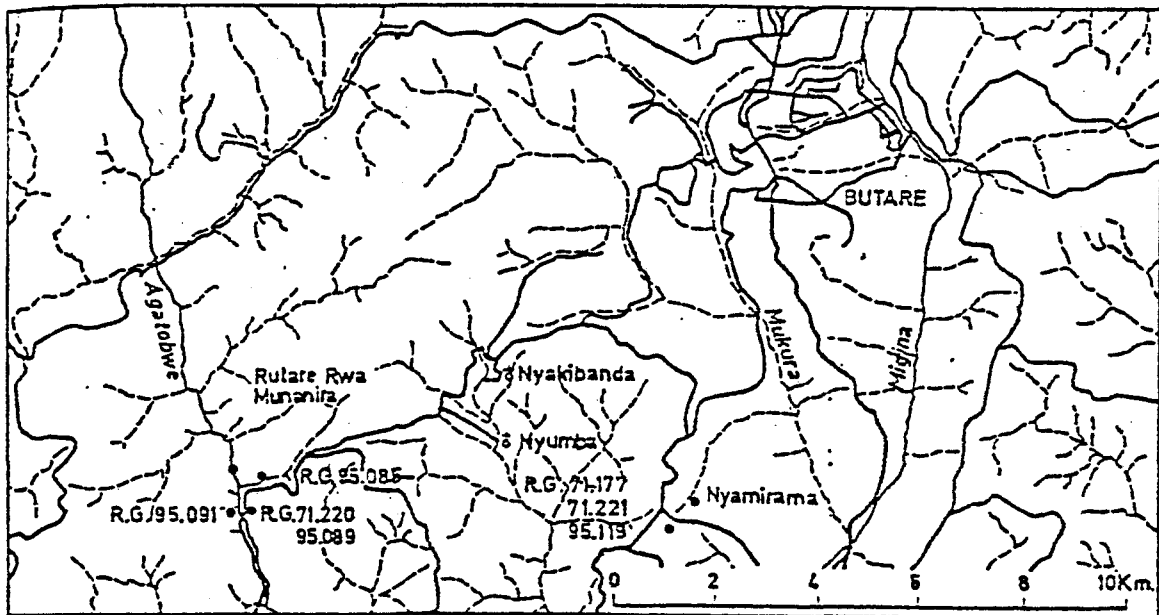


Fig. 7 Gneiss granitiques de Nyamirama et de Rutare rwa Munanira (d'après Gérards (1969))

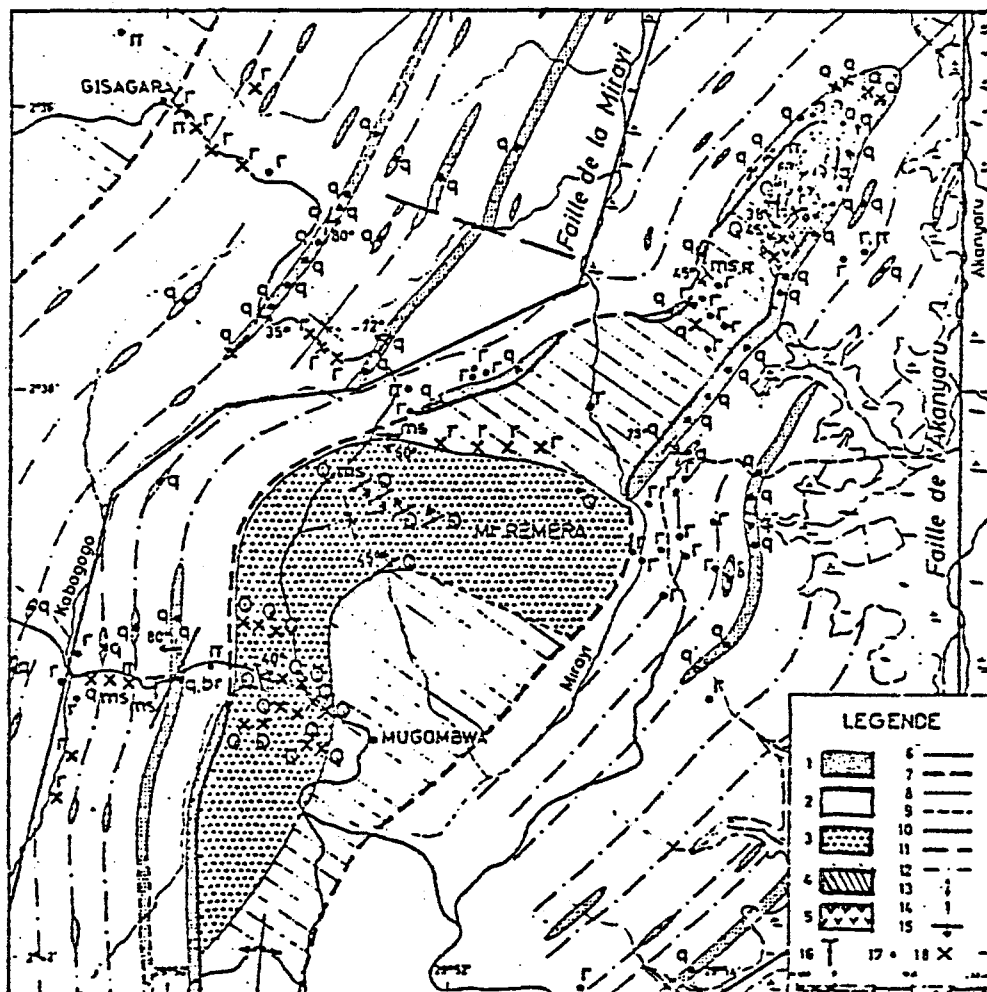


Fig. 8 Carte géologique de l'anticlinal de Mugombwa
 Légende: 1: quartzites burundiens; 2: métasédiments et granites burundiens, non distingués; 3: quartzites anté-burundiens; 4: formations anté-burundiennes et granites burundiens, non distingués; 5: dolérites burundiennes; 6: limite inférieure du Burundien; 7: idem, probable; 8: limites lithologiques; 9: idem, probables; 10: failles; 11: idem, probables; 12: lignes structurales, d'après les photographies aériennes; 13: axes anticlinaux; 14: axes synclinaux; 15: directions et pendages; 16: couches verticales; 17: affleurements; 18: débris et produits d'altération; q: quartzites burundiens; br: brèches de faille; o: quartzites ruziziens; ms: micaschistes; r: granites; π: pegmatites; δ dolérites (d'après Gérards, 1973).

ques dans la région de Kayanza située à 1 km plein sud de la frontière Akanyanu-haut (Butare).

Dans cette région, nous avons observé le phénomène de remobilisation du socle (deux phases de migmatisation caractérisée par deux générations de mobilisation qui se coupent).

Les géologues, qui travaillent actuellement au Burundi, sont d'avis que la première phase de déformation kibarienne (équivalent du Burundien) aurait été une phase de déformation tangentielle qui a affecté en même temps le socle et la couverture.

2.3 Composition du socle anté-burundien

Introduction

Le fait que l'on ait décelé une discordance angulaire entre les sédiments burundiens et des roches plus anciennes prouvent que celles-ci appartiennent effectivement à un socle pré-burundien.

Ces roches, fortement métamorphiques, affleurent au nord-ouest du Rwanda (régions de Cyimbili, Mara, Gishwati), au sud (région du Butare) et au nord-est du pays (région du Mutara) formant le socle sur lequel se sont déposées des roches du Burundien.

Les travaux en cours dans la région du nord-ouest montrent que ce socle est constitué d'orthogneiss, de gneiss quartzo-feldspathiques (paragneiss) localement migmatitiques et de granitoïdes avec des lambeaux de quartzites recristallisés ainsi que des xénolithes d'amphibolites.

Dans la partie qui suit, nous allons présenter une étude pétrographique détaillée des granitoïdes provenant des diverses zones du socle.

2.3.1 Les gneiss mixtes

2.3.1.1 Les gneiss granitiques ocellés

Cette roche affleure dans les régions de Cyimbili, Gishwati, Mutara et Mara. Elle est constituée essentiellement de quartz, des feldspaths alcalins et calco-sodiques et des micas.

Sous le microscope, la composition minéralogique est presque identique, mais dans des proportions très inégales, reflète de l'évolution de la roche dans les régions concernées.

Dans l'ensemble, la minéralogie principale comporte du quartz, des feldspaths alcalins (orthose et microcline), des plagioclases de calcicité variant de An_{16} à An_{40} , de la biotite et de la muscovite (parfois absente). Les minéraux secondaires

comprennent le zircon, l'apatite, le sphène (soit sous sa forme losangique classique, soit sous forme de leucoxène résultant de l'altération du rutile parfois en cristaux reliques aciculaires), la chlorite résultant de l'altération de la biotite, parfois la tourmaline, et il n'est pas rare de rencontrer du grenat (almandin) surtout dans la région de Rutsiró (A 120).

Les minéraux opaques sont constitués d'oxydes de fer, probablement de l'ilménite, magnétite ou hématite.

C'est une roche à texture bien foliée.

Les porphyroclastes de microcline sont idiomorphes à hypidiomorphes, généralement orientés suivant le plan de foliation, et sont souvent perthitiques.

Le quartz se présente pour la plupart du temps sous forme d'aggrégats polycristallins allongés en rubans de quartz. Souvent on observe un développement de myrmékites ainsi qu'une association graphique quartz-microcline.

Les micas en lamelles hypidiomorphes déterminent une schistosité très nette autour des porphyroclastes et présentent plusieurs générations distinctes les unes des autres.

L'orthose est en très petite quantité, à grain hypidiomorphe subéquigranulaire.

Les minéraux accessoires sont généralement sous forme d'inclusions dans les micas, le quartz et les feldspaths. Cependant, la tourmaline et le leucoxène sont présents sous forme de plages xénomorphes intergranulaires.

Le grenat idiomorphe, fortement fracturé avec inclusions surtout de quartz, est présent principalement dans les gneiss granitiques ocellés de Cyimbili (A 109 et 124).

La tourmaline est présente dans plusieurs localités, à Cyimbili (A 87, A 124 et A 479) et au Mutara (A 1207 et A 1210).

La déformation est très hétérogène dans les gneiss granitiques même au niveau d'un seul affleurement. Elle varie de faciès ocellé relativement peu déformé, à une déformation très prononcée allant jusqu'à la cataclase.

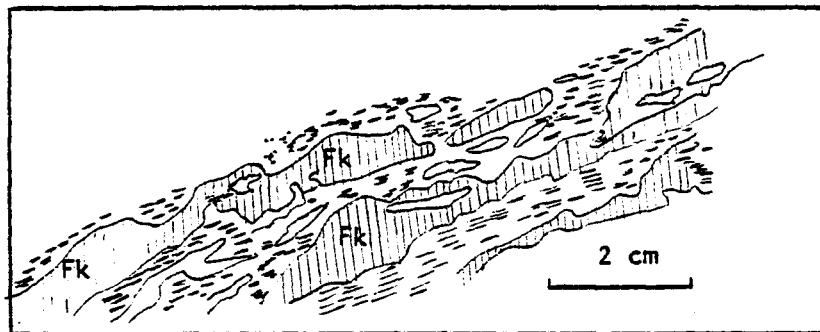
Sur la base de cette déformation hétérogène, nous avons pu distinguer quatre faciès.

a) Le faciès ocellé (ophtalmique ou augen gneiss) (Planche II, photos 2-3 et 4) et (fig. 9 a).

b) Le faciès flaser (Planche II, photos 5 et 6) et (fig. 9 b).



9 a



9 b

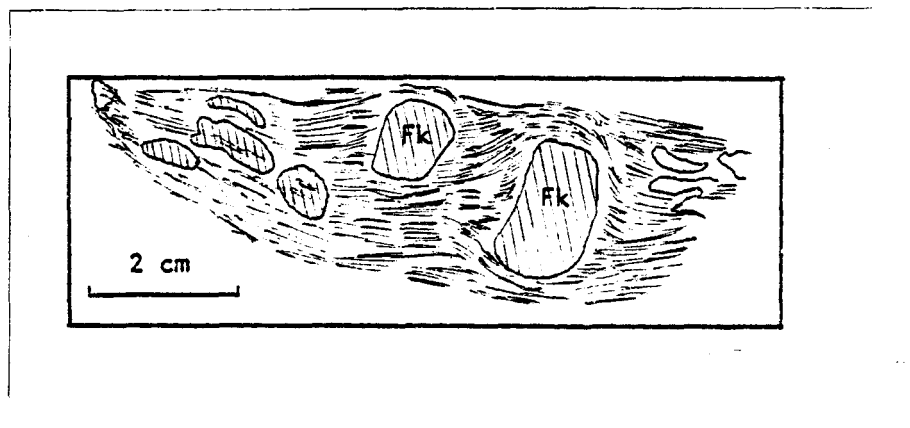


Fig. 9 Croquis représentant la déformation hétérogène subie par les gneiss granitiques du Rwanda

- a) Texture ophtalmique ou "augen gneiss" (éch. A 1205)
- b) Texture "flaser" (éch. A 162)
- c) Texture protomylonitique (éch. A 479)

N.B. F_k : feldspath potassique

c) Le faciès protomylonitique (Planche II, photos 7 et 8) et (fig. 9 c).

Ce dernier est un faciès particulier. Il montre des phénocristaux de feldspaths dont certains sont allongés et d'autres bien arrondis, lesquels montrent des rotations. Sous le microscope, la rotation des porphyres s'observe facilement par des franges de pression (pressure shadows) asymétriques. Ce faciès a été interprété comme résultant d'un cisaillement en milieu ductile.

2.3.1.2 Les gneiss quartzo-feldspathiques (paragneiss)

Ce gneiss se présente sous deux faciès:

- a) le faciès à microcline
- b) le faciès à orthose.

Le faciès à microcline affleure dans la région de Cyimbili (A 549), il est constitué de quartz, microcline, biotite, muscovite, plagioclases comme minéraux principaux, de l'apatite, du zircon, du sphène, de la tourmaline, de la chlorite et des minéraux opaques comme accessoires.

Le quartz forme des rubans lenticulaires très allongés.

La biotite en lamelles xénomorphes très corrodées se présente en amas, souvent en gerbe ou rosettes orientées le long du quartz lenticulaire et présente plusieurs générations, le tout recoupé par une génération tardive de muscovite. Plusieurs inclusions, notamment d'apatite, de zircon et de sphène apparaissent dans les micas.

Les plagioclases maclés albite et péricline sont très corrodés et altérés et présentent des couronnes de réaction nébulitiques à leur contact avec les feldspaths alcalins (microcline) qui, eux, sont hypidiomorphes à idiomorphes moyens et qui présentent des perthites de remplacement.

La tourmaline est en plages allotriomorphes ou en grains hypidiomorphes intergranulaires.

La chlorite est le résultat d'altération secondaire de la biotite et est assez abondante.

Les minéraux opaques sont souvent concentrés sous forme de longues veinules le long des fractures du quartz ou entre le quartz et les feldspaths sous forme de petites plages xénomorphes.

Le faciès à orthose se rencontre également dans la région de Cyimbili (A 469), il se distingue du premier par sa

texture gneissique très prononcée, et par sa composition minéralogique.

Il est constitué en grande partie de plagioclases à macles polysynthétiques et de Carlsbad, de quartz en ruban, recristallisé et très étiré, entouré par des micas dont on observe une orientation préférentielle très marquée.

Les micas sont plissés et forment des kinks. Ils renferment des inclusions d'apatite, de zircon et de sphène.

Le microcline et la tourmaline sont totalement absents. Rubans de quartz et lépidoblastes des micas sont en alternance (texture rubannée). Cette roche est beaucoup plus déformée que la précédente.

2.3.1.3 Les migmatites

Les migmatites affleurent dans le nord-ouest du Rwanda dans deux localités, à savoir Cyimbili et Gishwati. L'affleurement le plus intéressant se trouve dans la région de Cyimbili (localité 16).

Il présente une enclave de gneiss migmatitique dans un leucogranite. Le gneiss montre des ségrégations felsiques (mobilisat), qui forment des poches dans la roche et qui,

parfois s'étirent et forment des niveaux qui recoupent la foliation originale de la roche (Planche II, photo 1 b).

Il pourrait exister dans cette roche deux générations de mobilisats qui se recoupent. Selon l'avis de Woussen (1983, communication personnelle), ce gneiss migmatitique montrerait deux épisodes de migmatisation. Ceci nous amène à l'hypothèse que le socle dans ce coin du pays aurait subi non seulement une orogénie Ruzizienne, mais également anté-Ruzizienne d'où le bien-fondé du terme anté-Burundien, qui ne se limite pas seulement au Protérozoïque inférieur, mais s'étend même jusqu'à l'Archéen. Au nord-est, dans la région du Mutara, Sanschagrin et Mercier (1983) rapportent que les évidences de deux épisodes de migmatisation des gneiss sont concluantes.

Dans ce gneiss, apparaissent des enclaves d'amphibolite, ainsi qu'un amalgame de roches d'origine inconnue (Planche II, photo 1 a).

Il s'agit d'une alternance de niveaux mafiques (amphibolite probablement biotitisée) avec des niveaux felsiques de composition granitique d'épaisseur décimétrique.

Dans cette même région, la migmatite a été suivie dans la rivière Cyimbili sur plus de 400 m. Dans la même rivière, un bloc d'amphibolite montre des veines irrégulières de ma-

tériel felsique, ce qui pourrait indiquer un début de migmatisation.

Le même faciès a été observé dans la région de Kayove, mais les veines felsiques et mafiques presque régulières sont beaucoup plus épaisses (environ 50 cm). Cette régularité nous fait penser à une injection lit par lit.

A Gishwati, les lits felsiques et mafiques sont très variables en forme et en épaisseur. Les textures mégascopiques rencontrées dans toutes les régions sont des textures plissées, de schlierens, ophtalmiques, pegmatitiques, et rarement des textures agmatitiques (Mehnert, 1968) (Planche II, photo 1 c).

Les lits felsiques sont composés de matériel essentiellement granitique: quartz, feldspaths dans les proportions respectivement de 20 à 25% et de 50%, tandis que les lits mafiques principalement constitués de biotite ou d'amphibole déformée et/ou métamorphisée comptent pour environ 15 à 20% de toute la roche.

2.3.1.4 Analyse modale des gneiss granitiques

Du diagramme QAP de Streickesen (1974) (tableau 5), il ressort que les gneiss granitiques de la région de Cyimbili

TABLEAU 5: GNEISS: ANALYSE MODALE (%)

MINERAUX %	NUMEROS D'ECHANTILLONS								
	20	87	107	109	120	124A	124B	139	479
Quartz	40.5	33.0	43.0	32.5	40.8	31.0	42.8	42.0	42.0
Plagioclase	8.68	20.0	18.0	18.0	15.0	9.0	16.4	17.6	4.8
Feldspath-K	33.0	36.9	35.0	41.5	24.0	50.0	19.0	29.1	38.0
Biotite	5.0	5.9	2.24	5.6	12.9	4.8	14.0	9.3	7.6
Muscovite	9.8	--	--	--	--	0.7	--	1.5	1.8
Leucoxène	0.89	1.4	0.16	0.71	--	0.5	0.4	0.1	0.1
Apatite	0.53	0.4	0.3	0.17	0.7	--	1.4	0.1	0.1
Zircon	0.35	0.5	0.3	0.5	0.7	0.7	1.4	0.3	0.1
Grenat	--	--	--	0.85	4.0	--	--	--	--
Tourmaline	--	1.2	--	--	--	2.2	--	--	1.5
Opagues	1.25	0.7	0.6	0.17	1.9	2.5	2.4	--	--
Chlorite	--	--	0.4	--	--	0.8	--	--	--
Q	49.28	47.83	44.79	35.32	51.12	34.44	54.73	47.35	49.52
A	40.16	29.93	36.46	45.12	30.09	55.56	24.30	32.80	44.82
P	10.56	22.24	18.75	19.56	18.79	10	20.97	19.84	5.66
MINERAUX %	NUMEROS D'ECHANTILLONS								
	1006	1202	1205	1207A	1207B	1210	4323	4325	
Quartz	41.1	43.0	39.8	38.7	36.8	33.4	30.0	45.33	
Plagioclase	24.3	44.6	24.6	21.6	22.0	31.9	41.5	24.13	
Feldspath-K	19.2	--	20.0	26.9	23.0	18.6	11.2	8.4	
Biotite	12.4	10.0	12.4	11.6	15.5	12.4	14.3	20.47	
Muscovite	--	0.8	--	--	--	--	--	--	
Leucoxène	0.4	0.4	0.6	0.6	1.7	0.17	--	--	
Apatite	0.82	0.6	0.6	--	0.2	0.35	*1.78	*0.94	
Zircon	0.9	0.6	0.2	0.3	0.2	0.53	--	--	
Grenat	--	--	--	--	--	--	--	--	
Tourmaline	0.88	--	--	0.3	--	0.7	--	--	
Opagues	--	--	--	--	0.6	1.95	1.22	0.73	
Chlorite	--	--	--	--	--	--	--	--	
Q	48.58	49	47.15	44.38	44.98	39.8	36.27	58.21	
A	22.7	-	23.70	30.85	28.13	38.0	50.18	30.99	
P	28.72	51	29.14	24.77	26.89	22.2	13.55	10.80	

*: valeur totale Zr - apatite - leucoxène

sont complètement différents des gneiss de Mara et du Mutara qui, eux, sont très similaires.

Les gneiss de Cyimbili sont très pauvres en feldspaths calco-sodiques mais riches en feldspaths alcalins; le quartz varie entre 34 et 55%, les plagioclases 6 à 21%, les feldspaths alcalins 24 à 56%. Au Mutara la composition minéralogique est: quartz 44 à 49%, les plagioclases 25 à 51%, feldspaths alcalins 0 à 31% tandis que dans la région de Mara, le quartz varie de 30 à 45%, les plagioclases 24 à 42% et les feldspaths alcalins varient entre 28 et 31%. Les groupes de Mara et Mutara sont riches en feldspaths calco-sodiques et pauvres en feldspaths alcalins contrairement au groupe Cyimbili.

2.3.1.5 Les roches anté-burundiennes d'affinité gabbroïque

Ce sont les amphibolites I et II (tableau 1). Les amphibolites I, connues dans la région de Cyimbili font partie des gneiss mixtes du socle. Elles sont fortement métamorphisées, possiblement migmatisées et forment des enclaves dans les granites indifférenciés.

Les amphibolites II sont connues dans la région de Mara, elles sont noires, très dures, généralement rouillées. Elles sont porphyriques et parfois magnétiques. Elles forment des enclaves dans les gneiss granitiques oeillés.

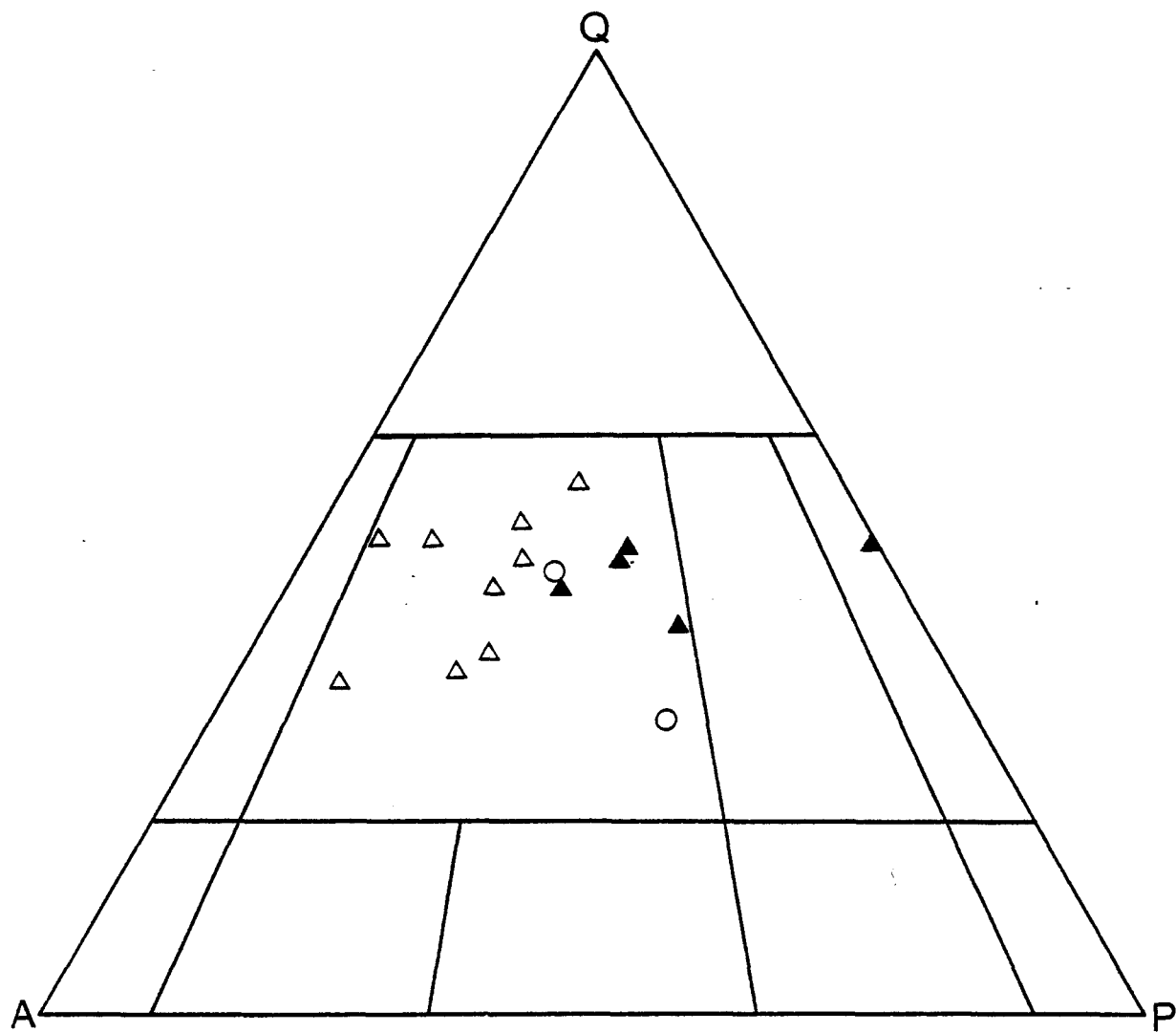


Figure 10 Diagramme QAP - Analyse modale des
gneiss granitiques (d'après Streckeisen, 1974)
Cymbili Δ Mutara \blacktriangle Mara \circ

2.3.2 Les quartzites recristallisées

Elles ont été rencontrées dans la région de Mara (Sanschagrin et al., 1983 a). Ces quartzites varient largement de faciès. En général, il s'agit d'une roche très siliceuse, pyritisée et contenant des oxydes de fer.

De direction est-ouest, la quartzite marque la frontière entre le domaine granito-gneissique de Mara au nord et celui des roches métasédimentaires (micaschistes à staurotide et grenat) localisé au sud.

Le quartzite est moins recristallisé au sud qu'au nord et montre localement des stratifications. Il existe une discordance angulaire entre cette quartzite et les métasédiments burundiens (Sanschagrin et al., 1983 a).

La présence de ce quartzite dans le socle pré-burundien dénoterait possiblement une autre discordance entre ce socle et un socle plus ancien qui remonte très probablement à l'Archéen.

2.4 Les roches métasédimentaires burundiennes

2.4.1 Introduction

L'ensemble des roches supracrustales du burundien est

simple et monotone; c'est une alternance de niveaux pélitiques avec des niveaux quartzitiques, gréseux et conglomératiques avec intercalations de niveaux de schistes graphiteux d'épaisseur variable (Cahen et Lepersonne, 1967; Gérards et Lepersonne 1961; Sanschagrin, 1983).

La partie est du pays présente le sommet de la séquence qui est peu ou pas métamorphisée, alors que la zone occidentale montre la base de la séquence qui est plus métamorphisée (Gérards et Ledent, 1970; Sanschagrin, 1983).

Dans la couverture burundienne, nous n'avons pas fait d'étude systématique. Nous nous sommes intéressés uniquement à la localisation des isogrades métamorphiques.

2.4.2 Région de Cyimbili

La coupe Rutsiro-Gishwati effectuée rapidement jusqu'à la limite de la forêt naturelle de Gishwati nous a permis d'identifier une structure antiforme dans laquelle apparaît une épaisse séquence de roches pélitiques métamorphisées en schistes à grenat et quelque fois à staurotide et grenat.

Plusieurs niveaux de schistes graphiteux et de schistes très riches en tourmaline (jusqu'à 80% de la roche), mais sans aucun minéral de métamorphisme, s'intercalent régulièrement

entre les schistes à staurotide et grenat et les schistes à grenat.

Cette alternance des niveaux graphiteux avec des séries pélitiques relativement métamorphisés ne permet pas l'observation d'un métamorphisme prograde.

Par ailleurs, les changements de direction et pendages observés aux abords de ces schistes graphiteux nous portent à croire qu'il existe dans cette région une zone de chevauchement dans laquelle les schistes graphiteux auraient servi comme lubrifiants.

Des séries arénacées constituent le reste des sédiments burundiens sous forme de conglomérats, de grès et de quartzite.

2.5 Les roches burundiennes d'affinité granitique

2.5.1 Introduction

"Les cartographies antérieures ne se sont jamais préoccupées de distinguer les diverses roches granitoïdes et, jusqu'à tout récemment, regroupaient sous l'étiquette "granite", des roches aussi différentes que des micaschistes, des orthogneiss, des paragneiss, des migmatites et de véritables granites" (Sanschagrin et al. 1983 a). Les roches d'affinité grani-

tique d'âge burundien étaient confondues avec celles de même famille appartenant au socle anté-burundien. Nous avons essayé au cours de notre travail de combler cette lacune.

Dans les régions étudiées, nous avons pu identifier des types lithologiques différents que nous avons classés en 5 groupes magmato-tectoniques distincts sur une base d'analyses chimiques et pétrographiques (carte géologique de la région de Cyimbili, en pochette). Ces groupes sont:

- leucogranite très déformé G_1
- granite à biotite G_2
- granite à 2 micas G_3
- granite hololeucocrate G_4
- pegmatites et aplites.

Les deux premiers groupes sont pré ou syn-cinématiques et sont d'âge approximatif variant entre 1300 et 1650 m.a., tandis que les groupes 3 et 4 beaucoup moins déformés, sont tardi à post-cinématiques. Leur âge varierait entre 550 et 950 millions d'années (Gérards et Ledent, 1970; Baudin, 1979).

2.5.2 Leucogranite très déformé

Composé essentiellement de quartz, microcline, plagioclases et muscovite comme minéraux principaux, de leucoxène,

apatite et zircon comme minéraux accessoires. ce granite affleure dans la région de Cyimbili (A 78) (Planche III. photo 1).

Il se caractérise par l'absence totale de biotite et d'orthose; il diffère complètement des granites leucocrates de la région par l'abondance inhabituelle de leucoxène et par son degré de déformation très avancé. Il est recristallisé.

Le quartz est en aggrégats polycristallins presque automorphes, souvent lenticulaires et très étirés (Planche III, photo 2). Il montre une extinction roulante et présente souvent des macles mécaniques.

Le microcline hypidiomorphe et subisogranulaire, souvent perthitique (perthites en fuseaux), est parfois corrodé et altéré.

Les plagioclases peu abondants par rapport au microcline sont maclés albite et péricline et ont une calcicité An_{50} . * Ils sont également corrodés et altérés (damouritisation).

Les micas sont repris par la muscovite en gros

*La méthode d'identification optique des plagioclases utilisée est principalement celle de Michel-Lévy (La précision est de $\pm An_{10}$).

cristaux à contours corrodés ou en lamelles fines. Ils sont légèrement plissés et ont une orientation préférentielle bien marquée.

Le leucoxène provenant essentiellement de l'altération du rutile qui se présente parfois sous forme de cristaux aciculaires est souvent sous forme de plages xénomorphes intergranulaires et en proportions variant de 5 à 10% de la roche.

Le zircon et l'apatite constituent des minéraux accessoires. Ils sont sous forme d'inclusions hélicitiques dans les feldspaths. En termes d'âge, ce granite peut être pré ou syn-cinématiques.

2.5.3 Granite à biotite

De couleur beige, très friable, ce granite se rencontre dans le complexe granitique de la région de Cyimbili (A 123, localité Rugamba).

Il accuse une schistosité nettement marquée par la biotite. Mégascopiquement, la roche est d'une granulométrie millimétrique et le pourcentage des minéraux constitutants varie d'affleurement en affleurement (Planche III, photo 3). Un faciès particulier montre des agrégats gloméroporphyriques de biotite dans le plan de foliation.

Sous le microscope, ce granite est constitué de quartz, de plagioclases, du microcline, de l'orthose, de la biotite et de la muscovite comme minéraux principaux, du leucoxène, du zircon, de l'apatite et de la chlorite comme minéraux accessoires.

Le quartz en aggrégats polycristallins hypidiomorphes allongés est recristallisé.

La biotite en lamelles de taille moyenne (1-3 mm) est fortement chloritisée et se range préférentiellement le long des cristaux allongés de quartz dont elle moule les contours, conférant ainsi une foliation à la roche (Planche III, photo 4).

Le leucoxène en petites plages allotriomorphes est interstitiel alors que le zircon et l'apatite se trouvent toujours sous forme d'inclusions.

Les plagioclases en cristaux hypidiomorphes moyens à grossiers présentent des macles polysynthétiques.

Le microcline est également hypidiomorphe à grain moyen.

Ce granite montre deux générations différentes de muscovite et une génération de muscovite tardive qui recoupe la biotite primaire. La texture de la roche est xénomorphe

granulaire.

Ce granite se caractérise par son mode de gisement subconcordant à la foliation régionale, et peut être considéré comme syn-cinématique ou tardi-cinématique.

2.5.4 Granite à deux micas

C'est une roche de couleur blanc-crème, moyennement grenue et équi-granulaire. Le contenu en quartz et biotite est d'environ 10% et celui de muscovite est d'environ 3%. La biotite et la muscovite se présentent sous forme de lamelles millimétriques. La roche est légèrement à fortement foliée. Nous avons distingué quatre faciès microscopiques dans ce genre de granite:

Faciès 1 De texture générale hétérogranulaire xénomorphe, ce granite affleure dans la région de Cyimbili (A 81) et se compose principalement de quartz, de feldspaths alcalins (microcline et orthose), de plagioclases, des deux micas avec prédominance de la muscovite sur la biotite (Planche III, photo 5). Les minéraux accessoires sont l'apatite, le zircon et le sphène. La roche présente des phénocristaux de quartz, de microcline et de muscovite dans une matrice composée de biotite et des minéraux précités.

Le quartz xénomorphe se présente en gros cristaux avec inclusions d'apatite ou en agrégats polycristallins à contours subanguleux. La recristallisation fréquente du quartz produit une texture en mosaïque.

La muscovite en phénocristaux hypidiomorphes présente des contours corrodés et elle n'a aucune orientation préférentielle.

L'orthose hypidiomorphe arrondi à granulométrie fine à moyenne (inférieure à 3 mm), comporte des inclusions d'apatite.

Le microcline hypidiomorphe, souvent perthitique, est à grain moyen.

La biotite en rosettes ou fines lamelles présente parfois une foliation mais à peine perceptible.

Les minéraux accessoires sont en inclusions. Le zircon et l'apatite sont en inclusions hélicitiques dans le quartz, les feldspaths et la biotite, tandis que le sphène se présente sous sa forme classique losangique ou sous forme de leucoxène en petites plages xénomorphes intergranulaires.

Les plagioclases en cristaux hypidiomorphes à contours très corrodés, sont maclés albite et péricline et sont très al-

térés (damouritisation).

Bien que broyé et malgré le début de recristallisation apparente, ce granite est peu déformé. Cette faible déformation très subtile, marquée par des flexures dans les micas et par la foliation mineure caractérisée par la biotite, résulterait fort probablement des tout derniers spasmes de l'orogénèse burundienne ou résulterait des mécanismes de leur mise en place.

En termes d'âge, ce granite pourrait être considéré comme tardi-cinématique.

Faciès 2. Il s'agit d'un granite folié à microcline et orthose. La composition minéralogique comprend: le quartz, les feldspaths alcalins (orthose et microcline), des plagioclases et les deux micas. Les minéraux accessoires sont le zircon et l'apatite.

Cette roche présente une foliation très nette, qui la distingue du groupe précédent. Elle est fortement déformée et est recristallisée. Ce type de granite se retrouve dans la région de Rutiro (A 306 et 307) et de Cyimbili (A 221).

Le quartz, en aggrégats polycristallins hypidiomorphes allongés (1 cm et plus) ou en gros cristaux xénomorphes, est

souvent fracturé et présente une extinction roulante ainsi que des macles mécaniques.

Les plagioclases hypidiomorphes à xénomorphes sont fortement broyés et présentent des macles polysynthétiques. Ils sont fortement altérés (damouritisation). Le microcline également déformé montre de gros cristaux hypidiomorphes à allotriomorphes et présente des contours corrodés.

La muscovite en lamelles hypidiomorphes à bordure déchiquetée est fortement plissée et des kinks sont aisément observés dans la région de Rutsiro (Planche III, photo 6). Elle change de comportement dans la région de Cyimbili où elle se présente plutôt sous forme d'amas de feuillets submillimétriques, les gros cristaux ayant été fortement rongés, avec de nombreuses inclusions pour la plupart de quartz et de minéraux opaques.

La biotite en lamelles de dimension moyenne (0.5 à 3 mm) développe une foliation très nette et moule les contours des gros cristaux de quartz lenticulaire parsemés d'inclusions de zircon et d'apatite.

Dans la région de Rutsiro, les micas sont de diverses générations. Dans un même échantillon (A 307), une génération de biotite primaire est recoupée par de la muscovite tardive.

Ensuite, deux générations absolument distinctes de biotite.

Il est intéressant de noter que ce granite présente beaucoup d'affinités avec le granite schistosé à biotite précédemment observé, eu égard aux générations de micas. Le granite à biotite montre deux générations de biotite, alors que le granite folié à deux micas, montre deux générations de biotite et une génération tardive de muscovite recoupant la biotite. Les micas développent une foliation très remarquable.

La roche accuse une déformation relativement accentuée. Elle a été broyée et recristallisée. La texture est clastique en mortier, avec des cristaux de quartz et des feldspaths baignant dans une matrice granoblastique. Cette texture suggère qu'après la mise en place du granite, lors de l'orogénie burundienne, la roche aurait subi une déformation intense, broyage (cataclase de haute température de Bard, 1980), suivie d'une recristallisation. Au point de vue âge, ce granite serait probablement pré ou syn-cinématique.

Faciès 3 Ce faciès comprend des granites à deux micas, foliés, mais seulement à orthose.

Ce type de granite affleure dans la région de Cyimbili (402). Il est composé de quartz, plagioclase, biotite, muscovite et d'orthose. Contrairement aux autres faciès, le

microcline est absent dans ce granite.

Les minéraux accessoires sont l'apatite, le zircon et la chlorite.

Le quartz, aggrégats hypidiomorphes allongés ou en gros cristaux allotriomorphes est souvent fracturé.

Les plagioclases, gros cristaux hypidiomorphes à xénomorphes sont damouritisés et corrodés à leurs bordures. Très abondants dans ce granite par rapport aux faciès antérieurs, ils présentent des macles polysynthétiques et des macles de péricline. Ils sont plus acides que les feldspaths calco-sodiques précédemment observés, avec une calcicité de An_{25} .*

L'orthose se présente sous forme de cristaux moyens à xénomorphes à contours anguleux ou hypidiomorphes subarrondis.

La biotite, en lamelles, se retrouve quelquefois sous forme de rosettes ou d'amas de fines lamelles hypidiomorphes avec des inclusions fréquentes d'apatite et de zircon. Elle est parfois chloritisée.

La muscovite en fines lamelles constitue souvent des

*La méthode de Michel-Lévy a été utilisée pour l'identification des plagioclases.

aggrégats glomérocristallins.

Ce granite est nettement folié et présente une texture granoblastique. En termes d'âge, il serait syn-cinématique voire tardi-cinématique.

Faciès 4 Ce type de granite se rencontre dans la région de Cyimbili (localité Rugamba).

Très similaire au faciès précédent, il en diffère néanmoins par sa composition minéralogique. Celle-ci est dominée par un développement remarquable du microcline aux dépens de l'orthose et des plagioclases qui ne représentent qu'une fraction insignifiante de la roche. Ce granite est donc essentiellement à microcline.

A certains endroits (dans la section mince), des myrmékites se développent dans les feldspaths. Le reste de la minéralogie ainsi que la texture sont identiques au faciès à orthose.

2.5.5 Granite_hololeucocrate

Affleurant dans les régions de Cyimbili (A 605 et A 153), de Gishwati (A 850), du Mutara (A 1208 et A 1211) et de Mara (A 4200 et A 4308), ce granite à texture xénomorphe

hétérogranulaire est principalement à muscovite et quartz (Planche III, photo 7).

Il est constitué de microcline et d'orthose, de muscovite, de quartz et de plagioclases comme minéraux principaux, de leucoxène, d'apatite et de chlorite comme minéraux accessoires ainsi que de minéraux opaques probablement des oxydes de fer.

La muscovite, en phénocristaux hypidiomorphes à xénomorphes, se présente sous forme de lamelles à bordures déchiquetées, sans aucune orientation préférentielle. Elle est plissée et développe des kinks (Planche III, photo 8). Le microcline hypidiomorphe est fortement broyé et souvent perthitique (perthites en fuseaux).

Le quartz en fragments de dimensions variables, est xénomorphe. Il montre une extinction roulante ainsi qu'un début de recristallisation (texture en mosaïque) très localisé.

Les plagioclases présentent des macles polysynthétiques, des macles, de la péricline, ainsi que des macles de Carlsbad. Leur calcicité est An_{32} . * Ils sont hypidiomorphes.

*La méthode d'identification des plagioclases utilisée est celle de Michel-Lévy et celle de la double macle.

Le leucoxène, produit de l'altération du rutile, est en petites plages allotriomorphes et constitue l'élément de remplissage des fractures notamment dans le quartz, mais il se trouve également en inclusion dans les micas. Il est plus développé dans certains faciès, tels que dans les granites hololeucocrates de Cyimbili (A 605).

L'apatite s'y développe également en cristaux moyens automorphes arrondis.

L'orthose hypidiomorphe, de granulométrie fine à moyenne, présente un aspect nébuleux à contours lisses, souvent moulés par les micas. Il est sans déformation apparente et comporte des inclusions de minéraux opaques.

La biotite est presque inexistante et atteint localement à peine 1 à 2% de la roche (A 605).

Dans la région de Gishwati (A 850), la muscovite est beaucoup plus grossière et forme de gros cristaux ou lamelles hypidiomorphes, alors qu'elle est fortement réduite en quantité et en dimension dans les deux autres régions.

Ce granite est légèrement déformé: présence de kinks dans la muscovite et de fractures dans les autres minéraux.

Il peut être interprété comme d'âge tardi-cinématique.

2.5.6 Pegmatites et aplites

Les dykes de pegmatite et d'aplite présentent une gamme de générations et toute une variété minéralogique d'une génération à l'autre et même à l'intérieur d'une même génération.

Sans orientation préférentielle, les pegmatites se sont mises en place à tous les stades de l'orogénèse. En effet, certaines sont fortement plissées (région de Nkora, localité 2); d'autres sont boudinées (région de Murama, localité 9 - Mine de Gakomeye sud); d'autres, enfin sont intrusives, sans aucune manifestation de déformation, et sont considérées comme appartenant à un épisode granitique très tardif (région de Rutsiro, localité 8).

Dans la région de Cyimbili, nous avons pu distinguer trois groupes de pegmatites:

Groupe 1: pegmatite à microcline

Groupe 2: pegmatite à microcline et orthose

Groupe 3: pegmatite sans feldspaths alcalins.

Groupe 1: pegmatite à microcline (Planche III, photo 9)

La pegmatite à microcline de la région de Cyimbili (A 111) est constituée de quartz, de microcline parfois perthitique, de plagioclases et de muscovite.

Les plagioclases sont corrodés et ont tendance à être remplacés par le quartz et la muscovite dans les plans des macles.

La muscovite accuse parfois une orientation préférentielle autour des yeux de quartz allongés et dans les plans de cassure du microcline.

Les minéraux opaques apparaissent en inclusions dans les feldspaths. Le quartz est xénomorphe, souvent en aggrégats polycristallins, lenticulaires étirés ou en association graphique quartz-microcline.

Groupe 2: pegmatite à orthose et microcline

La pegmatite à orthose et microcline comporte outre ces minéraux, le quartz, les plagioclases et la muscovite. Ces minéraux s'accompagnent de leucoxène et d'apatite (A 71).

Du quartz micrographique est associé aux plagioclases. Ceux-ci sont maclés albite et péricline et ont une calcicité An_{40} (andésine).

L'orthose est corrodé et presque complètement rongé par le microcline, mais il se retrouve aussi sous forme de grains moyens hypidiomorphes.

La muscovite et les plagioclases sont déformés. La déformation se manifeste par une flexure dans les micas et une déformation des macles polysynthétiques dans les plagioclases, déformation due aux contraintes tectoniques infligées à la roche.

Groupe 3: pegmatite sans feldspath alcalin (Planche III, photo 10)

Cette pegmatite est constituée exclusivement de quartz et des plagioclases (A 538 et A 628) avec quelques rares traces de microcline (A 150), de muscovite et de biotite.

Le quartz recristallisé forme des aggrégats polycristallins, avec de nombreuses jonctions triples, étirées ou en rubans.

Les plagioclases hypidiomorphes à idiomorphes présentent des contours corrodés. Ils sont fracturés mais peu altérés (Planche III, photo 11). Ils présentent des macles d'albite, de péricline et de Carlsbad mais parfois ne présentent aucune de ces macles et se distinguent de l'orthose uniquement par

quelques rares altérations (damouritisation). La coloration au cobaltinitrite de sodium nous a été d'une grande utilité, aucun feldspath alcalin (ou très peu) n'a été décelé par la coloration des échantillons mégascopiques.

Certains plagioclases montrent un phénomène de zonation, mais ceci est plutôt rare.

2.6 Analyse modale des granites burundiens

Le diagramme QAP (Streichsen, 1974) des granites burundiens (tableau 6) montre que:

- a) les granites à deux micas G_3 forment généralement un groupe assez cohérent, de composition moyenne de quartz variant de 20 à 50%, en plagioclases variant de 20 à 31% et en feldspaths alcalins variant entre 20 et 35%;
- b) le leucogranite très déformé G_1 a sensiblement la même composition que les granites à deux micas;
- c) le granite à biotite G_2 se démarque des deux précédents par une carence en feldspaths calco-sodiques;
- d) le granite hololeucocrate G_4 reflète également la même composition que les granites G_3 et G_1 ;

e) les pegmatites et aplites présentent une composition minéralogique très variable. Ceci confirme l'hypothèse évoquée plus haut, comme quoi elles se sont mises en place à diverses périodes au cours de l'orogénèse burundienne dans des conditions géologiques très diversifiées.

2.7 Les roches burundiennes d'affinité gabbroïque

D'après les caractéristiques minéralogiques et texturales définies sur le terrain, les propriétés physiques (couleur, dureté et autres), les relations avec les roches encaissantes (relations de recoupement) et d'après les critères de déformation des roches mafiques, celles-ci ont été classées en plusieurs types, tel que présenté au tableau 7.

2.8 Stratigraphie régionale

Les roches les plus anciennes reconnues dans la région sont des roches migmatitiques et des gneiss granitiques ocellés. Des lambeaux de dykes mafiques, des quartzites recristallisés ainsi que des niveaux arénacés apparaissent localement dans les gneiss. La présence des quartzites recristallisés dans le socle suppose l'existence de métasédiments anté-burundiens et possiblement d'une discordance entre ce socle et un socle plus ancien de l'Archéen.

TABLEAU 7: CARACTERISTIQUES DES DIVERS TYPES DE ROCHES
BURUNDIENNES D'AFFINITE GABBROIQUE (D'APRES
SANSCHAGRIN ET AL., 1983 a)

Age présumé	Composition	Caractéristiques	Relations avec roches encaissantes	Localité	Région
IV	gabbroïque à porphyres de feldspaths	souvent frais noir verdâtre	non déformé, non métamorphisé coupe pegmatite déformée et pegmatite non déformée, gneiss granitiques ocellés et roches sédimentaires burundiennes	7 12 7 *1	Nkora Murama Nkora Rubengera
IIIId	gabbroïque	généralement altéré vert ou brun suivant degré d'altération	non déformé métamorphisé coupe micaschistes		Murama
IIIc	gabbroïque	idem	déformé, métamorphisé forme dykes ou sills concordants ou subconcordants dans les roches du Burundien	*1	Rubengera
IIIb	amphibolite	vert-pâle à foncé, alté- ré	idem	*1	Rubengera
IIIa	amphibolite	noire, bioti- tisée sur le pourtour	forme enclaves et xénolithes dans les gneiss granitiques ocellés		Murunda
* 1 Sanschagrin 1983: Région de Mara, Rapport technique					

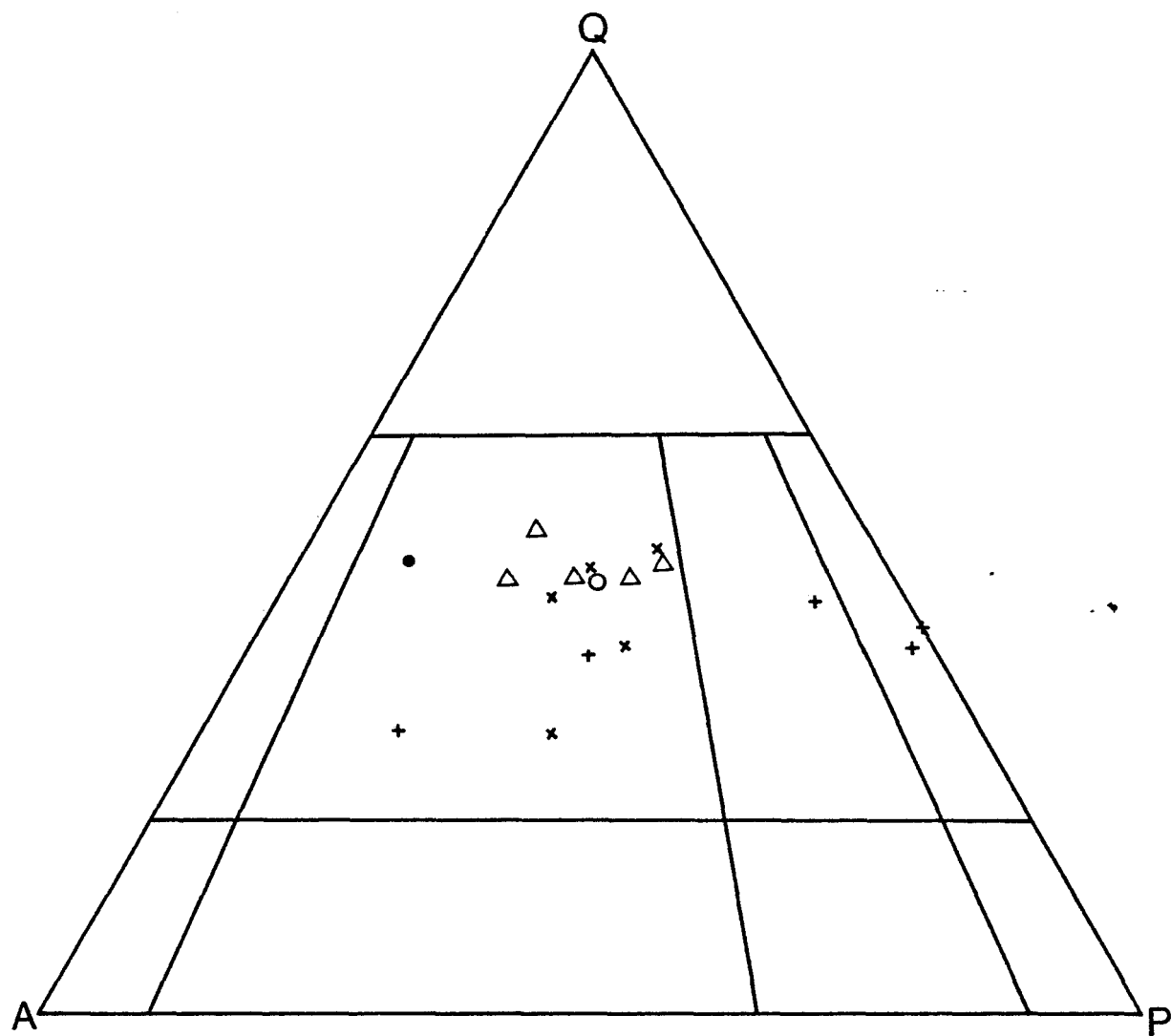


Fig. 11 Diagramme QAP (Streckeisen, 1976) - Analyse modale des granites burundiens G_1 o G_2 • G_3 Δ G_4 x et les pegmatites +

Des roches burundiennes observées dans la région forment une séquence de roches pélitiques avec des passages de niveaux plus quartzeux et des roches de composition mafique.

L'ensemble a été plissé et localement métamorphisé.

Des roches d'affinité granitique de diverses générations accompagnées de leur train de pegmatites et d'aprites également de diverses générations recoupent toutes les roches. D'après leurs caractéristiques pétrographiques de déformation, nous avons distingué des groupes magmato-tectoniques pré ou syn-cinématiques (G_1 et G_2) et tardi à post-cinématiques (G_3 et G_4).

Les travaux dans la région ont aussi permis de distinguer plusieurs générations de roches d'affinité mafique, marquant chacune un épisode tectonique important et différent. Ainsi, dans la région de Nkora (localité 7), la dernière génération qui n'a subi aucune déformation ou métamorphisme observés, recoupe des gneiss et des pegmatites tardives (non déformées). Elle est probablement rattachée au système du Rift Africain (Sanschagrin et al., 1983 a).

Enfin, de fines couches de roches calcaireuses recouvrent les affleurements des gneiss ocellés sur les rivages du lac Kivu dans la région de Mara.

En bref, la stratigraphie régionale peut se résumer tel que montré au tableau 8.

TABLEAU 8:

STRATIGRAPHIE REGIONALE

Encroûtement de carbonates

-----discordance-----

Dykes mafiques porphyriques type IV

Veines de quartz

Aplite

Pegmatite II non déformée

Granite hololeucocrage G

** fin de l'orogénie burundienne**

Pegmatite déformée

Granite à deux micas G

Granite à biotite G

Leucogranite très déformé

Amphibolite III - déformée - déformée et métamorphisée

Métamorphisme croissant

*Séquence pélitique:

Argillites graphiteuses, unité

gréseuse avec intercalations

locales de niveaux congloméra-

tiques et/ou pélitiques

Conglomérat de base

-----discordance-----

Amphibolite II

Gneiss granitiques oeuillés

Quartzites recristallisées

--?--?--?--discordance--?--?

Amphibolite I migmatisée

Gneiss migmatitiques avec lam-

beaux de dykes mafiques

Migmatites homogènes

Schistes à biotite

Schistes graphiteux à
biotite

Grès à biotite, biotite-
muscovite

Schistes à tourmaline

Grenat

Staurotide

CHAPITRE III

TECTONIQUE DU N.W. DU RWANDA

3.1 Observations structurales

Le territoire cartographié au nord-ouest du Rwanda a été subdivisé en secteurs (carte de localisation des secteurs) (fig. 12) pour en faciliter l'analyse structurale.

Cinq de ces secteurs représentent les roches de couverture (secteurs 1 à 5), trois, les roches du socle anté-burundien (secteurs 6 à 8), et un dernier regroupe les divers plutons granitiques burundiens. Les stéréogrammes relatifs à chacun des secteurs sont repris en annexe.

3.1.1 Déformations ductiles dans la couverture

Les roches de couverture témoignent des déformations ductiles les plus récentes.

La stratification montre une dispersion dans tous les secteurs (1,3 et 5) où il y a suffisamment de mesures pour le

vérifier (stéréogrammes 1,2 et 3). Il s'agit d'une dispersion cylindrique par rapport à un axe de dispersion orienté à 184/30 pour le secteur 1 (stéréogramme no 1). Dans le secteur 3, les pôles de stratification se dispersent en un nuage de points allongé, dont le plan de symétrie est subvertical et de direction nord-ouest - sud-est (stéréogramme no 2). L'axe de cette dispersion cylindroïdale serait 228/90. Dans le secteur 5, les pôles de stratification présentent une dispersion cylindrique analogue à celle du secteur 1, mais par rapport à un axe d'orientation différent, à savoir 277/21 (stéréogramme no 3).

La schistosité première des roches de couverture montre une dispersion dans à peu près tous les secteurs.

Dans le secteur 1, c'est une dispersion cylindrique par rapport à un axe orienté 196/60 (stéréogramme no 4).

Dans le secteur 2, les trois pôles ne se retrouvent pas dans le même plan, mais dessinent plutôt un triangle sur le stéréogramme no 5.

Dans le secteur 3, les pôles de schistosités se répartissent sur deux grands cercles par rapport aux axes suivants: 140/55 et 120/28 (stéréogramme no 6).

Le secteur 4 montre une dispersion à peu près cylin-

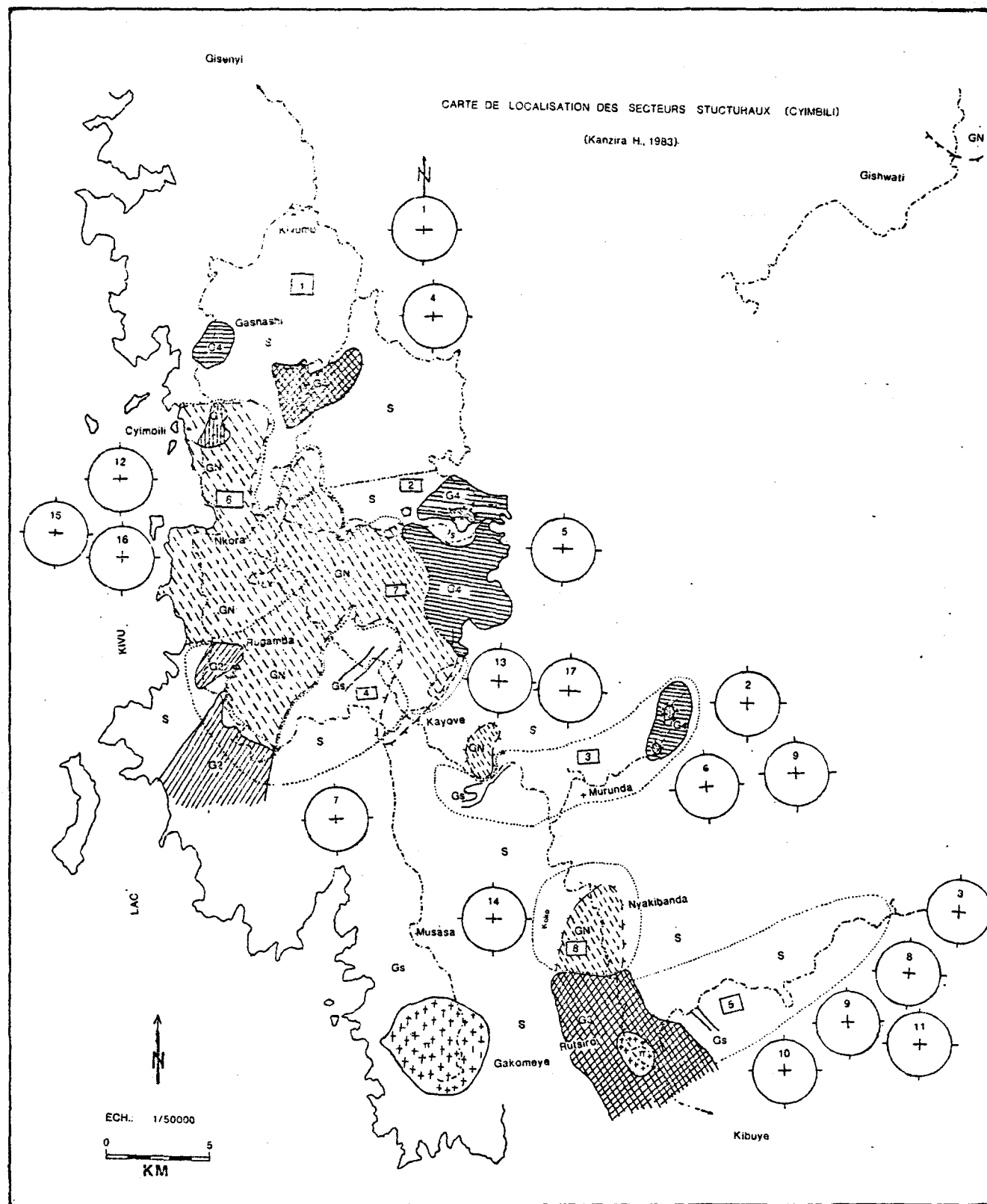
drique par rapport à l'axe 174/30 (stéréogramme no 7).

Enfin, dans le secteur 5, les pôles de schistosité forment un amas apparemment à l'intersection de deux grands cercles par rapport aux axes de dispersion suivants: 166/35 et 102/09 (stéréogramme no 8).

Dans quelques cas, il est possible de déterminer l'intersection S_0/S_1 à partir de la stratification et de la schistosité mesurées sur un même affleurement. Notamment, dans les secteurs 3 et 5 où ces linéations d'intersection L_1^0 plongent plus ou moins fortement au nord-est (stéréogrammes nos 8 et 9). Un axe de dispersion cylindroïde orienté à 138/10 conviendrait aux quatre intersections L_1^0 déterminées (stéréogrammes no 9).

Il convient de souligner ici que les axes de dispersion de la première schistosité et de la linéation d'intersection L_1^0 se placent à proximité de cette même valeur médiane (fig. 13).

Quelques mesures d'une deuxième schistosité ont aussi été faites. Il s'agit de deux plans verticaux subparallèles: 160/90 et 166/90 et d'un plan incliné 218/36 NW (stéréogramme no 11). Le plan incliné est presque parallèle à la première schistosité mesurée au même affleurement, tandis que les deux plans verticaux sont fortement obliques aux autres structures antérieures des affleurements où ils ont été mesurés.



LEGENDE

Pegmatites π 

Granite hololeucocrage G



Granite à 2 micas G



Granite à biotite G



Leucogranite très déformé G



Grès



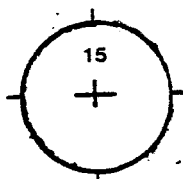
Schistes



Gneiss granitiques du socle GN



No de secteur



No de stéréogramme



Discordance entre le socle et la couverture



Enclaves de gneiss dans les granites



Limites des secteurs



Routes

L'absence de patron d'affleurement clair pour l'ensemble du territoire cartographié due à la discontinuité de l'affleurement, limite l'interprétation des mesures structurales à la formulation d'hypothèses qui devront être confirmées par des travaux additionnels.

Il faut reconnaître au moins deux phases de déformation P_1 et P_2 dans la couverture comme l'indiquent les dispersions de la première schistosité et de la linéation d'intersection L_1^0 .

Il est possible qu'une troisième phase à faible amplitude soit aussi présente. Elle se manifesterait par la légère dispersion des axes de crénulation et des axes de dispersion de la première schistosité, et par l'étalement latéral des dispersions de la première schistosité dans les secteurs 3 et 5, et des linéations d'intersection L_1^0 . Cette dernière phase de déformation que nous nommons P_3 ne se manifeste pas dans la fabrique des roches; son existence demeure donc hypothétique et ses paramètres géométriques inconnus. Il peut s'agir d'ondulations régionales de faible amplitude et de grande longueur d'onde (polykilométrique) ou encore de basculements relatifs de grands blocs tectoniques de quelques dizaines de degrés les uns par rapport aux autres.

Cette dernière hypothèse est retenue, car la proximité

des failles semble augmenter la dispersion des éléments structuraux des roches. Nous reviendrons à cette troisième déformation après l'analyse des deux autres.

La déformation P_2 est beaucoup mieux définie. Les deux schistosités S_2 verticales, la similitude de leurs directions avec celles des axes de crénulation, la dispersion des linéations d'intersection L_1^0 dans un plan subvertical et l'importance des dispersions (souvent supérieures à 90 degrés), suggèrent un système cinématique de plissement droit serré, dont la direction générale serait d'environ 150° . La plongée des axes de crénulation dépend de l'orientation oblique des premières schistosités par rapport aux axes cinématiques du deuxième plissement (Ramsay, 1967). De plus, le développement des crénulations et les dispersions généralement cylindriques des premières schistosités suggèrent une déformation essentiellement par fluage parallèle au plan axial dans lequel les marqueurs stratigraphiques ne jouent qu'un rôle passif (Ramsay, 1967).

Cette interprétation suppose que la schistosité inclinée mesurée à l'affleurement 330 et identifiée comme deuxième schistosité, est en fait une première schistosité à caractère peut-être un peu particulier sur l'affleurement. Son quasi-parallélisme avec l'autre schistosité mesurée à cet affleurement supporte cette interprétation.

La géométrie de la déformation P_1 ne peut être reconstituée de façon aussi détaillée, à cause des effets superposés de la déformation P_2 .

Si le modèle de plissement proposé pour la déformation P_2 est valable, alors les plans de dispersion des linéations d'intersection L_1^0 contiendraient la direction initiale de ces linéations, plus ou moins tournée selon le degré d'aplatissement régional provoqué par la déformation P_2 . Comme la direction du plan de dispersion des linéations donnée par les stéréogrammes, soit 048, est presque perpendiculaire à la direction cinématique du deuxième plissement, il faut conclure à une transposition faible de cette direction, l'aplatissement ayant tendance à fermer les angles. La plongée vers le sud-est des crénulations de deuxième phase sur la schistosité indique alors directement le pendage initial de celle-ci. Ainsi donc, il est possible de postuler une première déformation P_1 à plis déversés au nord-ouest et à axes horizontaux. L'abondance des schistosités suggère un mécanisme de fluage aussi pour cette première phase de déformation.

L'interférence entre une première phase de plis déversés à axes horizontaux et une deuxième phase de plis droits presque orthogonale à la première devrait résulter en des configurations d'affleurements en croissants (Ramsay, 1967).

Il reste les dispersions des stratifications à interpréter. Dans le secteur 3, l'axe de dispersion des stratifications se situe sur le plan de dispersion des linéations L_1^0 (fig. 13), confirmant son caractère d'axe de pli.

L'étalement des pôles de stratification par rapport au plan de dispersion serait alors dû aux déformations ultérieures. Cette dernière hypothèse se confirme par la configuration de la dispersion des pôles de schistosité dans le secteur 5 (selon deux grands cercles).

L'un de ces cercles par rapport à l'axe orienté 166/35 correspond clairement à la dispersion produite par la deuxième déformation; l'autre, par rapport à un axe orienté 102/09, doit correspondre à une déformation ultérieure, soit P_3 . Cette déformation provoque une dispersion dans le plan nord-sud par rapport à un axe subhorizontal est-ouest.

Le même comportement de dispersion se retrouve pour les stratifications du secteur 5. Les plongées opposées de ces axes de dispersion P_3 proviennent des pendages initialement différents de la stratification et de la première schistosité après la deuxième déformation dans le secteur 5. Ceci nous amène à reconnaître un axe est-ouest pour la déformation P_3 .

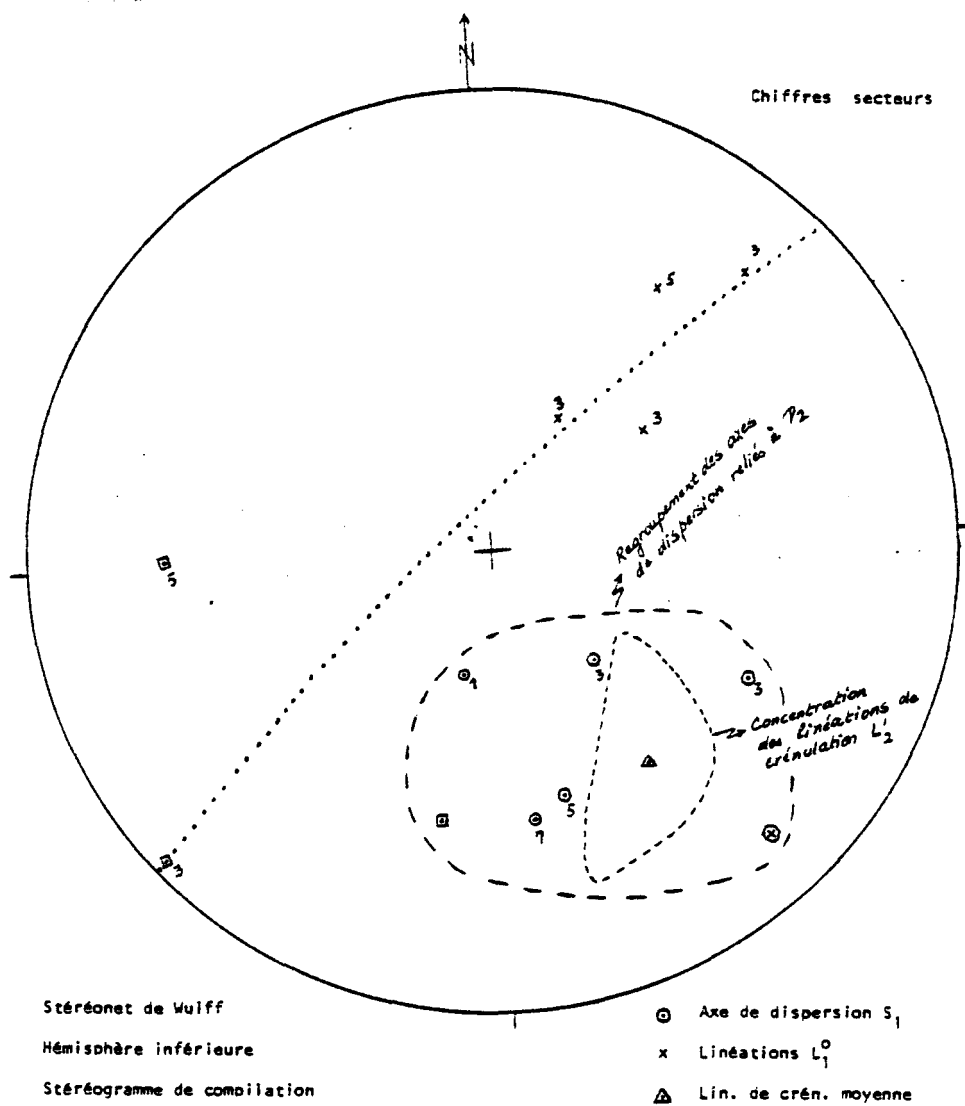


Fig. 13 Stéréogramme de compilation. —
 Dispersion des L_1^0
 ⊗ Axe de dispersion des L_1^0
 □ Axe des dispersions S_0

3.1.2 Déformation ductile dans le socle

Une foliation principale domine la fabrique des roches dans le socle. Elle est généralement abrupte avec des directions variables dans les quadrants nord-ouest et sud-est (stéréogrammes nos 12, 13 et 14). L'absence de trajectoire de dispersion bien définie interdit de pousser l'analyse bien loin. La deuxième foliation présente seulement dans le secteur 6 et même là, en faible quantité (stéréogramme no 15), ne permet pas non plus une analyse poussée.

Il faut présumer qu'une partie des dispersions constatées résulte des déformations de la couverture qui auraient aussi affecté le socle.

Comme la dispersion des éléments structuraux du socle apparaît relativement moindre que celle des éléments précoces de la couverture, il faut attribuer aux éléments du socle une orientation telle que les déformations ayant affecté les roches de la couverture n'aient que des effets géométriques mineurs sur l'orientation des structures du socle. Un socle avec un grain tectonique nord-ouest - sud-est et des pendages abruptes contiendrait les directions de transport des deux premières déformations de la couverture et, en conséquence, ne montrerait que peu de dispersion de ses éléments structuraux.

Les dykes et les veines de pegmatite et d'aplite présentent des dispersions analogues à celles des foliations (stéréogrammes nos 16 et 17), mais ils sont généralement discordants par rapport à la foliation locale. La seule façon d'expliquer leur distribution d'orientation analogue à la dispersion des foliations est de postuler qu'ils ont été partiellement transposés vers le plan général de foliation du socle (nord-ouest - sud-est subvertical) lors de l'orogénie pré-burundienne responsable du grain tectonique du socle.

3.1.3 Déformation ductile dans les granites

Les pôles de foliation dans les granites se situent tous dans le quadrant sud-ouest (stéréogramme no 18).

Ces granites n'ont pas tous le même âge, de sorte qu'il est impossible de présumer une orientation initiale unique de leur foliation. Des travaux additionnels sont nécessaires pour mieux définir leur comportement structural à partir de la formation première de la foliation.

La seule suggestion qu'il soit possible de faire est que l'apparente dispersion nord-sud résulterait de la déformation P_3 .

3.1.4 Tectonique cassante

En ce qui concerne la tectonique cassante, les relations socle-couverture sont les suivantes:

- dans le socle, les failles sont orientées sud-ouest et nord-est et font un angle de 50 degrés entre elles, d'où le caractère probablement conjugué de ces failles (fig. 14);

- dans la couverture, elles sont orientées nord-est et nord-ouest; elles sont normales entre elles. Deux failles, l'une du socle et l'autre de la couverture sont perpendiculaires entre elles (C_1 et S_2 , tableaux 9, 2 et 7, fig. 14).

Bien qu'il soit présomptueux de tirer des conclusions à partir de ces données aussi peu abondantes, nous pouvons cependant présumer que ces failles ont une certaine relation avec le Rift Africain qui passe juste à côté de la zone étudiée, et qu'elles feraient vraisemblablement partie d'un réseau de failles causées par ce grand accident tectonique.

En observant la carte tectonique représentant le système du Rift Africain (fig. 2), nous constatons que, dans les secteurs 2, 5 et 6, les plans de failles sont parallèles à la direction générale du lac Kivu, tandis que dans le secteur 7, les plans de failles suivent sensiblement des directions ENE,

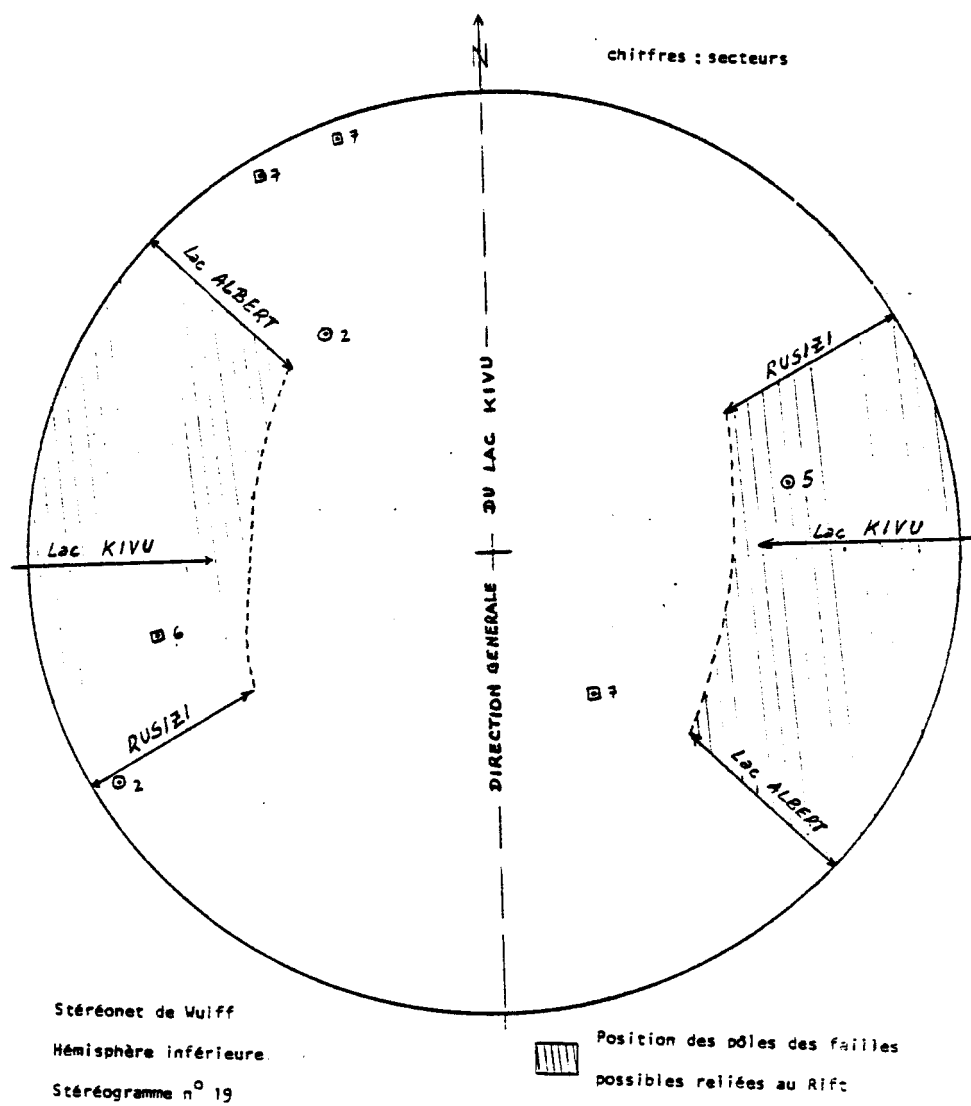
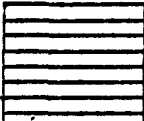





Fig. 14 Pôles des plans de failles

- couverture
- socle

TABLEAU 9: RELATIONS STRUCTURALES ENTRE LES FAILLES
DU SOCLE ET CELLES DE LA COUVERTURE

	s_1	s_2	c_1	c_2
s_1		50°	80°	40°
s_2			84°	90°
c_1				90°
c_2				

s_1 et s_2 : failles 1 et 2 du socle

c_1 et c_2 : failles 1 et 2 de la couverture

direction correspondant à celle du lac Albert (figs 2 et 13).

Les failles parallèles à la direction normale du lac Kivu seraient directement rattachées au système du Rift, alors que les failles rencontrées dans le socle dans le secteur 7 seraient probablement rattachées à un grain d'anciennes failles réactivées par le Rift.

3.1.5 Résumé de la structure dans le N.W. du Rwanda

L'orogénèse burundienne a affecté aussi bien le socle que sa couverture. Nous résumons ici les informations obtenues sur la base des observations de terrain et présentons un tableau de synthèse de ces observations.

a) Déformation ductile dans la couverture

Trois phases principales de plissement P_1 , P_2 , P_3

P_1 : plis déversés au nord-ouest, à axe horizontal
nord-est

P_2 : plis droits serrés à axe nord-ouest - sud-est

P_3 : basculements relatifs de grands blocs tectoniques, possiblement par rapport à un axe est-ouest subhorizontal

b) Déformation ductile dans le socle

La déformation ductile dans le socle suit généralement

le grain tectonique ancien nord-ouest - sud-est à pendages abrupts.

c) Déformation ductile dans les granites

Effet notable du P_3 présumé sur une distribution initiale reconstituée.

d) Déformation cassantes

Trop peu d'observations pour conclure. Les failles sont probablement reliées au Rift Africain (direction du lac Kivu), sauf dans le secteur 7 où des directions ENE dominant; celles-ci parallèles à la direction générale du lac Albert correspondraient à un réseau d'anciennes failles réactivées par le Rift Africain.

TABLEAU 10: SYNTHÈSE STRUCTURALE DE LA RÉGION DE CYMBILI

Secteurs	Stratification	Schistosité	Linéations
1	dispersée par rapport à un axe à plongée S	dispersée par rapport à un axe à plongée forte S - SD	
2		dispersée	
3	dispersion étalée par rapport à un axe horizontal SO	dispersion sur 2 cercles à axes SE	L ⁰ plonge NE la plongée varie 25-60 dispersion autour d'un axe subhorizontal SE
4		dispersion par rapport à un axe S, plongée $\pm 30^{\circ}$	
5	dispersion par rapport à un axe O, plongée 25	schistosités S ₁ : Amas (pôles NW) Schistosités S ₂ : 2 pôles vers ENE pendage 55	L ⁰ plongée NE crénulations L amas 147 32

TABLEAU 10 (suite)

Secteurs	Foliation F ₁	Foliation F ₂	Dykes de pegm. et Ap.
6	amas très dispersés, pôles vers SO et vers le NE	2 pôles E/55 et 2 pôles SO/00 définissant un grand cercle par rapport à 337/22	concordants à F ₁
7	pôles très dispersés: NE-NNE abrupts SSO-0 abrupts SE-S intermédiaires		
8	2 pôles NNE à plongée intermédiaire à forte 2 pôles ESE à plongée intermédiaire à faible		
Granites:			
	Les pôles sont concentrés au sud et sont abrupts. La géométrie de dispersion est mal définie.		

CHAPITRE IV

METAMORPHISME

4.1 Métamorphisme régional

Le métamorphisme a suivi la principale phase de déformation. Les roches sédimentaires burundiennes dans la région du nord-ouest ont subi un métamorphisme régional allant du faciès schistes verts au faciès amphibolite.

La délimitation des isogrades métamorphiques est malaisée. Il existe des passages brusques entre des zones à métamorphisme faible ou nul et des zones où le métamorphisme est relativement élevé. Cependant, il a été possible de suivre un métamorphisme prograde passant du faciès des schistes verts au faciès amphibolite dans la région de Murama pour atteindre le faciès granulite (ou probablement amphibolite supérieur). Ce dernier faciès est représenté par les schistes à sillimanite retrouvés plus à l'ouest, au Zaïre sur l'île Ijwi (Rumvegeri, Université de Lubumbashi, communication personnelle), mais nous n'avons pu l'identifier du côté rwandais (fig. 15).

Massif granito-gneissique de CYMBILI

Isogrades métamorphiques

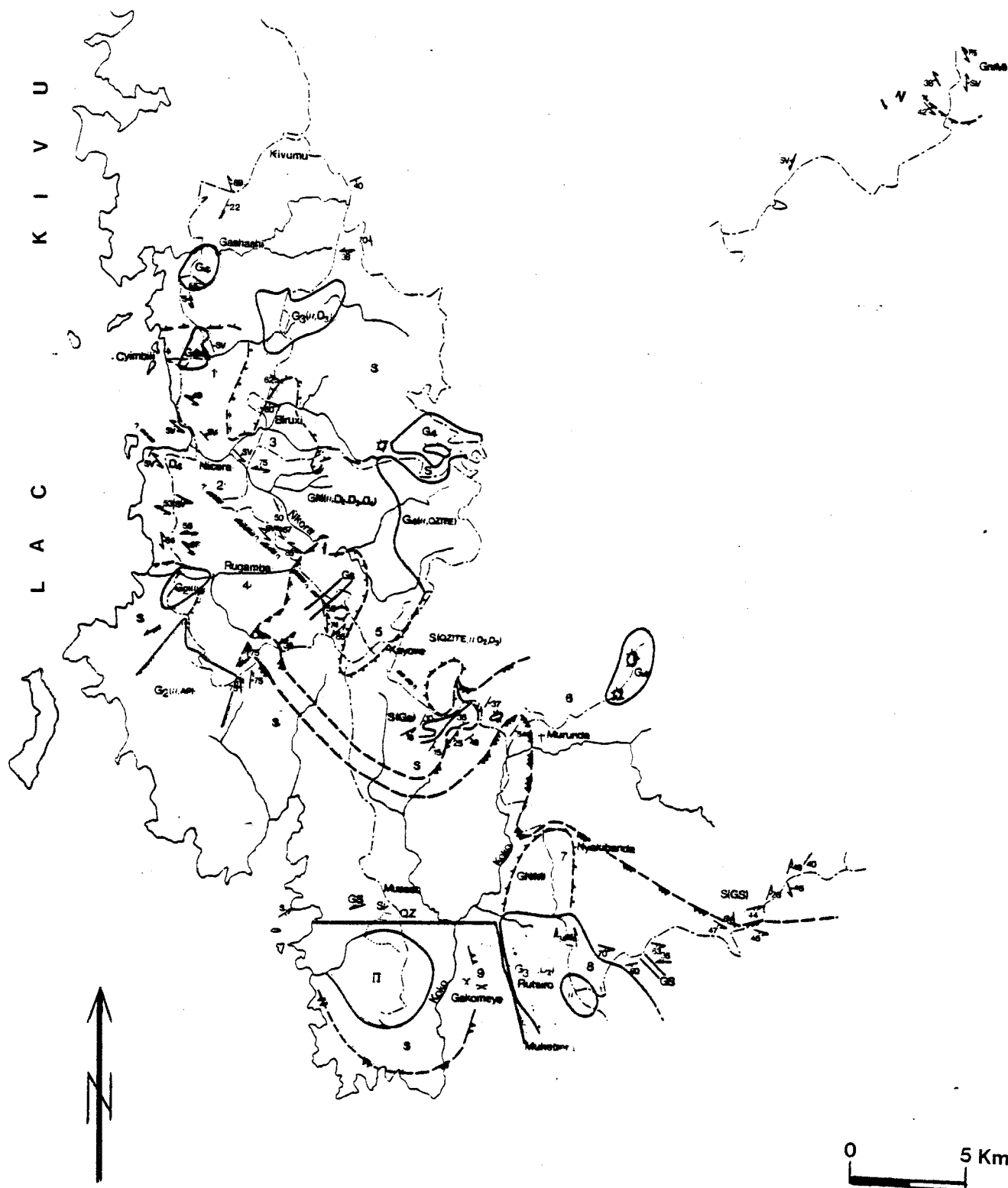


Fig. 15 Carte de localisation des isogrades métamorphiques dans la région de Cyimbili

Légende:

Isograde du grenat

- Observé , présumé

▲▲ ▲▲ , ▲▲ ? ▲▲ ? ▲▲

Isograde de la staurotide

- Observé , présumé

▲▲▲ ▲▲▲ , ▲▲▲ ? ▲▲▲ ? ▲▲▲

N.B.: Pour la légende géologique, voir carte géologique de la région de Cyimbili (en pochette)

4.2 Métamorphisme de contact

Le métamorphisme de contact est généralement absent ou difficilement observable. Certaines pegmatites à tourmaline favorisent le développement d'aggrégats de tourmaline dans le micaschiste encaissant à proximité du contact (Mine de Gakomeye nord et région du Rutsiro, route Rutsiro (centre de négoce) vers la mine.

Dans la région de Rubengera, Sanschagrin (1983) rapporte des zones de schistes tachetés ou de schistes à chiastolite qui, selon lui, seraient rattachées au métamorphisme de contact. Ce phénomène n'a pas été observé dans le reste du feuillet Murunda.

Le granite de Murunda ne montre aucun changement dans le métamorphisme des roches sédimentaires burundiennes à proximité de son contact, ce qui confirme l'hypothèse qu'il s'agit bel et bien d'une intrusion granitique tardive.

Dans la région de Murama, nous avons noté l'existence d'un métamorphisme croissant (grenat-staurotide) en direction de certaines masses granitiques (pegmatite de Murama).

CHAPITRE V

GITOLOGIE

5.1 Introduction

Le feuillet Murunda constitue un potentiel minéral très important pour le Rwanda.

Des mines d'étain, de tungstène et de columbo-tantalite sont en exploitation ou sont actuellement abandonnées mais peuvent encore être revalorisées par une exploitation rationnelle et mécanisée. Notons ici en passant que toute l'exploitation se fait artisanalement à la pelle et à la pioche, raison d'abandon de plusieurs carrières.

En outre, plusieurs autres indices minéralisés y ont été signalés. Un indice d'or a été répertorié dans les gneiss oeillés, une exploitation artisanale d'or alluvionnaire est toujours opérationnelle dans la forêt de Gishwati. Enfin, plusieurs exploitations industrielles d'étain et de tungstène opérées par la Somirwa (Société minière du Rwanda).

Le levé aéroporté couvrant tout le pays a mis en évidence au nord-ouest du Rwanda, une zone enrichie en thorium et une autre enrichie en uranium dans une même formation géologique (Sanschagrin et al., 1983 b).

Lors de notre cartographie, nous avons nous-mêmes détecté au sol avec un scintillomètre et un spectromètre, quatre indices d'anomalie radioactive ponctuelle, dont la source principale est le thorium.

5.2 Les gîtes d'étain

Trois mines d'étain ont été visitées, deux dans la région de Murama et une dans la région de Mara.

Dans la région de Murama, les minéralisations se trouvent dans les roches métasédimentaires burundiennes entre deux massifs intrusifs; la zone pegmatitique de Murama à l'ouest et le granite hololeucocrate de Murunda.

Dans la mine de Gakomeye, les minéralisations sont disséminées dans une roche sédimentaire blanche, quartzeuse et saccharoïdale avec des grains arrondis de quartz de dimension 3 mm environ. Au-dessus de cette formation se trouve un niveau de schistes graphiteux assez épais dont l'attitude est subhorizontale. Les schistes adjacents non graphiteux sont à biotite et grenat. Des blocs de schistes à tourmaline (jusqu'à 60%) ont été rencontrés dans la mine. La tourmaline en fines

aiguilles régulièrement litées est probablement d'origine syn-génétique mais la roche en place n'a pas été observée. L'ensemble schistes et roche minéralisée (qui pourrait être un grès conglomératique) est coupé par une pegmatite très altérée (fortement kaolinisée) qui, elle-même est traversée par un dyke mafique non déformé.

Au sud de cette exploitation, se trouve une autre mine, pratiquement au même niveau avec des roches beaucoup moins schisteuses comprenant des grès et des siltites.

Les minéralisations en étain semblent confinées dans des veines de pegmatites très altérées et boudinées.

Nous croyons que le niveau minéralisé dans la première mine est un grès conglomératique qui peut être rattaché au conglomérat observé dans la rivière Gasumo juste à côté de la mine. De la même façon, les siltites et les grès observés dans la deuxième mine pourraient appartenir au même niveau stratigraphique.

Dès lors, il serait très important de tenter de suivre ce niveau à travers toute la région, niveau auquel les minéralisations semblent si intimement liées.

Le contexte géologique de la mine de Mara est complètement différent du contexte de Murama. Les minéralisations en

étain sont confinées dans des veines de quartz enfumé, situées en bordure d'une pegmatite qui coupe les gneiss granitiques oeillés et les granites tardifs.

Dans la mine de Mara, une zone de cisaillement a été identifiée au contact pegmatites-gneiss granitiques avec stries de cisaillement bien marquées dans un matériel noir, assez doux au toucher, collé aux pegmatites aplitiques. Le matériel identifié mégascopiquement pourrait être une roche riche en chlorite qui aurait servi de lubrifiant lors du cisaillement.

CHAPITRE VI

ETUDE GEOCHIMIQUE ET RADIOMETRIQUE DES GRANITOIDES

6.1 Introduction

Les méthodes d'analyse géochimique utilisées sont reprises en annexe et ont été mises au point aux laboratoires de l'Université du Québec à Chicoutimi par le Dr Gérard Woussen.

6.2 Interprétation des résultats géochimiques

6.2.1 Diagramme AFM (Ringwood, 1976; Nockolds et Allen, 1953; Barker et Arth, 1976)

Le petit nombre d'analyses effectuées sur les granites burundiens ne nous permet pas de tirer des conclusions probantes. Tout ce que nous pouvons constater, c'est que tous ces granites sont pauvres en MgO (fig. 16 a).

Par contre, les gneiss granitiques, beaucoup plus expressifs, se répartissent en trois groupes bien distincts, selon les régions.

FIGURE 16

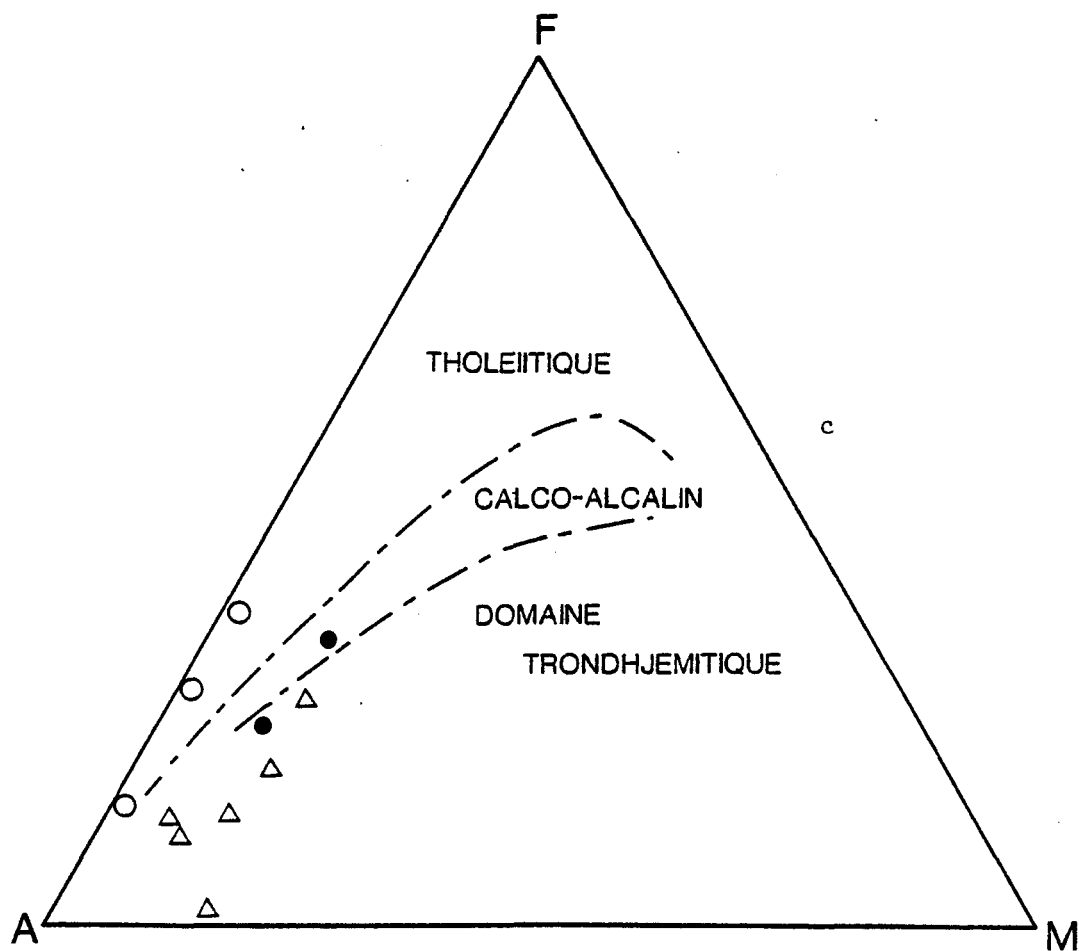
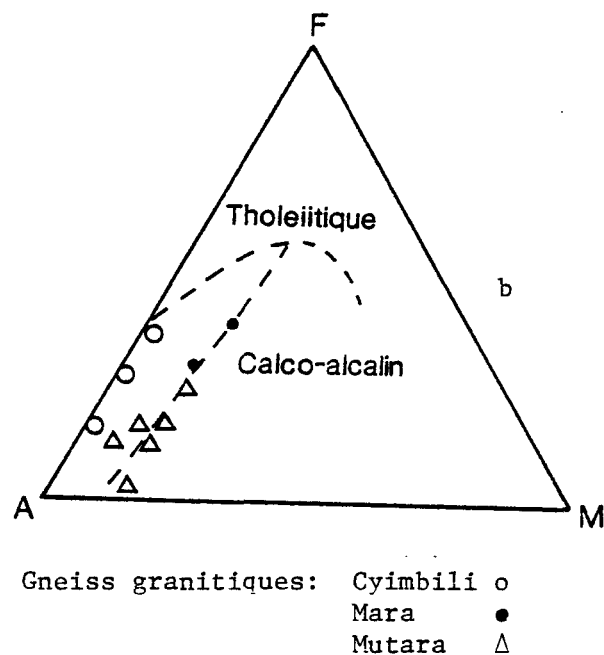
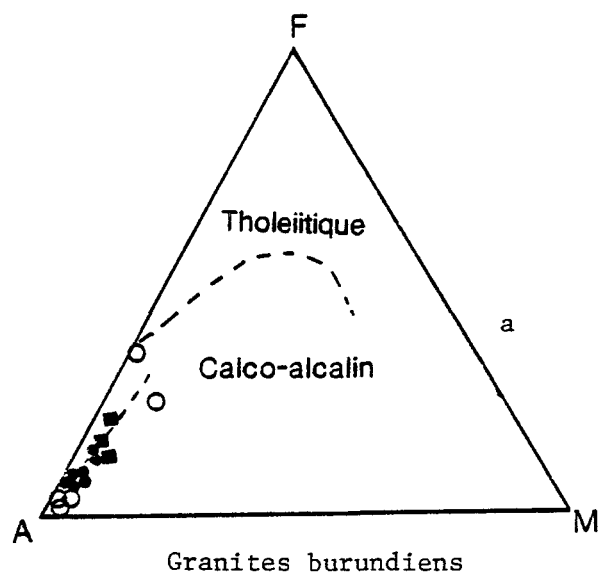


Diagramme AFM: Champs calco-alcalin, tholéiitique et trondh-jémitique (d'après Barker et Arth (1976))
Mara ● Cyimbili o Mutara Δ

Le groupe de Cyimbili, complètement isolé des autres, se caractérise par une carence manifeste en MgO et une évolution constante de sa teneur en alcalis ($Na_2O + K_2O$) et en fer total ($FeO - Fe_2O_3$) (figs 16 b et 16 c).

Les groupes de Mara et Mutara forment une même suite calco-alcaline (Ringwood, 1977; Nockolds et Allen, 1953; Barker et Arth, 1976) (figs 16 b et 16 c).

Le groupe de Mutara se retrouve dans le champ trondhjémitique (fig. 16 c) tel que défini par Barker et Arth (1976).

6.2.2 Diagrammes Qz-Ab-Or (Tuttle et Bowen, 1958) et An-Ab-Or (O'Connor, 1965; Glikson et Sheraton, 1972)

Le diagramme d'équilibre isobarique (Tuttle et Bowen, 1958) (fig. 17 a), ainsi que le diagramme combiné des proportions normatives Ab-An-Or de O'Connor (1965) et des limites des plagioclases de Glikson et Sheraton (1972) (fig. 17 b) montrent une grande variabilité des pressions hydrostatiques durant la granitisation. Les diagrammes montrent que les roches granitiques du Rwanda se sont formées dans des conditions de pression hydrostatique variant de moins de 0.5 Kb à plus de 5 Kb.

Le diagramme ternaire An-Ab-Or de O'Connor (1965) (fig. 18), montre que les gneiss granitiques du Rwanda sont essentiellement de composition granitique, mais que dans la région

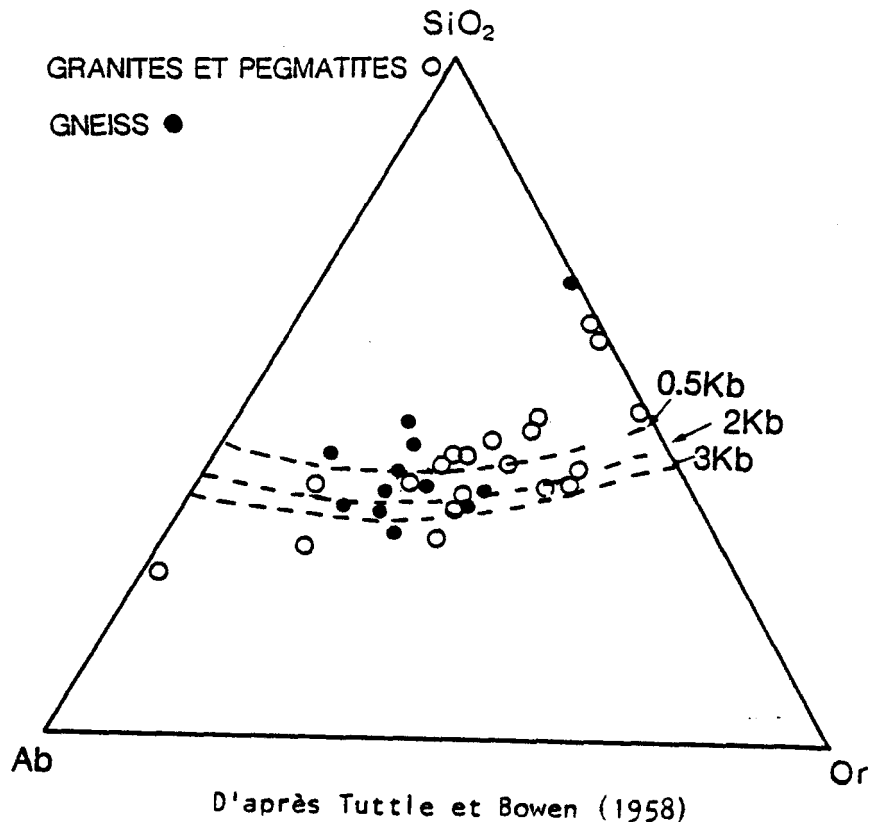


Fig. 17 a Diagramme d'équilibre isobarique à 0.5, 2, 3 Kb pour le système $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O
Granites et pegmatites ○ Gneiss ●
(d'après Tuttle et Bowen (1958))

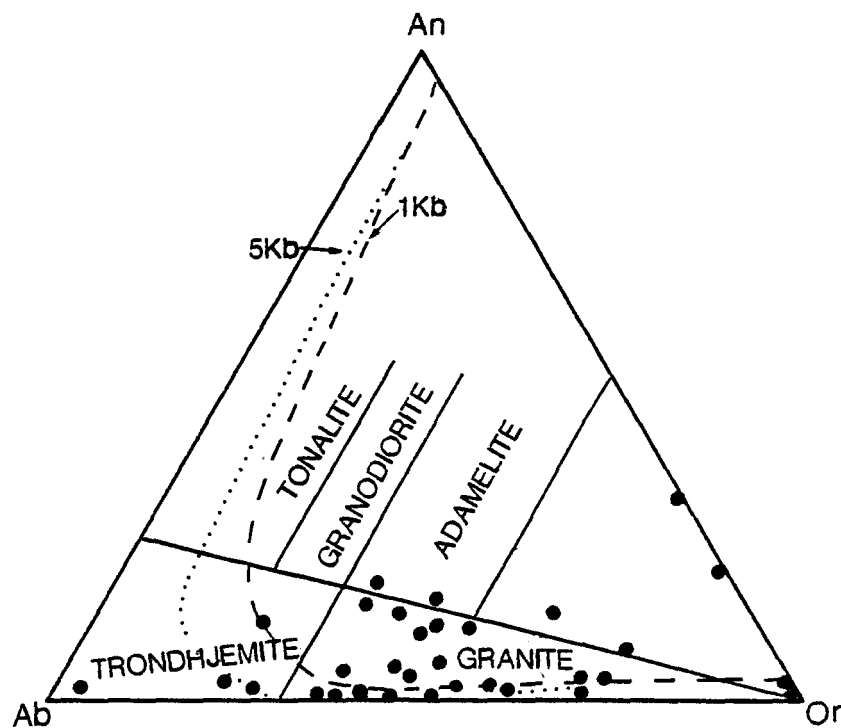


Fig. 17 b Diagramme Ab-An-Or
Lignes pleines: classification de O'Connor (1965)
Lignes pointillées: limite des plagioclases
(d'après Glikson et Sheraton (1972))

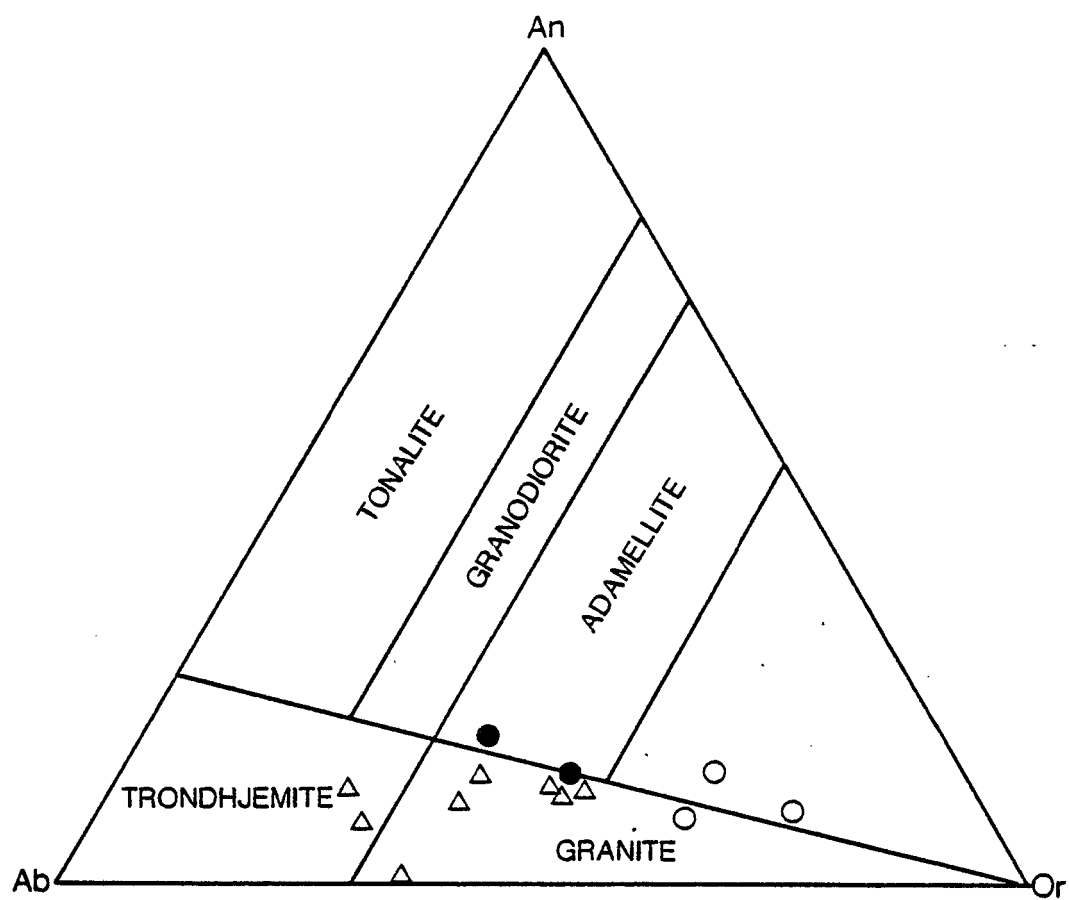


Fig. 18 Diagramme ternaire An-Ab-Or des gneiss granitiques de Mara ● Cyimbili ○ Mutara △ (classification O'Connor 1965)

du Mutara, il existe des gneiss de composition trondhjémitique.

D'après les études effectuées par Barker (1979) sur les trondhjémites et les roches associées, les gneiss trondhjémitiques du Mutara (A 1201 et A 1202) (Fig. 16 c) appartiendraient à un socle plus ancien que celui décrit précédemment.

Il est très difficile de statuer les conditions physico-chimiques dans lesquelles ont évolué les roches granitiques du Rwanda. Ces conditions ont été perturbées probablement par divers systèmes anatectiques qui ont donné naissance aux différents groupes magmato-tectoniques que constituent les granites burundiens.

6.2.3 Diagrammes $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 (d'après McDonald et Katsura, 1964)

Les analyses chimiques montrent que toutes les roches analysées sont très riches en Al_2O_3 et ont une teneur moyenne d'environ 17% (tableau 5 en annexe); le corindon normatif est omniprésent (tableau 5 c en annexe). Ces roches sont hyperalumineuses. Elles se trouvent toutes dans le domaine subalcalin (figs 19 a et b) contrairement à la classification magmato-tectonique antérieure (Pétricec, 1979; Gérards et Ledent, 1970; Baudin, 1979) (tableau 3).

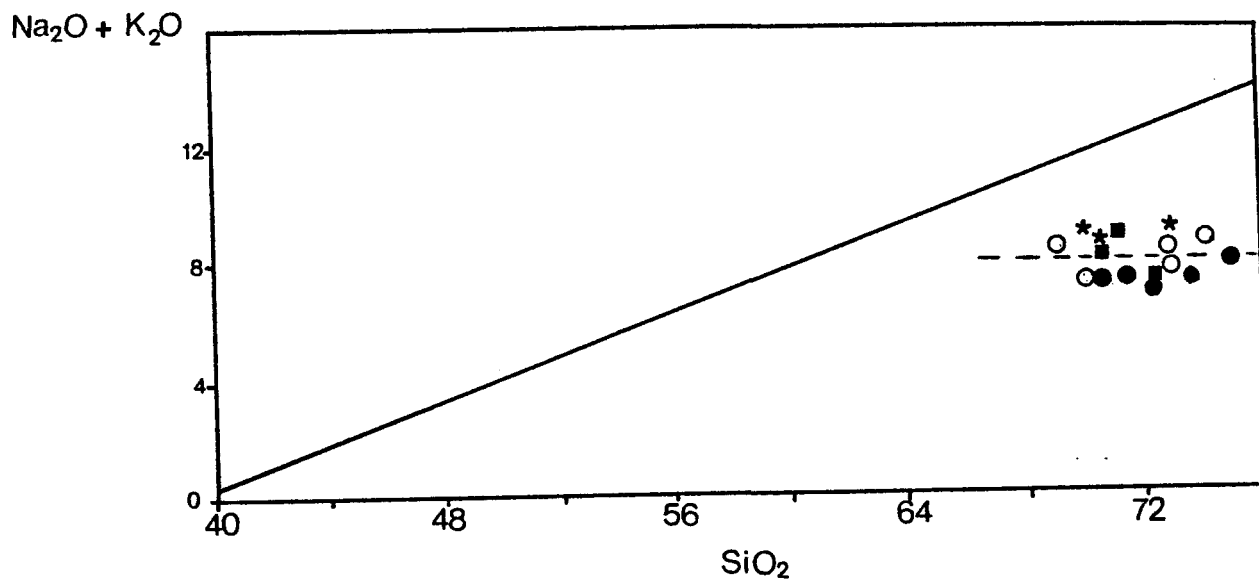


Fig. 19 a Diagramme Na_2O K_2O vs SiO_2 des granites burundiens

G_2 ■ G_3 ○ G_4 ● Pegmatites *

(d'après McDonald et Kutsira, 1964)

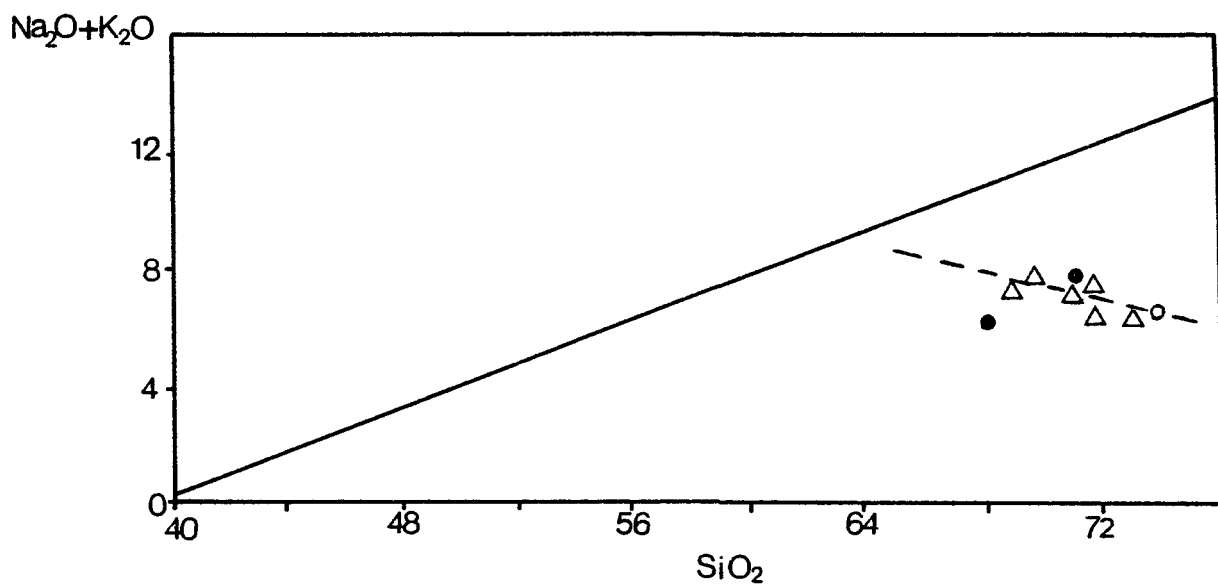


Fig. 19 b Diagramme Na_2O K_2O vs SiO_2 des gneiss granitiques du Mutara Δ Cyimbili ○ et Mara ● (composition moyenne) (d'après McDonald et Kutsira, 1964)

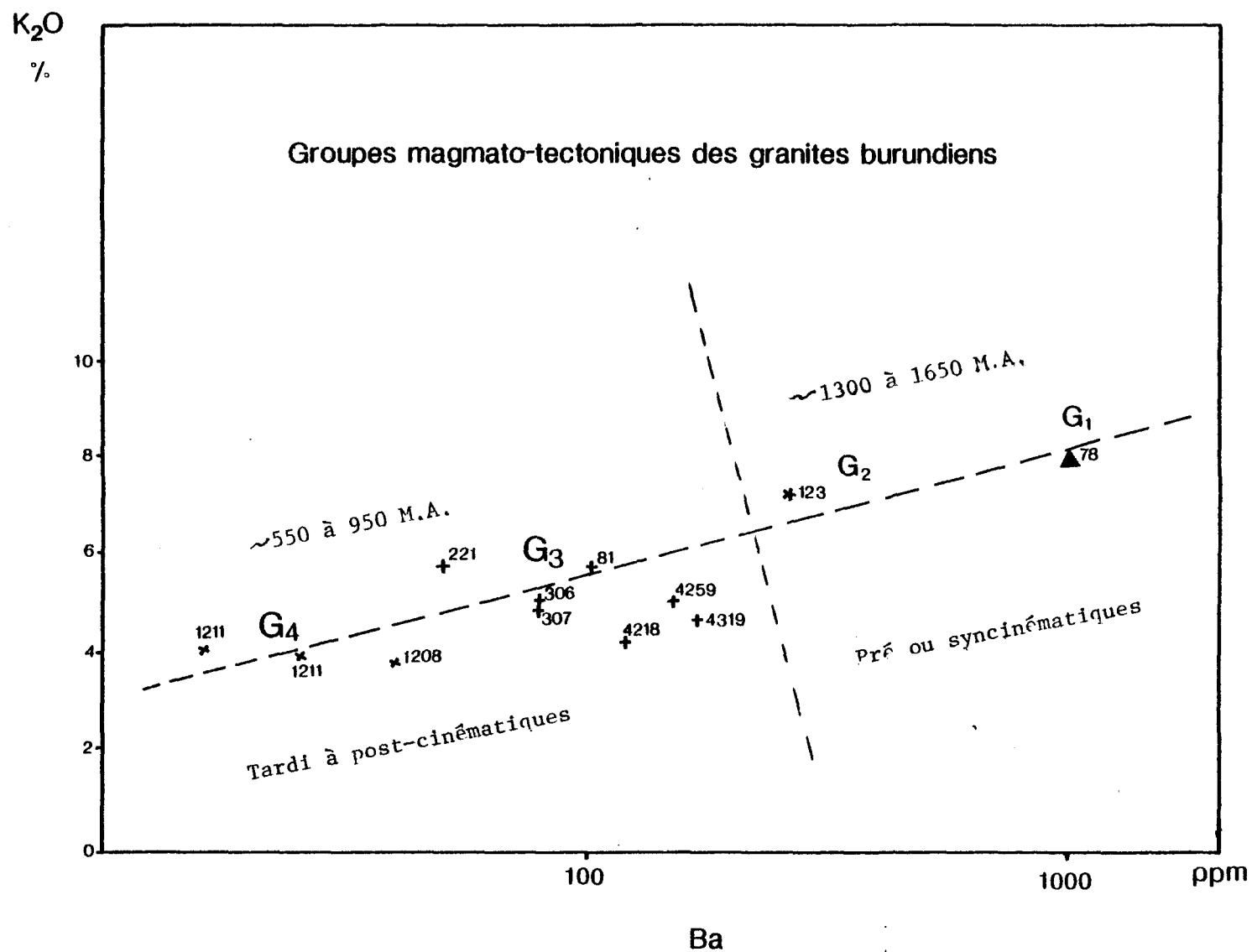


Fig. 20 Diagramme K_2O versus Ba
(datation de Gérards et Ledent, 1970; Pétricec, 1979;
Baudin, 1979)

6.2.4 Diagrammes d'analyses d'éléments en traces (obtenus à partir des tableaux 5.1 et 5.2, en annexe

Les roches granitiques se répartissent en groupes magmatotectoniques distincts les uns des autres. Le diagramme K_2O/Ba (fig. 20) montre que le leucogranite très déformé (G_1) est composé d'environ 8% de K_2O et 1 000 ppm de Ba, le granite à biotite (G_2), constitué de $\approx 6\%$ de K_2O et ≈ 400 ppm de Ba, le granite à deux micas (G_3) est composé d'environ 4% de K_2O et de 100 ppm de Ba et le granite hololeucocrate comporte environ 3% de K_2O et 50 ppm de Ba. Les groupes G_1 et G_2 plus vieux sont d'âge pré ou syn-cinématiques tandis que les groupes G_3 et G_4 plus jeunes, sont tardi à post-cinématiques (Gérards et Ledent, 1970; Pétricec, 1979; Baudin, 1979). Les diagrammes K_2O/Ba (fig. 21 a) et K_2O/Rb (fig. 21 b) des gneiss granitiques du socle, montrent également que ces gneiss se répartissent en groupes distincts selon les localités.

Les gneiss granitiques de Cyimbili (fig. 21 a) sont constitués d'environ 6% de K_2O et de 0.1% (1 000 ppm) de Ba, ceux du Mutara comptent en moyenne 4% de K_2O et 0.1% (1 000 ppm) de Ba alors que les gneiss de Cyimbili beaucoup plus pauvres en ces éléments sont composés d'environ 3% de K_2O et de 0.03% (300 ppm) de Ba. Le diagramme K_2O/Rb (fig. 21 b) nous montre des concentrations distinctes des gneiss des trois régions. D'abord le groupe de Cyimbili composé d'environ 6 à 7% de K_2O et ≈ 170 ppm de Rb, ensuite le groupe du Mutara avec sensiblement

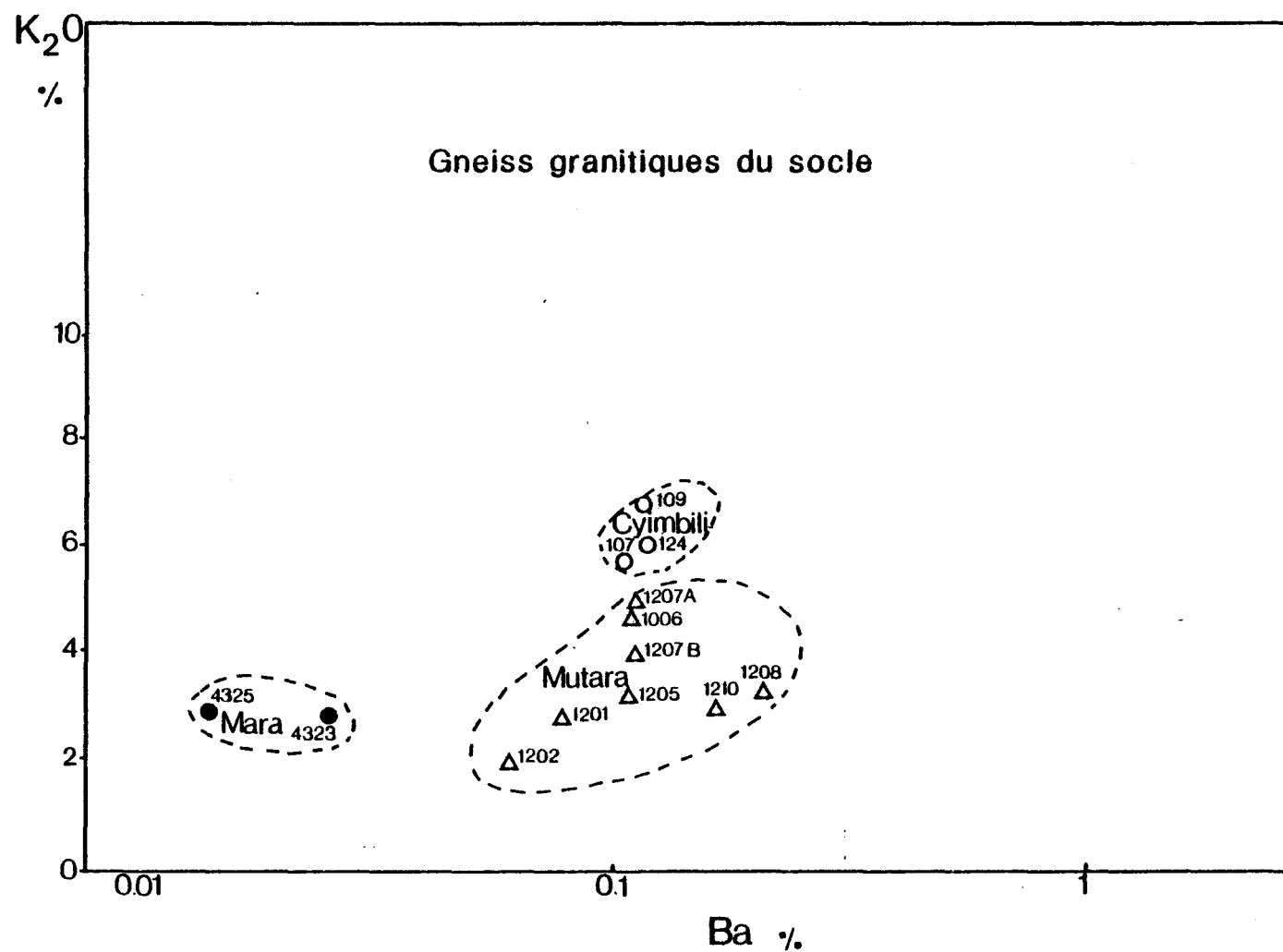


Fig. 21 a Diagramme K₂O versus Ba

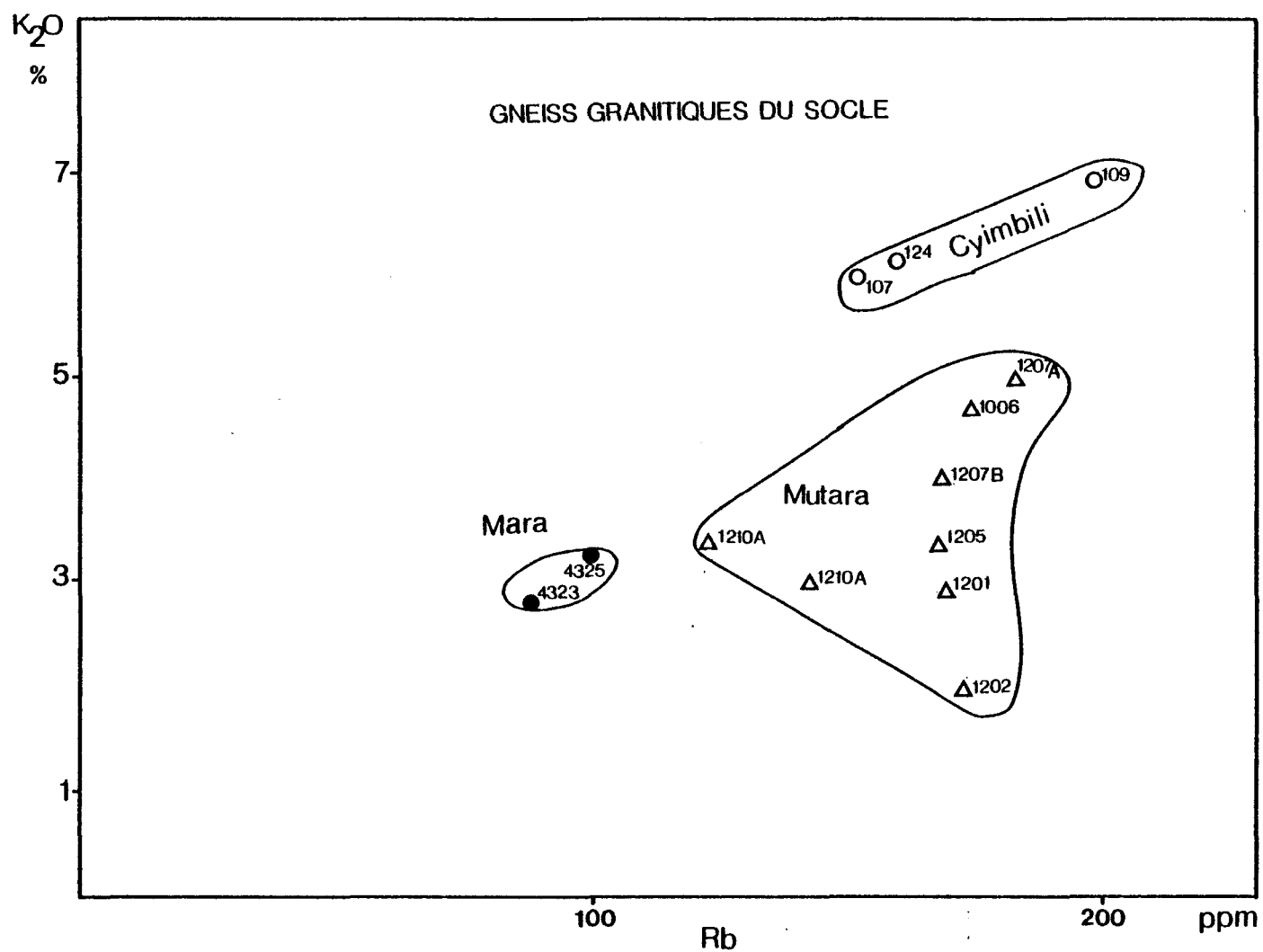


Fig. 21 b Diagramme K_2O versus Rb

la même composition moyenne de Rb soit environ 170 ppm et autour de 4% de K_2O et enfin le groupe Mara plus pauvre en Rb (environ 100 ppm) et en K_2O (environ 3%).

6.2.5 Interprétation des données radiométriques des granitoïdes du nord-ouest Rwanda

La classification en divers types de roches d'affinité granitique basée sur la pétrographie et la chimie est appuyée par des réponses radioactives différentes selon le type de lithologie. La classification des roches granitiques de la région de Cyimbili basée sur ces réponses est donnée à la figure 22.

Les gneiss se démarquent des granites burundiens, ceux-ci à leur tour se répartissent en groupes bien identifiés. Les gneiss granitiques présentent une faible dispersion et sont nettement plus riches en thorium que toutes les autres roches (75 à 85%), et ont généralement une faible teneur en % de potassium (5 à 20%) et en U ($\approx 15\%$).

Les granites hololeucocrates (G_4) plus jeunes que les autres, se caractérisent par leur faible teneur en thorium ($\approx 25\%$) et leur grande teneur en uranium (environ 60%).

Les granites à deux micas (G_4) montrent une gradation progressive en thorium (de 30 à 70%) et potassium (10 à 30%).

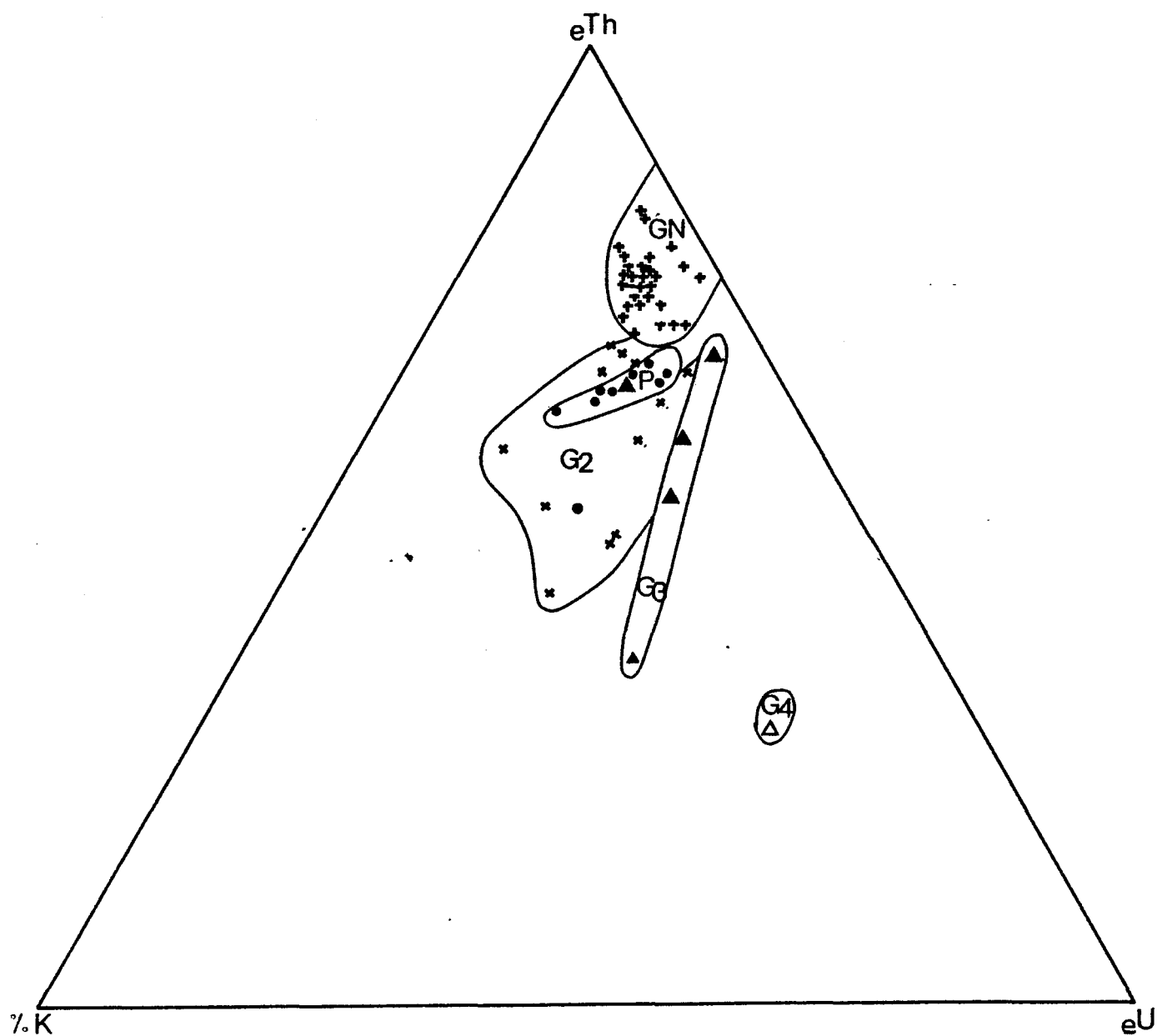


Fig. 22 Diagramme ternaire Th-U-K des granitoides du Rwanda

GN : gneiss granitiques
 G₂ : granite à biotite
 G₃ : granite à 2 micas
 G₄ : granite hololeucocrate
 P : pegmatite

Les teneurs en uranium sont presque constantes (environ 25%). Ils sont relativement plus riches en U (25 à 30%) que les gneiss, les granites à biotite et les pegmatites.

Les granites à biotite (G₂) présentent une grande dispersion des trois éléments.

Moins riches en U (15 à 25%) que les granites holo-leucocrates (G₄) et les granites à 2 micas (G₃), en Th que les gneiss, ils comportent une trame de pegmatites relativement plus riche en Th (65 à 75%) et une évolution graduelle en % de potassium (environ 25%).

CHAPITRE VII

DISCUSSION

Les suites trondhjémiques-tonalitiques révélées par les analyses chimiques du complexe granito-gneissique du Mutara (fig. 17) classent ce dernier parmi les terrains de l'Archéen (Barker, 1979).

En effet, d'après les études effectuées par Barker (1979), les suites trondhjémites-tonalites, se rencontrent dans:

1. les gneiss gris des terrains de l'Archéen
2. les périphéries des ceintures de roches vertes de l'Archéen
3. a) les marges continentales du Protérozoïque et du Paléozoïque
b) les marges continentales du Mésozoïque et du Cénozoïque
4. les régions subvolcaniques des arcs insulaires
5. les ophiolites.

Le premier cas est applicable au Rwanda. Les autres gneiss granitiques observés dans toutes les régions sont considérés comme appartenant au socle anté-burundien. Ils sont plus potassiques (fig. 10) et sont rattachés au Protérozoïque inférieur.

Ceci signifierait donc que:

a) La région du Mutara constituerait le niveau tectonique le plus profond reconnu actuellement au Rwanda. Ceci confirme l'hypothèse émise par Sanschagrín et Mercier (1983) lors de leurs travaux dans la région du Mutara.

b) Le socle anté-burundien au Rwanda est à cheval sur le Protérozoïque inférieur et l'Archéen.

c) Les quartzites recristallisées observées dans le socle anté-burundien de la région de Mara (Sanschagrín et al., 1983 a) suscitent un intérêt particulier. La présence de ces quartzites dans les gneiss du socle dénote l'existence préalable de métasédiments pré-burundiens et porte à croire qu'il existe une autre discordance entre ces métasédiments et un socle archéen plus ancien que le socle que nous connaissons actuellement. Si tel est le cas, on aurait connu au Rwanda une tectogénèse plus vieille que celle qui est identifiée par nos travaux. Ceci signifierait que l'orogénèse pré-burundienne

engloberait en fait deux orogénèses: l'orogénèse Eburnéenne ou Ruzizienne (environ 2 000 millions d'années) et celle plus vieille connue en Afrique sous le nom de l'orogénèse Limpopo-Libéria (2700 ± 200 millions d'années) (Kröner, 1976). Le plus vieux socle du Rwanda se localiserait alors dans la région de Mara. Seule une datation radioisotopique pourrait nous éclairer sur ce sujet.

Sur le socle anté-burundien s'est déposée une grande séquence sédimentaire burundienne essentiellement pélitique avec des passages graphiteux et parfois gréseux (Cahen, 1954; Gérards et Ledent, 1970; Sanschagrin, 1983).

Des roches volcaniques felsiques ont été signalées (Schoonderbeeck, Sanschagrin, communications personnelles) comme faisant partie de cette séquence.

Divers sills et dykes mafiques de type III ont été mis en place également dans cette séquence (Sanschagrin et al., 1983 a).

L'orogénèse burundienne est venue perturber cette séquence, a induit le métamorphisme régional et s'est accompagnée d'injections granitiques G_1 et G_2 pré-cinématiques ou syn-cinématiques, G_3 et G_4 tardi à post-cinématiques, ainsi que d'injections pegmatitiques qui apparaissent tout au cours de

l'orogénèse.

Les granites et leur train pegmatitique et aplitique sont le résultat d'un processus anatectique ayant été actif en profondeur. Souvent en massifs et stocks circonscrits, avec parfois des enclaves de roches métasédimentaires ou mafiques, ils représentent la famille des granites de type S (Chappel et White, 1974; Didier, 1973; Pitcher, 1978) ou diatexites de Mehnert (1968).

Les termes "alcalins et hyperalcalins" longtemps utilisés (Gérards et Ledent, 1970; Pétricec, 1979; Baudin, 1979) pour la classification magmato-tectonique de ces granites ne sont pas adéquats et ceci pour les raisons suivantes:

a) L'analyse pétrographique ne révèle nulle part la présence des amphiboles sodiques (riebeckite ou arfvedsonite) et des pyroxènes sodiques (aegyrine ou augite aegyrinique), qui sont des minéraux caractéristiques d'un granite peralcalin.

b) L'analyse chimique montre que toutes les roches granitiques analysées tombent dans un domaine subalcalin (figs. 19 a et 19 b).

Ces roches sont plutôt hyperalumineuses, parce que:

a) Les minéraux symptomatiques de ce genre de roches

tels que l'oligoclase, la biotite, la muscovite, les grenats et souvent la tourmaline ont été observés en lames minces (figs 10 et 11).

b) La présence du corindon normatif (tableau 5.3 en annexe) ainsi que le rapport $(Al_2O_3 / Na_2O + K_2O + CaO)$ élevé (supérieur à 2) (tableau 5.1 en annexe) sont des caractéristiques fondamentales des roches hyperalumineuses.

L'hétérogénéité des granites burundiens dans leurs proportions minérales, dans leur degré de déformation et de recristallisation les répartit en groupes magmato-tectoniques bien distincts les uns des autres. Ils varient de pré-cinématiques (leucogranite à texture protomylonitique G_1), de syn-cinématiques à tardi-cinématiques (granite à biotite G_2 , granite à 2 micas G_3), et de tardi-cinématiques à post-cinématiques (granite hololeucocrate G_4).

Cette répartition est très bien confirmée par les analyses chimiques, principalement au niveau des éléments en traces (fig. 20) et par la spectrométrie (fig. 22).

La même constatation se fait dans différents types de gneiss du socle. L'analyse modale (fig. 10), l'analyse chimique (figs 16 a, 21 et 21 b) démontrent que les gneiss des trois régions constituent des entités chimiquement différentes.

La radiométrie (fig. 22) isole les gneiss granitiques des granites burundiens moins riches en thorium.

Les faciès reconnus dans cette étude sont caractéristiques des terrains répartis entre l'Archéen supérieur et le Protérozoïque inférieur.

Ils sont comparables aux faciès de Berens et de Sachigo décrits par Ermanovics et al. (1979) dans la province du Supérieur au Manitoba (Canada).

Ces sous-provinces dont la grande différence réside dans des proportions des roches granitiques (plus abondantes dans la sous-province de Berens que dans celle de Sachigo) présentent des similarités avec les roches granitiques du Rwanda. Les principales sont:

1. La suite des roches représente des roches plutoniques du Kénoréen supérieur (environ 2 500 m.a.) dans des roches supracrustales généralement caractérisées par une succession de roches volcanogéniques et un groupe supérieur de roches sédimentaires.

2. Le gneiss migmatitique est caractérisé par des roches tonalitiques ou trondhjémiques altérées et généralement par une injection lit par lit de roche granitique massive de

composition moyenne granodioritique.

3. Les enclaves de matériel amphibolitique sont localement abondantes mais les inclusions métasédimentaires sont rares.

4. La surface actuelle de l'érosion expose probablement la mésozone et le métamorphisme de basse pression a porté les roches supracrustales à un faciès amphibolite.

5. La mise en place des plutons est considérée comme syncinématique primaire (diapirique) à syncinématique tardive (Parks et Ermanovics, cités dans Barker, 1979).

Les roches plutoniques apparaissent sous forme de massifs circonscrits. On distingue deux suites:

a) La plus vieille consiste en des gneiss oeillés foliés, qui comprennent des tonalites, trondhjémites, granodiorites ainsi que des lentilles amphibolitiques. Une partie de ces roches peut représenter le socle pour les roches supracrustales.

b) La deuxième suite comprend des roches massives à légèrement foliées, de composition variant de diorite à granite.

Des migmatites et agmatites foliées constituent des roches de transition entre les zones supracrustales et les roches

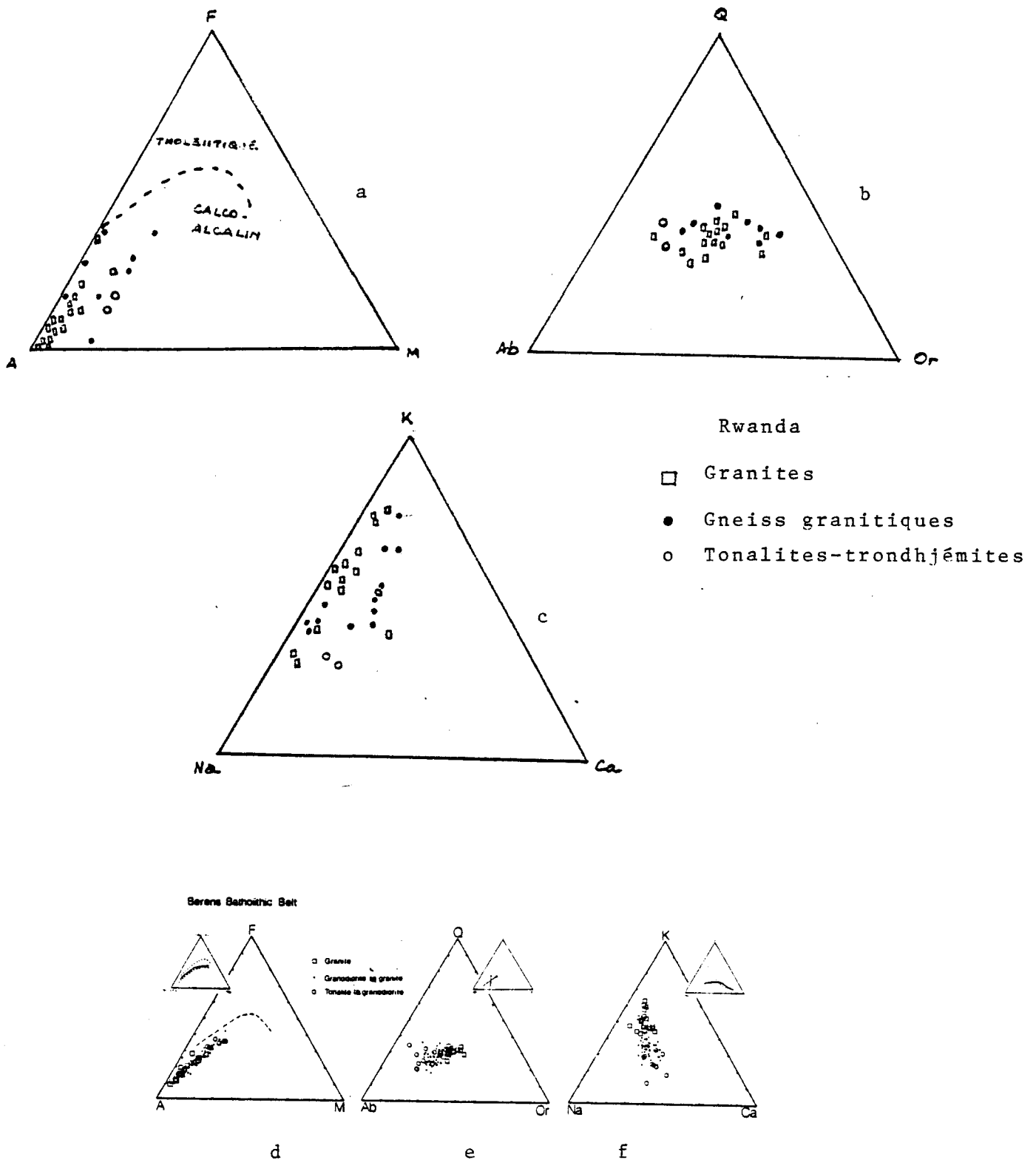


Fig. 23 Diagrammes AFM, Q-Ab-Or, KNaCa comparatifs des roches plutoniques du Rwanda et des roches batholitiques de la sous-province de Berens (Ermanovics et al., 1979) Manitoba (Canada)

batholitiques de la zone mobile.

Les roches plutoniques étalent une gamme complète de recristallisation, allant de granitoides non métamorphisés à des orthogneiss complètement métamorphisés.

Les diagrammes AFM, Ca-K-Na, Q-Or-Ab (figs 23 a, b, c, d, e, f) montrent la ressemblance entre les suites plutoniques de la sous-province de Berens dans la Province du Supérieur et les suites des roches plutoniques dans les régions de Cyimbili, Mutara et Mara, au Rwanda.

En nous basant sur les travaux effectués par Crevier (1981), Ermanovics, McRitchie et Houston (1979) dans la Province du Supérieur au Manitoba (Canada) et sur les études réalisées par Sanschagrin et al. (1983 a), Sanschagrin et Mercier (1983), Gérards et Ledent (1970), Pétricec (1979) et Baudin (1979) sur les granitoides du Rwanda, nous proposons un modèle sur l'évolution des granitoides et des laves du Rwanda.

Le modèle débute par un plutonisme tonalitique d'origine inconnue qui serait à l'origine des suites tonalitiques-trondhjémittiques de la région du Mutara. Il contient des enclaves mafiques I.

L'intrusion cause une injection de plusieurs générations de petites dykes et veines pegmatitiques et aplitiques de composition tonalitique.

Le socle subit une érosion et il s'ensuit une formation de sédiments de composition principalement tonalitique. C'est parmi ces anciens sédiments que nous retrouvons les quartzites recristallisées de la région de Mara.

Ensuite ces roches sont fortement affectées par l'orogénèse anté-burundienne. Sous l'action de la chaleur et de la pression, le socle devient partiellement plastique et mobile et se met en place sous forme de dômes (mantled gneiss dome de Mehnert, 1968; Haller, 1971). Cette orogénèse s'accompagne d'injections de dykes mafiques II.

Le nouveau socle formé est recouvert par des sédiments burundiens du Protérozoïque supérieur. Socle et sédiments sont perturbés par l'orogénèse burundienne subséquente.

Des injections granitiques G_1 , G_2 , G_3 et G_4 , des injections pegmatitiques et aplitiques ainsi que des dykes mafiques III se mettent en place au cours de cette orogénèse. Celle-ci favorise le courant de métamorphisme régional, déforme le socle et la couverture impliquant des textures de déformation (mortier, protomylonitique et flaser) observées, des plissements dans le

socle et la couverture, du boudinage dans les veines, des foliations dans les roches cristallines, etc... C'est probablement à cette époque qu'apparaissent les minéralisations d'étain et de tungstène du Rwanda.

L'émergence de la crête Zaïre-Nil, suivie du Rift Africain vinrent bouleverser le système, causant une fracturation intense et la mise en place des dykes mafiques IV.

Comme conséquence du Rift, le volcanisme entre en activité au Cénozoïque au sud du Rwanda (Bugarama) par l'émission de laves basaltiques et se poursuit au Quaternaire par des coulées alcalines (Chaîne des Birunga) au nord du Rwanda.

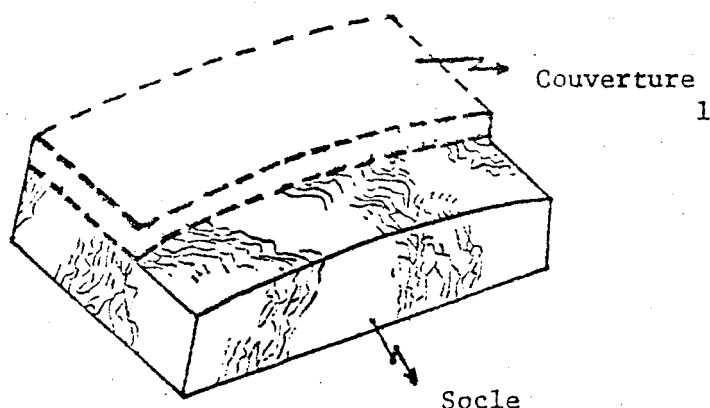
La nature des volcanites signalées par Sanschagrin (communication personnelle) et Schoonderbeek (communication personnelle) n'est pas encore connue et nous ne tenterons pas de l'insérer dans ce modèle.

Le tableau 11 résume la séquence des événements telle que proposée pour l'évolution des granitoïdes et des laves du Rwanda et une représentation schématique du modèle est suggérée à la figure 24.

Tableau 11 MODELE PROPOSE POUR L'EVOLUTION DES PLUTONITES
ET LAVES DU RWANDA

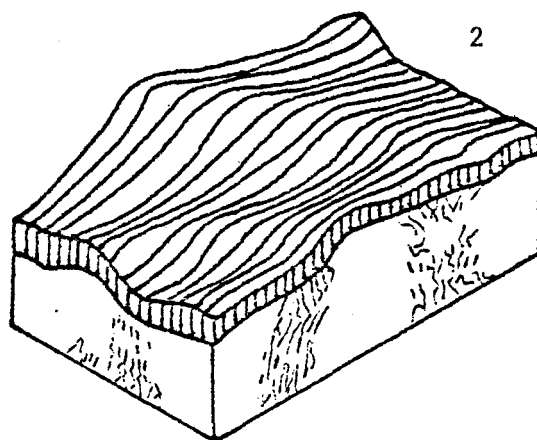
Ere	Evénements	Informations
Céno. (Paléoc.) Cénozoïque Début cén. Mésozoïque	Volcanisme récent Birunga Volcanisme cénozoïque Rift Africain-Dykes mafiques IV Emergence de la crête Zaïre-Nil	Laves alcalines Laves basaltiques Fracturation intense
PROTEROZOÏQUE	Métamorphisme régional Dykes mafiques III Injection granitique G ₁ , G ₂ , G ₃ , G ₄ et pegmatitique	Déformation du socle et de la couverture: plissements, foliations, textures de déformation, boudinage etc
	Discordance angulaire observée	
	Remobilisation	
	Formation des dômes gneissiques	
	Gneiss granitiques oeillés	
	Dykes mafiques II	
?	Sédiments anté-burundiens	Les sédiments sont soit archéens, soit protérozoïques
ARCHEEN	Discordance possible?	
	Remobilisation	
	Gneiss tonalitiques trondhjémiques	
	Diverses générations de veines et dykes de pegmatites et aplites tonalitiques	
	Plutonisme tonalitique	Origine inconnue Enclaves d'amphibolite I Enclaves mafiques inconnues

PLUTONISME TONALITIQUE



- Enclaves d'amphibolites (Mafique 1)
- Diverses générations de dykes et veines de pegmatites et aplites tonalitiques
- Gneiss tonalitiques et trondhjémiques
- Première phase de migmatisation?

Erosion du socle, formation des sédiments tonalitiques

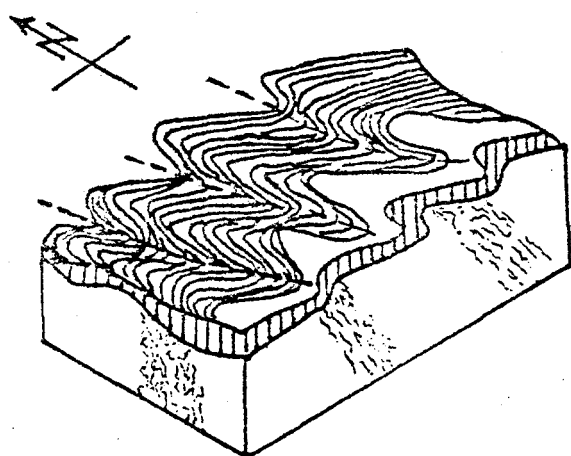


OROGENESE ANTE-BURUNDIENNE

- Remobilisation du socle
- Plutonisme alcalin (régénérescence du magma)
- Formation de dômes de gneiss granitiques (gneiss ocellés)
- 2e phase de migmatisation
- Dykes mafiques II

Séquence sédimentaire burundienne

- roches essentiellement pélitiques avec niveaux quartzitiques



OROGENESE BURUNDIENNE

- Plis déversés N-W dans la couverture
- Foliation dans le socle
- Textures de déformation: mortier, protomylonitique et flaser
- Intrusion granitique G_1, G_2, G_3, G_4
- Métamorphisme régional
- Epoque probable de la minéralisation d'étain et de tungstène

Fig. 24 Représentation schématique du modèle proposé

4 RIFT AFRICAIN ET VOLCANISME ASSOCIE

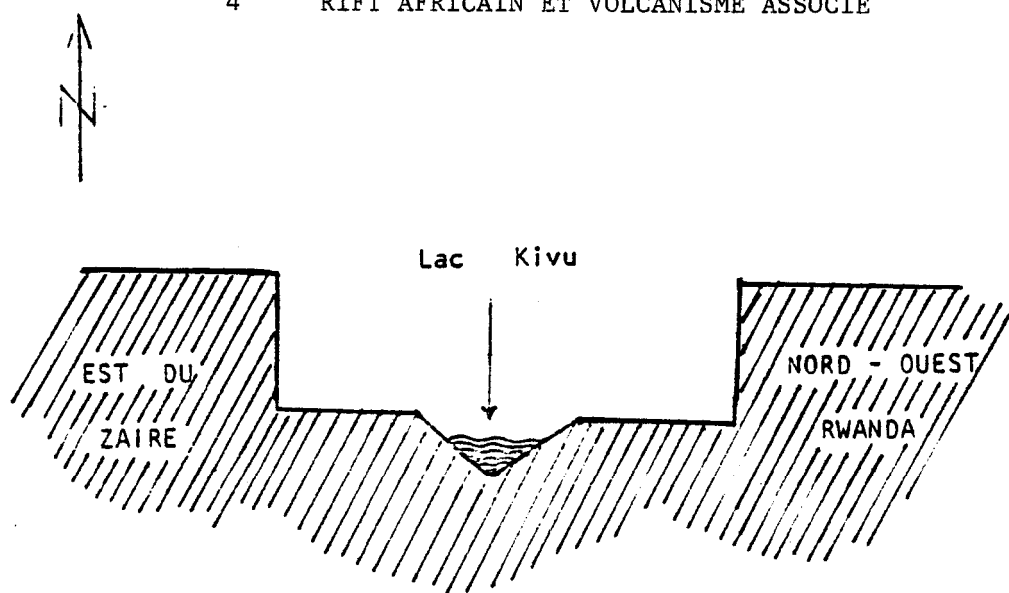


Fig. 24 (suite)

CHAPITRE VIII

CONCLUSIONS

Les travaux de terrain et de laboratoire prouvent qu'il existe un socle gneissique ancien (Protérozoïque ou Archéen) sur lequel repose en discordance une couverture sédimentaire burundienne. Le socle anté-burundien est représenté par les gneiss granitiques oeillés, tandis que la couverture est représentée par un conglomérat de base de la séquence sédimentaire burundienne.

Dans la région de Cyimbili, la discordance angulaire observée est de 40° .

Dans la région du Mutara, les résultats géochimiques révèlent une suite trondhjémitique dans certains granitoides du socle. Cette suite les rattache aux terrains de l'Archéen.

Lors d'une excursion géologique au Burundi dans le cadre du Colloque International sur la géologie de la Ceinture Kibarienne en Afrique organisé par l'UNESCO (octobre 1983), nous avons observé un gneiss granitique semblable au faciès de Cyim-

bili. Ce gneiss a été daté à 2 600 m.a. (Klerkx, Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, communication personnelle).

La présence des quartzites recristallisées dans le socle anté-burundien de la région de Mara suppose l'existence préalable de métasédiments anté-burundiens remobilisés en même temps que le socle anté-burundien. Ceci signifierait qu'avant la remobilisation, il y avait probablement une discordance angulaire entre ces métasédiments et un socle plus ancien, possiblement d'âge Limpopo-Libéria (2 700 m.a.). L'orogénèse pré-Burundienne comprendrait donc deux orogénèses: l'orogénèse Ruzizienne (2 000 m.a.) et l'orogénèse pré-Ruzizienne (Limpopo-Liberia, 2 700 m.a.).

Les granitoides du Rwanda sont caractéristiques des roches à cheval sur le Protérozoïque inférieur et l'Archéen.

L'analyse géochimique et pétrographique des granitoides du Rwanda montre que ces roches sont hyperalumineuses et que les granites se répartissent en groupes magmato-tectoniques distincts les uns des autres. Les types identifiés sont:

- a) les granites pré ou syncinématiques G_1 (leucogranites très déformés) et G_2 (granites à biotite) d'âge approximatif 1300 à 1650 m.a.).
- b) les granites syn à tardi-cinématiques G_3 (granites à deux micas) et G_4 (granites hololeucocrates) d'âge approximatif 550 à 950 m.a.

La radiométrie (spectrométrie du rayonnement gamma) montre que les roches d'affinité granitique de la région de Cyimbili ne présentent pas les mêmes réponses radioactives. Celles-ci varient en fonction des groupes magmato-tectoniques, renforçant ainsi la classification géochimique et pétrographique. Les pegmatites et aplites de composition minéralogique et de textures très variables accompagnent ces granites et se sont mises en place tout au long de l'orogénèse burundienne.

En résumé, deux orogénèses principales ont affecté les roches du Rwanda. Ce sont les orogénèses anté-burundiennes comprenant probablement le Ruzizien et une orogénèse plus vieille (Limpopo-Libéria?) et burundienne.

Des événements tectoniques tardifs sont représentés par le soulèvement de la crête Zaïre-Nil, le Rift Africain et le volcanisme qui lui est associé.

CHAPITRE IX

RECOMMANDATIONS

A la fin de cette étude préliminaire, nous proposons une étude beaucoup plus rationnelle et élargie à tous les granitoides du Rwanda, en portant une attention particulière aux complexes granito-gneissiques de Gitarama et de Kitabi, où les similitudes géologiques et géophysiques semblent les rapprocher des granitoïdes des régions qui font l'objet de la présente étude (Sanschagrin et Mercier, 1983).

Le massif granitique de Bugesera semble présenter des caractères géophysiques différents des autres massifs granitiques du Rwanda (Mercier, communication personnelle). Il serait donc très intéressant de voir si cette différence n'est pas liée à un phénomène géologique non précisé.

Nous proposons que, parallèlement à la cartographie géologique régionale des secteurs miniers, soit entreprise une étude des relations tectoniques entre les zones minéralisées et les roches encaissantes en vue d'identifier l'origine

de la minéralisation.

Nous croyons fermement que l'établissement d'une carte métamorphique à l'échelle nationale serait d'une grande nécessité parce que d'une part, les minéraux métamorphiques se forment dans des conditions précises de pression, de température et de profondeur, ce qui peut nous renseigner sur le niveau structural de recherche et d'autre part, la circulation des fluides minéralisateurs est plus aisée dans des terrains à faible grade de métamorphisme par rapport aux terrains profonds et hautement métamorphisés. Ceci peut donc constituer un très bon guide pour l'exploration minière.

Enfin, et pour que l'étude tectonostratigraphique soit complète, il serait souhaitable que les roches de cette région soient datées par les méthodes radio-isotopiques.

REFERENCES

- Antun, P., 1964, Quelques considérations sur la géologie des terrains anciens de la crête Congo-Nil au Rwanda et au Burundi, Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique, rapport annuel 1964, sect. géol., mines et paléont.
- Agassiz, J.P., 1954, Géologie et pegmatites stannifères de la région Mumba-Numbi, Kivu (Congo-Belge), comité nat. Kivu (N.S.) 7
- Atherton, M.P., and J. Tarency (editors), 1979, Origin of granite batholiths, geochemical evidence, Shiva Publishing Ltd, Liverpool, Birmingham, 148 p.
- Bard, J.P., 1980, Microtextures des roches magmatiques et métamorphiques, Masson Ed., Paris, 192 p.
- Barker, F., (editor), Trondhjémites, dacites and related rocks 6, Developments in petrology, Elsevier Scientific Publishing Company, 659 p.
- Barker, F., and Arth, J.G., 1976, Generations of trondhjémitic-tonalitic liquids and Archean bimodal trondhjémitic-basalt suites Geology, 4, pp. 596-600

- Baudin, B., 1979, Minéralisation et inventaire des minéraux du Rwanda, Tome I, décembre 1979, Etudes rwandaises, v. XIII, no spéc. UNR, Butare, 177 p.
- Brown, G.C., and Fyfe, W.S., 1970, The production of granitic melts during ultrametamorphism, Contrib. Mineral. Petrol., 28, pp. 310-318
- Bureau de Recherches géologiques et minières (B.R.G.M.), Carte des gîtes minéraux du Rwanda, Ministère de l'industrie, mines et artisanat, Kigali, 1981
- Cahen, L., 1954, Géologie du Congo Belge, H. Vaillant-Carmanne, Liège, Belgique
- Cahen, L., 1964, Etat de la Géochronologie du Rwanda, Bull. Serv. Géol. du Rwanda, Ruhengeri 1964, no 1, pp. 35-42
- Cahen, L., 1970, Igneous activity and mineralization episodes in the evolution of the Kibaride and Katangide orogenic belts of Central Africa. In T.N. Clifford and I.G. Gass (editors), African magmatism and tectonics, Oliver and Boyd, Edinburgh, pp. 97-117
- Cahen, L., et Lepersonne, J., 1967, The Precambrian of the Congo, Rwanda and Burundi, in Rankama, K. (editor), The Precambrian, Interscience Publishers, vol. 3, pp. 143-290
- Chappel, B.W., 1978, Granitoids from the Moonbi district, New England batholith, Eastern Australia, J. Geol. Society

- Austr., 25, pp. 267-283
- Chappel, B.W., and White, A.J.R., 1974, Two contrasting granite types, *Pacific Geology*, 8, pp. 173-174
- Clifford, T.N., and I.G. Gass (editors), 1970, *African magmatism and tectonics*, Oliver and Boyd, Edinburgh, 1970, 461 p.
- Condie, K.C., 1978, Geochemistry of Proterozoic granitic plutons from New Mexico, U.S.A., *Chem. Geol.*, 21, pp. 131-149
- Corminboeuf, P., 1969, Note préliminaire sur le granite dans le nord-ouest de la préfecture de Gisenyi, *Bull. Serv. Géol. du Rwanda, Ruhengeri* 1969, no 5, pp. 13-17
- Crevier, M., 1981, *Pétrographie et géochimie des granitoides du socle du bassin Otish et estimation de leur préconcentration en uranium. Mémoire de maîtrise en sciences appliquées (Géologie), Université du Québec à Chicoutimi*, 109 p.
- De Villiers, J. and Simpson, E.S.W., 1974, Late Precambrian tectonic patterns in South West Africa. In: A. Kröner (editor), *contributions to the Precambrian geology of southern Africa*. Precambrian Res. Unit, Univ. Cape Town, *Bull.* 15, pp. 142-152
- Didier, J., 1973, *Granites and their enclaves - the bearing of enclaves on the origin of granites*, Elsevier Scientific

Publishing Company, 393 p.

Dodson, M.H., Cavanagh, B.J., Thatcher, E.C. and Aftalion, M., 1965, Age limits for the Ubendian metamorphic episode in northern Malawi, *Geol. Mag.*, 112, pp. 403-410

Ermanovics, W.D., McRitchie and Houston, W.N., 1979, Petrochemistry and tectonic setting of plutonic rocks of the Superior Province in Manitoba, in F. Barker (editor), *Trondhjemites, dacites and related rocks*, 6, *Developments in petrology*, Elsevier Scientific Publishing Company, pp. 323-358

Gerards, J., 1969, A propos des granites et gneiss anté-burundiens de Nyamirama et Rutare rwa Munanira (Rwanda), *Bull. Serv. Géol. du Rwanda, Ruhengeri*, No. 5, pp. 22-34

Gerards, J., 1973, L'anticlinal de Mugombwa (Rwanda): un exemple de discordance majeure entre le Burundien et son socle, *Bull. Serv. Géol. du Rwanda, Ruhengeri*, No. 7, pp. 5-11

Gerards, J. et Ledent, D., 1970, Grands traits de la géologie du Rwanda, différents types de roches granitiques et premières données sur les âges de ces roches, *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 93, pp. 477-489

Gerards, J. et Lepersonne, D., 1964, La stratigraphie du Burundien dans le nord-est du Rwanda et les régions avoisinantes, *Bull. Serv. Géol. du Rwanda, Ruhengeri*, No. 1,

pp. 13-33

Ghuma, M.A. and Rogers, J.J.W., 1978, Geology, geochemistry and tectonic setting of the Ben Gnhema batholith, Tibesti massif, southern Lybia, Bull. Geol. Soc. Am., 89, pp. 1351-1358

Glikson, A.Y. and Sheraton, J.W., 1972, Early Precambrian trondhjemitic suites in western Australia and northwestern Scotland, and the geochemical evolution of shields, Earth Planet. Sci. Lett., 17, pp. 227-242

Haller, J., 1971, Geology of East Greenland Caledonides, Interscience Publishers, New York

Hine, R., Williams, I.S., Chappel, B.W. and White, A.J.R., 1978, Contrasts between I and S type granitoids of the Kosciusko batholith, J. Geol. Soc. Austr., 25, pp. 219-234

Hodge, D.S., 1974, Thermal models for the origin of granitic batholiths, Nature, London, 251, pp. 297-299

Kanzira, H., 1983, Etude du complexe granito-gneissique du feuillet Murunda, nord-ouest du Rwanda, projet de prospection géophysique, coopération Canado-Rwandaise, A.C.D.I., rapport préliminaire, publication no 6, 58 p.

Kanzira, H., Munyagatanga, B. et Akimanizanye, E., 1983, Nouvelle stratégie d'exploration minière au Rwanda, Ministère de l'industrie, mines et artisanat du Rwanda

- King, B.C., 1970, Vulcanicity and rift tectonics in East-Africa,
In: T.N. Clifford and I.G. Gass (editors) African magmatism and tectonics, Oliver and Boyd, Edinburgh, pp. 263-283
- Klob, 1977, Carte géologique du nord-ouest du Rwanda, Ministère de l'industrie, mines et artisanat du Rwanda
- Kroner, A., 1976, The Precambrian geotectonic evolution of Africa: plate accretion versus plate destruction, Precambrian Research, 4, pp. 163-213
- Kroner, A., 1977, Precambrian mobile belt of southern and eastern Africa: Ancient sutures or sites of ensialic mobility? A case for crustal evolution towards plate tectonics. Precambrian Research, v. 40, pp. 101-135
- Lhoest, A., 1961, A propos des couches de Miyove (Rwanda), assise supérieure de l'Urindi, Annales de la Société Géologique de Belgique, T. LXXXIV, pp. 617-628
- McDonald, G.A. and Katsura, T., 1964, Chemical composition of Hawaiian lavas, Journ. Petrol., vol. 5, pp. 82-133
- Mehnert, K.R., 1968, Migmatites and the origin of granitic rocks, Elsevier Scientific Publishing Company, 303 p.
- Mercier, A., 1982, Programme spectrogamma sur HP-97, projet de prospection géophysique au Rwanda, Coopération Canado-Rwandaise, A.C.D.I.

Miyashiro, A., 1961, Evolution of metamorphic belts, Journ.
of Petrology, vol. 2, part 3, pp. 277-311

Monteyne, G., Poulaert, Delwiche, R. et Cahen, L., 1962, Ages
des minéralisations pegmatitiques et filoniennes du
Rwanda et du Burundi, Bull. Soc. Belge Géol., 61, 2,
pp. 210-222

Nockolds, S.R. and Allen, R., 1953, The geochemistry of some
igneous rocks series, Geochem. Cosmochimica Acta, 4, pp.
105-142

O'Connor, J.T., 1965, A classification of quartz-rich igneous
rocks based on feldspar ratios, U.S. Geol. Surv. Prof.
paper 525B, pp. 79-84

Peeters, L., 1956, Contribution à la géologie des terrains an-
ciens du Rwanda-Urundi et du Kivu, Ann. Musée Royal
Congo Belge, Serv. in 8^o, Sc. Géol., vol. 16

Petricec, V., 1979, La géologie du Rwanda, in Atlas du Rwanda
Editions de l'Université Nationale du Rwanda, B.P. 117
Butare

Pitcher, W.S., 1978, The anatomy of a batholith, J. Geol. Soc.
London, 135, pp. 157-182

Phillips, 1959, Explanation of the geology of sheet 87 (Rakai),
Geol. Surv. Uganda, Rept. 2

- Quennell, A.M. and Haldemann, E.G., 1960, On the subdivision of the Precambrian, Intern. Geol. Congr., 21st, Copenhagen 1960, Rept. Session Norden, IX, 170
- Ramsay, J.G., 1967, Folding and fracturing of rocks, McGraw Hill 568 p.
- Ray, G.E., 1974, The structural and metamorphic geology of northern Malawi, J. Geol. Soc. London, 130, pp. 427-440
- Reece, 1960, The stratigraphy, structure and metamorphism of the Precambrian rocks of north-west Ankole, Uganda, Quart. J. Geol. Soc. (London), 115, pp. 389-416
- Richard, V.D., 1960, Bandes gneisses, Journal of Petrology, vol. 1, part 1, pp. 99-120
- Ringwood, A.E., 1977, Petrogenesis in island arc systems, Am. Geophys. Union, Maurice Ewing series, 1, pp. 311-324
- Safiannikoff, A., 1950, Les systèmes de l'Urindi et de la Ruzizi au Kivu et les intrusions granitiques, Ann. Soc. de Belgique, Mémoires, T. LXXIII
- Sanschagrin, Y., 1983, Notes concernant la géologie et la métallogénie du Rwanda, projet de prospection géophysique, Coopération Canado-Rwandaise (A.C.D.I.), 60 p.
- Sanschagrin, Y. et Mercier, A., 1983, Proposition d'un modèle tectono-stratigraphique pour les massifs granito-gneissiques

du Rwanda-synthèse des études géologiques et géophysiques comparatives des massifs et stocks granito-gneissiques de Mara, Cyimbili, Murunda, Kinunu, Bisesero, Gishwati et Mutara - Projet de prospection géophysique Coopération Canado-Rwandaise (A.C.D.I.), 100 p.

Sanschagrín, Y., Kanzira, H., et Akimanizanye, E., 1983, Etude des roches d'affinité granitique du feuillet Murunda, nord-ouest du Rwanda, projet de prospection géophysique, Coopération Canado-Rwandaise (A.C.D.I.), rapport d'étape no 4, 69 p.

Sanschagrín, Y., Mercier, A. et Munyagatanga, B., 1983, Etudes des anomalies radiométriques du nord-ouest du Rwanda, projet de prospection géophysique, Coopération Canado-Rwandaise (A.C.D.I.), 88 p.

Sighinolfi, G.P., 1969, K/Rb ratio in high grade metamorphism: a confirmation of the hypothesis of a continual crustal evolution, Contr. Mineral. Petrol., 21, pp. 346-356

Shaw, D.M., 1970, Trace element fractionation during anatexis, Geochem. Cosmochim. Acta, 34, pp. 237-242

Slatkine, A., 1968, Aspects structuraux de la minéralisation stannifère du Rwanda, Bull. Serv. Géol. du Rwanda, Ruhengeri, no 4, pp. 47-92

Streckeisen, D.S., 1974, To each plutonic rock, its proper

- name, Earth Science Review, 12, pp. 1-33
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A.,
1981, Applied geophysics, Cambridge University Press,
860 p.
- Thoreau, J., 1950, Pegmatites et minéralisations associées de
l'est du Congo: quelques observations, Annales Soc.
Geol. de Belgique, Mémoires, T. LXXIII
- Tuttle, O.F. and Bowen, N.L., 1958, Origin of granite in the
light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ -
 KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O , Geological Society of America,
New York, 1958, 153 p.
- Varlamoff, N., 1977, Types de gisements de cassitérite du Rwan-
da et du Maniéma, 50 An. C.S.K., Congr. Scient., Elisa-
bethville, 1950, C.R. vol. 11, pp. 409-431
- Waleffe et Gerards, 1965, La série inférieure du Burundien au
Rwanda et au Burundi, rapport annuel 1965, sect. géol.,
mines et paléont., Musée Royal de l'Afrique Centrale,
Tervuren, Belgique
- White, A.J.R., and Chappel, B.W., 1977, Ultrametamorphism and
granitoid genesis, Tectonophysics, 43, pp. 7-22
- Winkler, H., 1974, Petrogenesis of metamorphic rocks, 3rd
edition, Springer-Verlag, 320 p.

- Winkler, H., 1976, Petrogenesis of metamorphic rocks, 4th edition, Springer-Verlag, 334 p.
- Winkler, H., 1979, Petrogenesis of metamorphic rocks, 5th edition, Springer-Verlag, 348 p.
- Woussen, G., 1984, Analyse des éléments majeurs des roches par fluorescence-X, Université du Québec à Chicoutimi
- Woussen, G., Dimroth, E., Chown, E.H. et Roy, D.W., 1981, Sequence of geological events in the Saguenay area (Quebec) based on dyke chronology, Grenville Guide Book, Université du Québec à Chicoutimi, 106 p.
- Ziserman, A., Zigirababiri, J., Petricec, V. et Baudin, B., 1983, Données sur la métallogénie du Rwanda, Enseignements tirés de la carte des gîtes minéraux, Chron. Rech. Min., no 471, pp. 31-40

ANNEXES

1. Planches des régions étudiées
2. Analyse des éléments majeurs des roches par fluorescence-X (G. Woussen, 1984)
3. Analyse des éléments par absorption atomique
4. Radiométrie des granitoides du N.W. du Rwanda
5. Tableaux des analyses chimiques:
 - éléments majeurs
 - éléments traces
 - calcul de la norme CIPW
 - diagrammes IFM-IDL et tétraèdre des granites et des roches felsiques
6. Tableau des mesures spectrométriques
7. Stéréogrammes: analyse structurale de la région de Cyimbili
8. Liste des localités

Annexe 1 Planches des régions étudiées

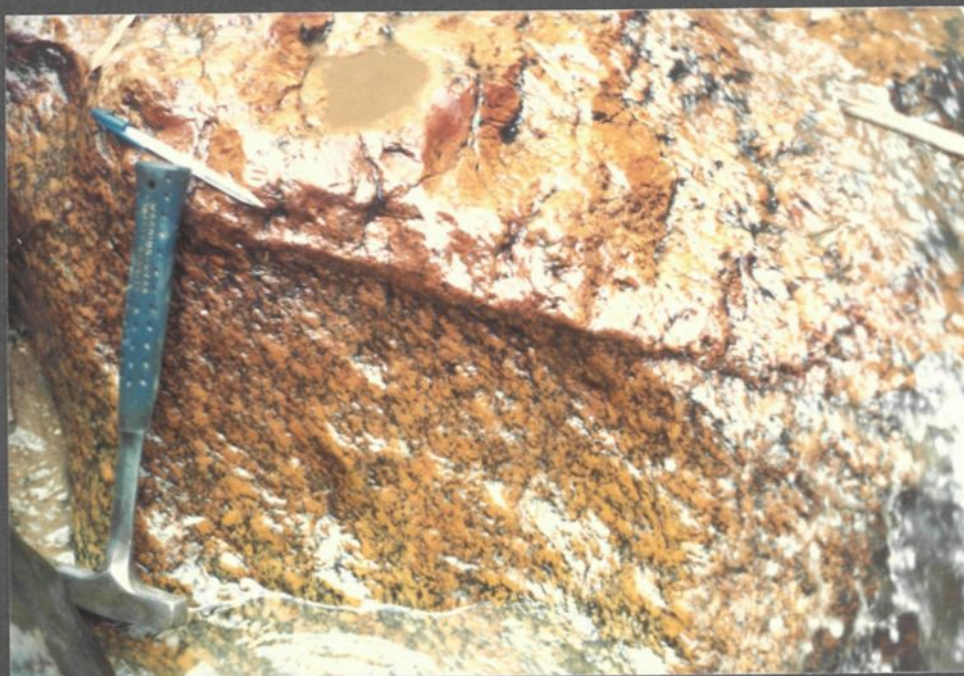
Planche I

Photo 1 Discordance angulaire entre le socle gneissique anté-burundien (gneiss granitique ocellé) et sa couverture burundienne représentée par le conglomérat de base de la séquence sédimentaire.

Région de Cyimbili

Localité

1



1

Planche II

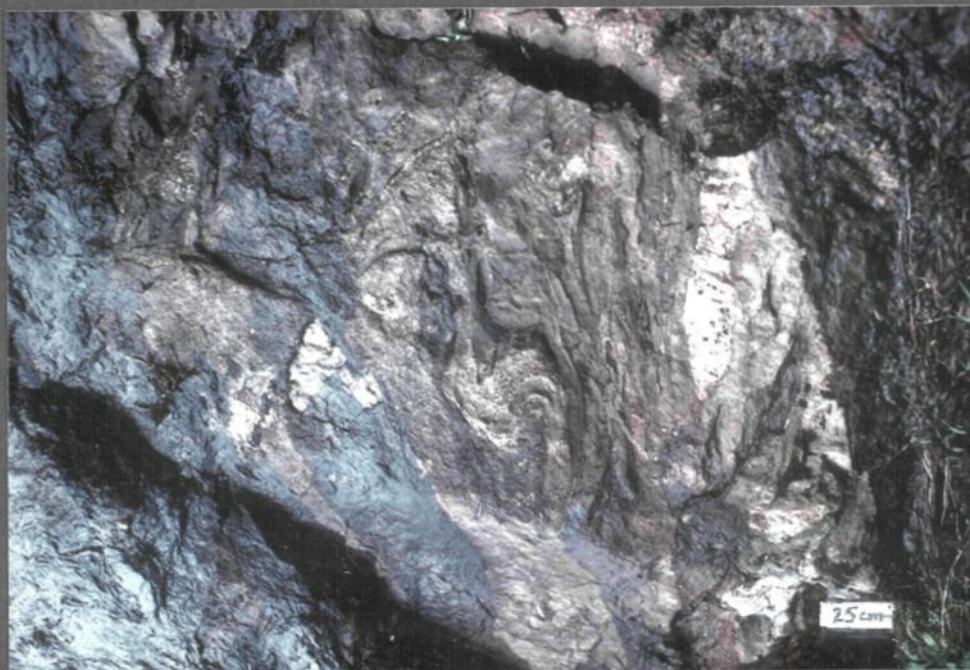
Photo 1a Gneiss granitique ocellé avec enclave
 lenticulaire d'amphibolite
 Région de Cyimbili

1b Gneiss migmatitique de la région de
 Cyimbili

11



1a



1b

Planche II

Photo 1c Gneiss migmatitique de la région de Gishwati

Photo 2 Gneiss ocellé ou "augen gneiss" de la région
de Mara

1c



2



Planche II

Photo 3 Gneiss ocellé ou "augen gneiss" (A 124A)
de la région de Cyimbili

Photo 4 Photo micrographique (LP) du gneiss ophtalmique
(augen gneiss). Les yeux sont constitués prin-
cipalement de feldspaths alcalins (microcline)
lenticulaires, relativement peu déformés (2.5 x)

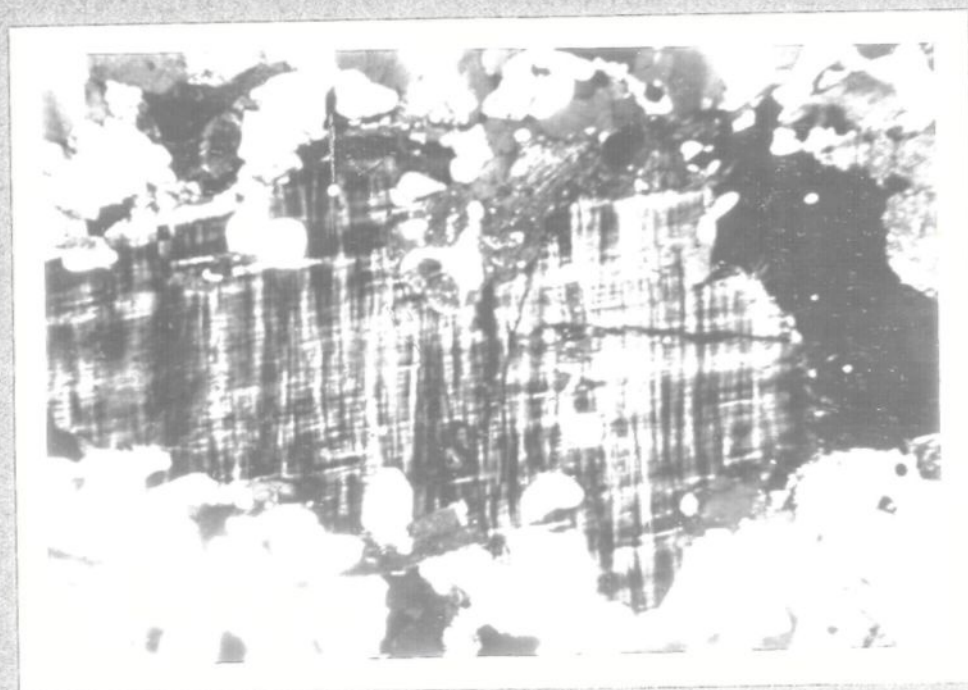
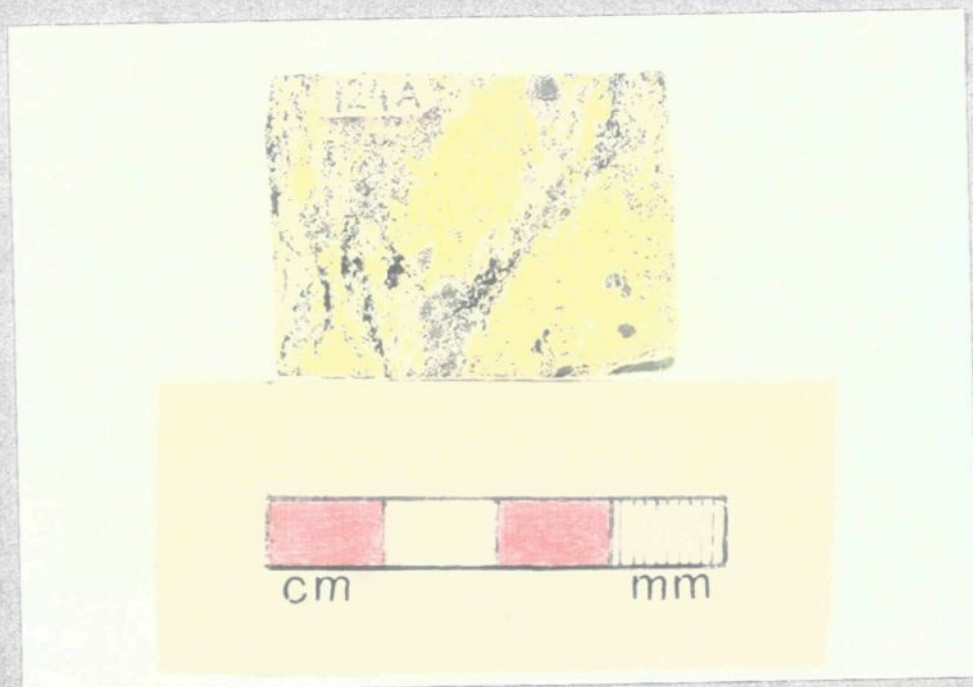


Planche II

- Photo 5 Faciès "flaser" du gneiss granitique
Déformation intense observée à l'échelle régionale, région de Mara (A 4325)
- Photo 6 Photo micrographique (LP) du faciès "flaser". Les cristaux de feldspaths potassiques (microcline souvent perthitique) et de quartz sont très étirés. Le quartz est recristallisé (texture en mosaïque avec de nombreuses jonctions triples) (2.5 x)

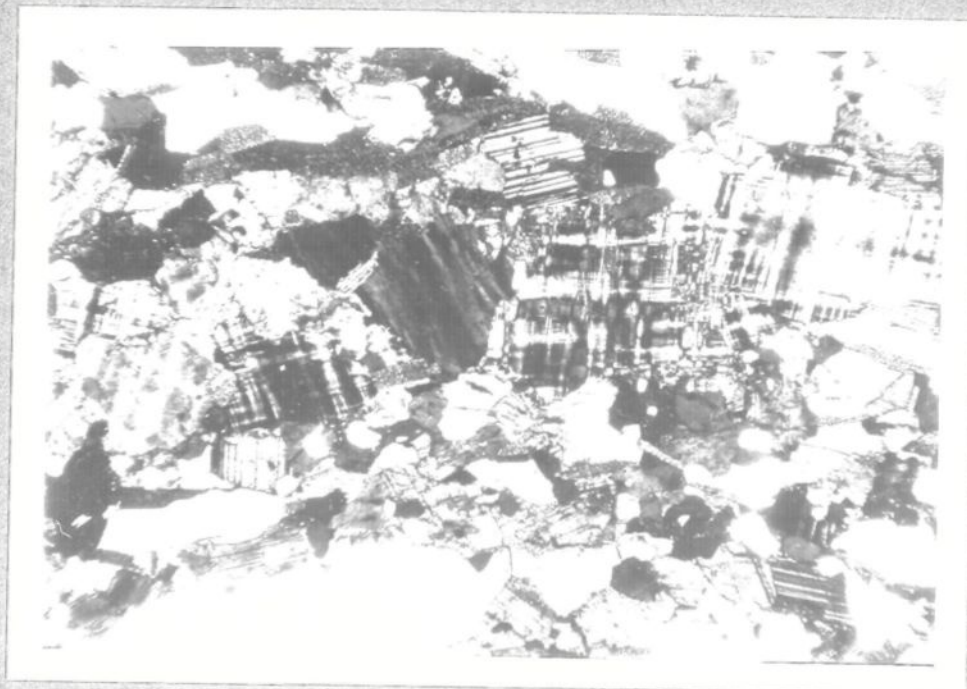


Planche II

- Photo 7 Faciès "protomylonitique" du gneiss granitique
C'est un faciès de cisaillement en milieu ductile
caractérisé par une rotation syncinématique des
cristaux de feldspaths (A 479)
- Photo 8 Photo micrographique (LP) du faciès de cisaillement
La rotation du microclien est caractérisée par des
franges de pression (pressure shadows) asymétriques
constituées de quartz et de micas recristallisés
autour d'un phénocrystal de microcline (2.5 x)

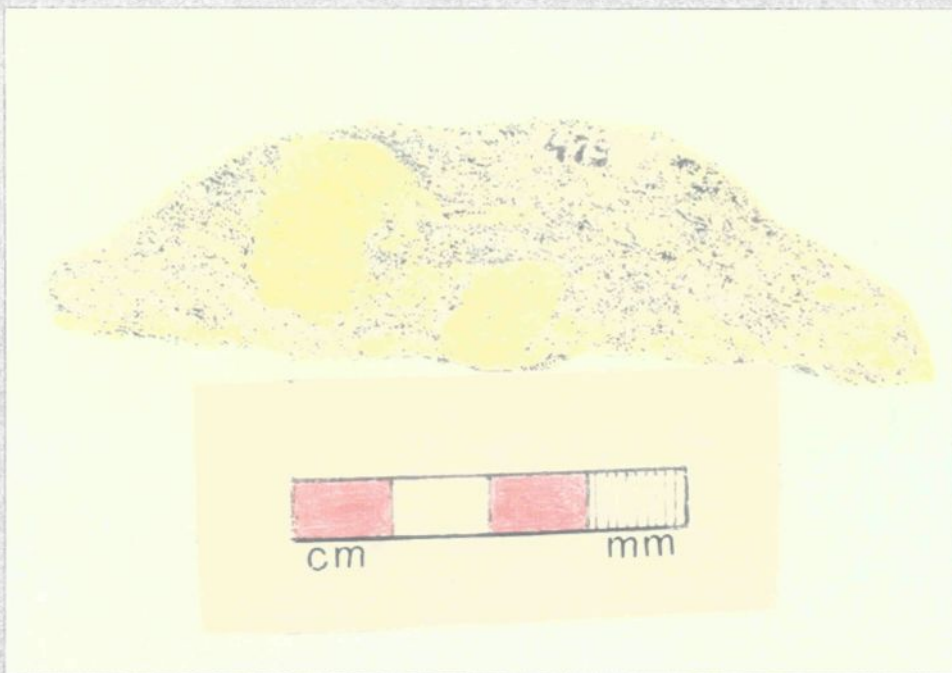


Planche III

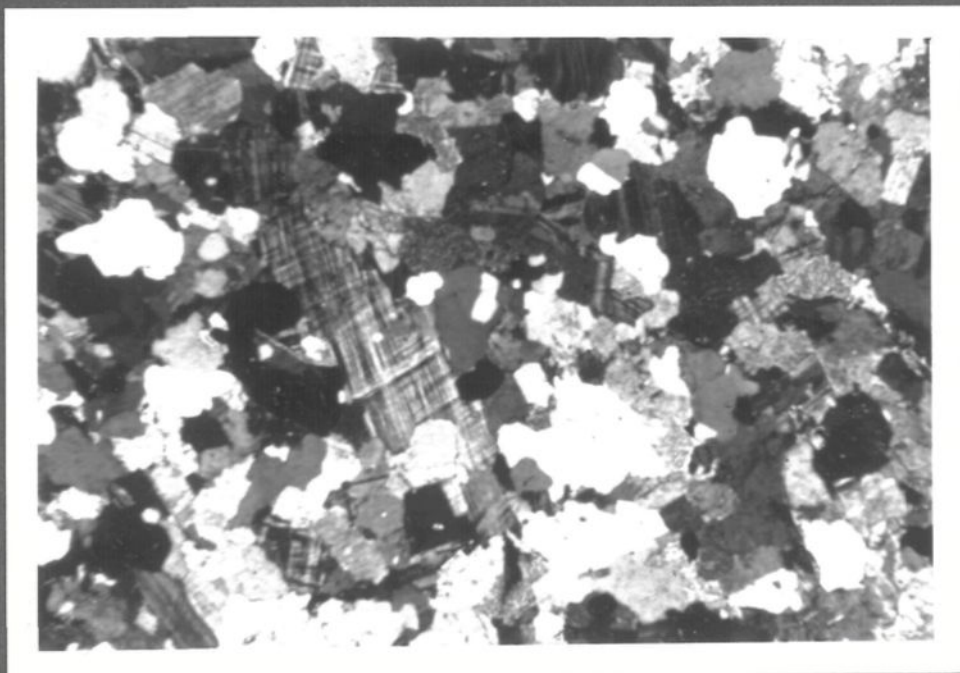
Photo 1 Leucogranite pré ou syn-cinématique très déformé
de la région de Cyimbili (A 78)

Photo 2 Photo micrographique (LP) du leucogranite très
déformé. Noter l'absence totale de biotite, l'ab-
bondance de leucoxène et le quartz en aggrégats
polycristallins presque automorphes, souvent len-
ticulaires et étirés (2.5 x)

III



1



2

Planche III

Photo 3 Granite à biotite. Ce faciès montre des aggrégats gloméroporphyriques de biotite dans le plan de foliation (A 306). Le granite à biotite est pré à syn-cinématique

Photo 4 Photo micrographique (LP) du granite à biotite. La biotite en lamelles de dimension moyenne 1-3 mm, est chloritisée et orientée d'une façon préférentielle le long des cristaux allongés de quartz (2.5 x)

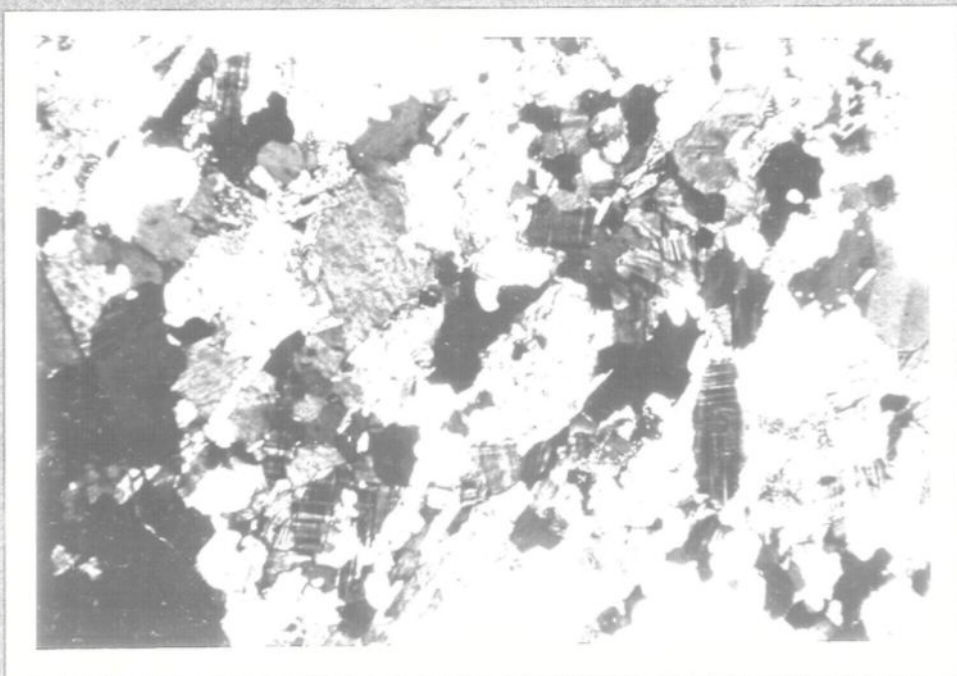
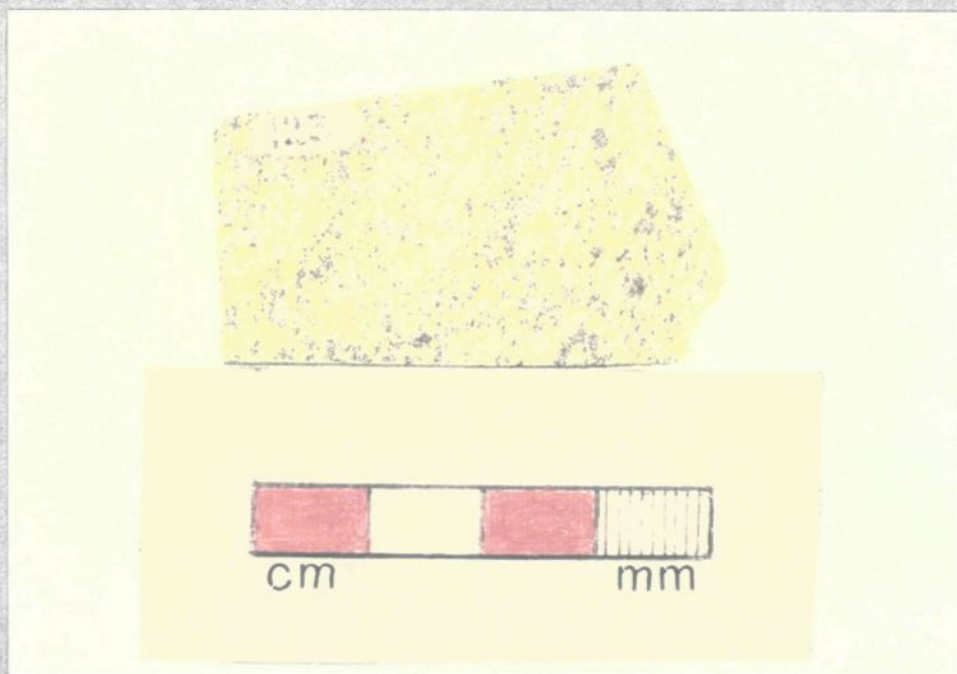
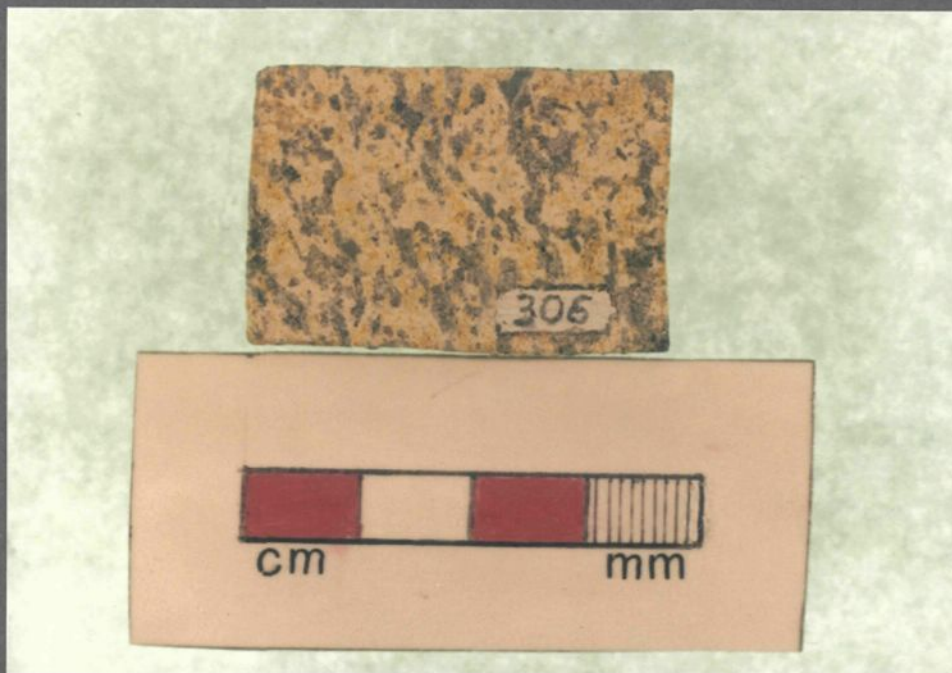


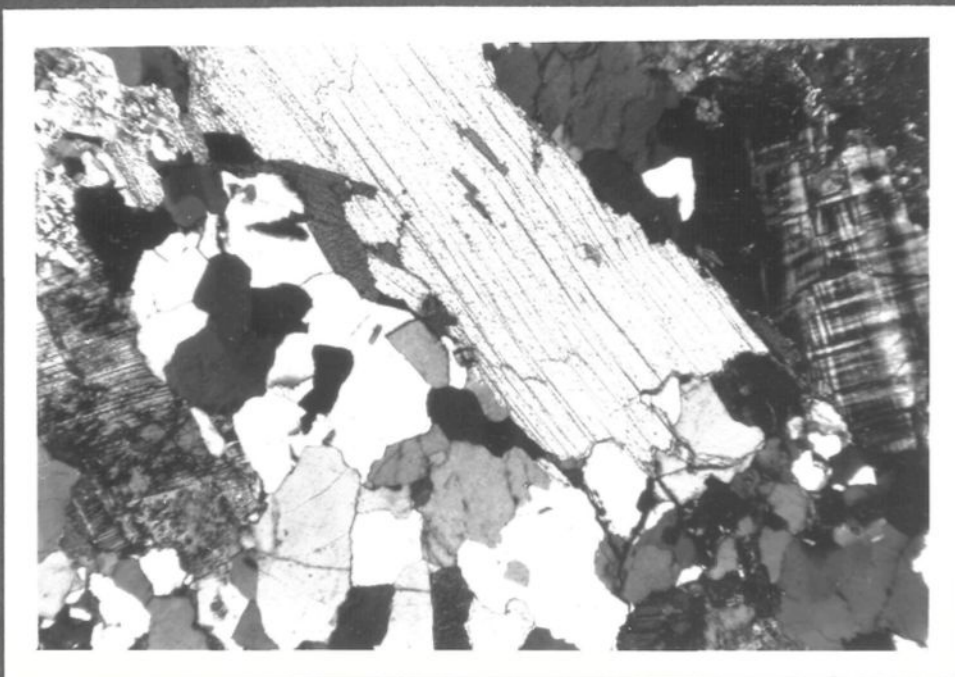
Planche III

Photo 5 Granite folié à deux micas. Ce granite est
syn-cinématique à tardi-cinématique

Photo 6 Photo micrographique (LP) montrant le granite
folié à deux micas avec prédominance de muscovite
sur la biotite. Texture hétérogranulaire zénomor-
phe, flexure dans les clivages de muscovite et
développement des kinks (2.5 x)



5

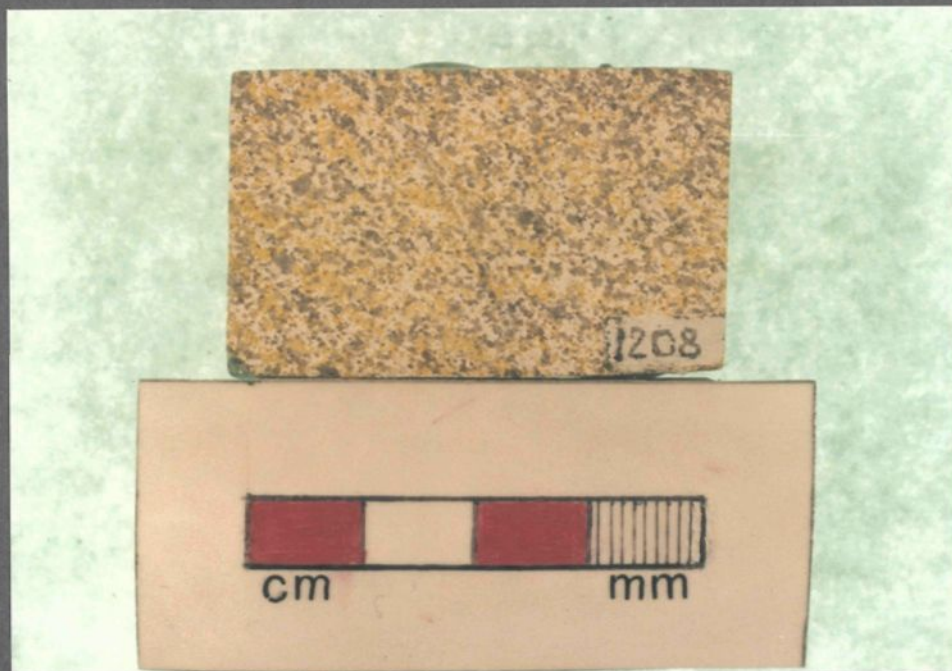


6

Planche III

Photo 7 Granite hololeucocrate tardi à post-cinématique
de la région du Mutara (A 1208)

Photo 8 Photo micrographique (LP) montrant le granite hololeucocrate. Composé essentiellement de quartz et de feldspaths, il est très peu déformé (flexure des clivages de muscovite, déformation des macles polysynthétiques des plagioclases, développement des kinks) (2.5 x)



7

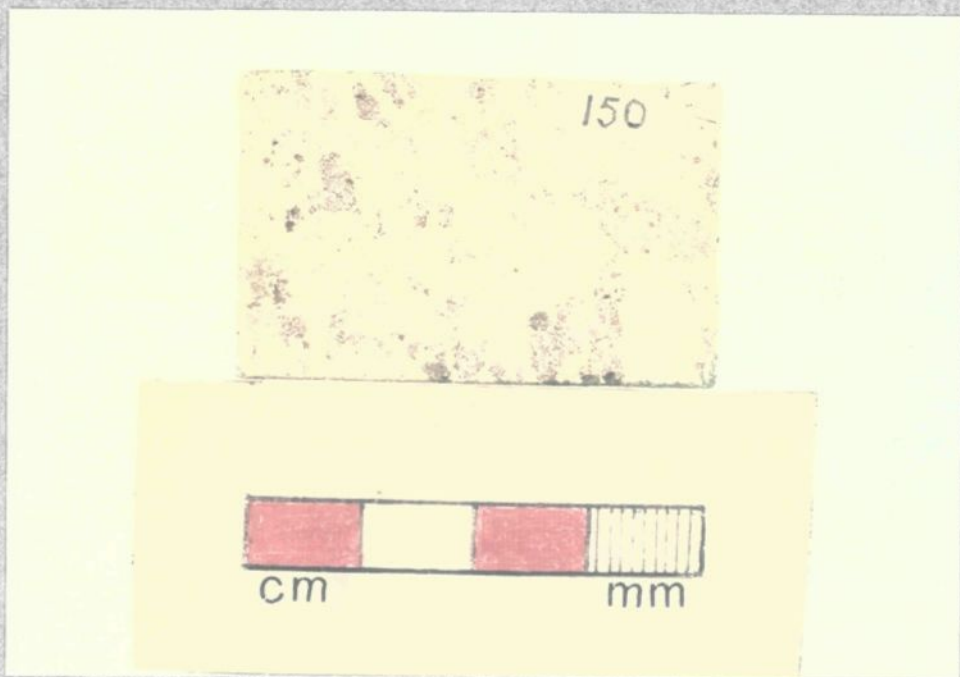
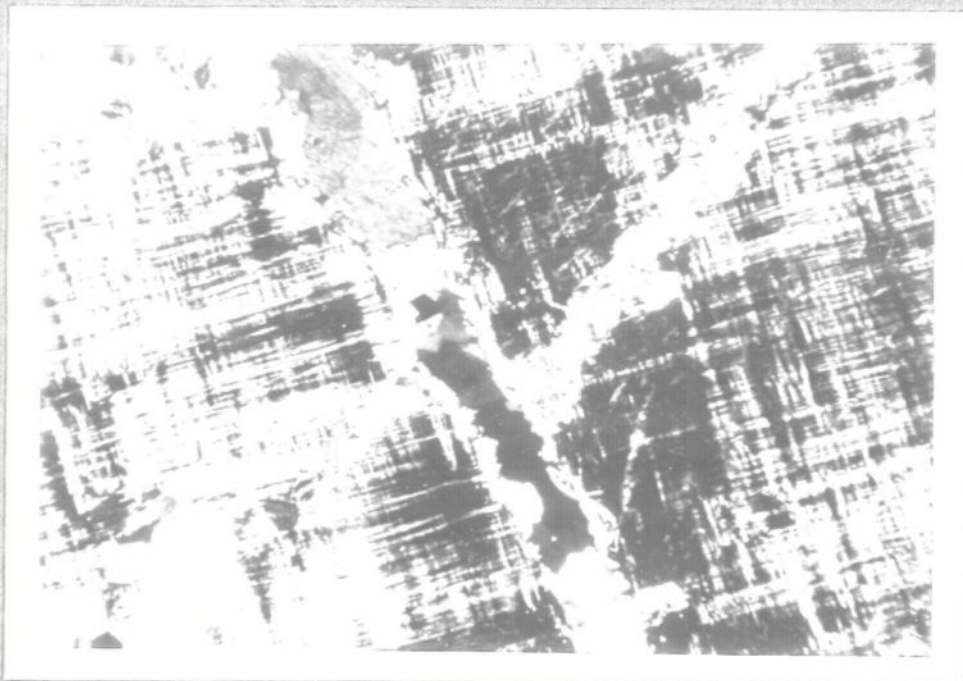


8

PLANCHE III

Photo 9 Photo micrographique (LP) de la pegmatite à microcline. Noter la présence de deux veines de générations différentes (2.5 x)

Photo 10 Pegmatite sans feldspaths potassiques



ANNEXE 2

ANALYSE DES ELEMENTS MAJEURS DES ROCHES PAR
FLUORESCENCE-X

Les quelques pages qui vont suivre sont un mode d'emploi très succinct de l'analyse quantitative des éléments majeurs des roches par fluorescence-x. Ce procédé fut mis au point au cours de l'hiver et du printemps 1984 à l'Université du Québec à Chicoutimi et tient naturellement compte de l'appareillage et des ressources humaines mis à la disposition de l'analyse.

Cette méthode fut mise au point pour les éléments suivants: silice (Si), l'aluminium (Al), le calcium (Ca), le titane (Ti), le potassium (K) et le phosphore (P). Les résultats sont donnés en % d'oxydes. Les autres éléments majeurs, soit le fer (Fe), le magnésium (Mg), le sodium (Na) et le manganèse (Mn) sont analysés par absorption atomique.

PREPARATION DES ECHANTILLONS POUR L'ANALYSE (LOCAL 0-103)

ECHANTILLONS D'ENVIRON 2-3 KILOGRAMMES (ou 30x30x30 cm
1 pi³))

1) Débiter, à la scie, les échantillons en plaquettes de 2-3 cm d'épaisseur en prenant soin d'enlever la croûte d'altération, les zones craquelées et les diverses zones indésirables que constituent les veines et/ou enclaves.

2) a) Si la granulométrie est grossière:

- concasser au marteau, dans un sac en plastique entre 2 cartons en fragments équidimensionnels d'environ 1 cm au maximum;

ou b) Si la granulométrie est fine ou aphanitique:

- concasser au broyeur à mâchoires d'acier
- tamiser au tamis no 3 (6.7 mm)
- laver à grande eau et sécher les fragments

3) Broyage d'environ 1,2 Kg au broyeur à mâchoires de porcelaine*.

*NETTOYER LES MACHOIRES DE PORCELAINE AU JET DE SABLE ET A L'AIR COMPRIME AVANT DE S'EN SERVIR ET ENTRE CHAQUE ECHANTILLON A ANALYSER.

4) Séparer en deux parties d'environ 600 grammes dont une est gardée en réserve et l'autre est redivisée en deux parties de 300 grammes dont une est conservée en réserve et l'autre est broyée au "shatter-box" au carbure de tungstène pendant 1,5 minutes par charge de 20 grammes.

*BIEN NETTOYER LE "SHATTER-BOX" ENTRE CHAQUE ECHANTILLON A ANALYSER EN DECONTAMINANT AVEC 20 GRAMMES DE SILICE BROYES DURANT 1,5 MINUTES ET EN LAVANT A L'EAU. FAIRE SECHER AVEC DE L'ACETONE ET L'AIR COMPRIME.

5) Séparer la poudre obtenue en deux parties:

- a) 100 à 120 grammes pour fins d'analyses
- b) 180 à 200 grammes pour réserve.

TOUJOURS S'ASSURER QUE LES RECIPIENTS ET LES INSTRUMENTS UTILISES SONT D'UNE PROPRETE IMPECCABLE AFIN D'EVITER TOUTE CONTAMINATION.

PREPARATION DES PASTILLES POUR LA FLUORESCENCE-X

La préparation des pastilles pour l'analyse par fluorescence-x se fait avec un appareil Claisse-Fluxer (voir Richard Lechasseur, local 2-422). Les étapes à suivre sont les suivantes:

1) Placer 1.5 g de poudre de roche dans un petit plat d'aluminium et faire sécher à environ 110°C à l'étuve pendant 2 heures. Faire aussi sécher autant d'oxyde de lanthane et 4 à 5 fois plus de tétraborate de lithium.

2) Une fois les poudres séchées, prendre les creusets de platine en s'assurant qu'ils sont propres* et peser sur la balance analytique:

- 1 gramme de poudre de roche
- 5 grammes de tétraborate de lithium
- 1 gramme d'oxyde de lanthane
- 20 milligrammes de NaBr.

*Le nettoyage des creusets de platine s'effectue en faisant tremper ceux-ci dans un grand bēcher plein d'eau auquel il faut rajouter environ 20 millilitres d'acide nitrique. Mettre ensuite le bēcher sur une plaque chauffante et laisser reposer quelques minutes.

3) Installer les creusets et les moules sur le Claïsse-Fluxer. Ouvrir le gaz ainsi que l'air comprimé. Régler l'appareil pour fonctionner en automatique:

HEAT/AGIT: 2

FUSE/AGIT: 8

FUSE : 4

HEAT : 2

WAIT : 5

COOL/AGIT: 3

*Toujours demander à Richard Lechasseur pour se servir du Claïsse-Fluxer.

TOUJOURS FAIRE TRES ATTENTION QU'AU COURS DES MANIPULATIONS, LES ECHANTILLONS NE SE MELENT PAS ET QU'AU BON NUMERO DE PASTILLE CORRESPONDE BIEN LE BON NUMERO DE ROCHE ET D'ANALYSE.

Une fois les pastilles coulées, le manipulateur se rend au laboratoire de rayons-x (2-421) où Jean-Eudes Villeneuve le prendra en charge.

PASSAGE DES PASTILLES POUR LA FLUORESCENCE-X

Les standards utilisés ont été éprouvés et on retrouvera en annexe des calculs d'erreurs faits sur des échantillons ayant été analysés à partir de ces standards.

Ces standards sont les suivants:

INT01
GH
INT03
SY-2
DR-N
INT04
SRM-688
UM-2
UM-1
INT05
INT07

Donc 11 standards dont les compositions sont les suivantes: (voir à la page suivante)

UNE BASE ANHYDRE

#	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
CERAC	99.99	0.01	--	--	--	--	--	--	--	--
INT06	94.45	2.81	0.70	0.01	--	0.19	0.96	0.82	0.05	0.01
INT01	88.24	6.31	0.88	0.03	0.02	0.35	1.94	2.40	0.04	0.01
INT02	80.38	6.13	3.19	0.16	1.37	4.04	2.20	2.27	0.07	0.29
GH	76.48	12.61	1.35	0.05	0.03	0.70	3.88	4.80	0.08	0.01
SRM-278	72.28	14.00	3.51	0.05	--	0.97	4.79	4.12	0.25	0.04
GA	70.75	14.68	2.86	0.09	0.96	2.48	3.59	4.08	0.39	0.12
INT03	66.52	13.13	4.94	0.19	1.37	4.52	4.59	4.33	0.20	0.24
SY-2	60.76	12.25	6.37	0.32	2.73	8.07	4.39	4.53	0.14	0.43
SY-3	60.78	12.02	6.54	0.33	2.72	8.41	4.23	4.28	0.15	0.55
BCR-1	54.68	13.71	13.56	0.18	3.29	6.98	3.33	1.69	2.24	0.36
DRN	53.81	17.80	10.13	0.22	4.60	7.24	3.07	1.74	1.13	0.28
INT04	49.87	6.65	13.10	0.25	20.05	5.25	2.24	2.28	0.12	0.22
SRM-688	48.16	17.28	10.30	0.17	8.36	12.11	2.14	0.19	1.16	0.13
UB-N	45.07	3.42	9.75	0.14	40.04	1.28	0.11	0.02	0.14	0.03
PCC-1	44.18	0.78	8.81	0.13	45.53	0.54	0.01	--	0.02	--
UM-2	42.74	7.88	15.69	0.09	27.75	5.10	0.35	0.12	0.26	0.02
UM-4	42.55	9.71	15.38	0.16	24.33	6.78	0.49	0.19	0.38	0.02
DTS-1	40.43	0.55	8.85	0.13	49.78	0.16	0.05	0.02	0.02	0.01
UM-1	38.97	1.04	19.82	0.17	37.37	2.43	0.08	0.03	0.10	--
DT-N	37.16	60.19	0.68	0.01	0.10	0.16	0.04	0.12	1.43	0.10
SU-1	40.09	11.01	36.50	0.12	4.75	4.63	1.16	0.70	0.93	0.12
INT05	23.68	31.36	23.11	0.11	18.76	1.36	0.09	0.06	1.42	0.08
INT07	21.06	41.41	30.44	0.08	1.99	2.02	0.52	0.33	2.01	0.14
BXN	8.38	61.68	26.40	0.05	0.15	0.28	0.10	0.08	2.73	0.15

Note: FeO * 1.1113445 = Fe₂O₃
FeO * 1.4297294 = Fe₂O₃

La séquence de passage des échantillons et des standards à observer est la suivante:

- Séparer les échantillons en groupes égaux (?) de 10 ± 2 pastilles que l'on passe en alternant avec les standards en commençant et finissant toujours par le groupe des standards.

Par exemple, si on a 21 échantillons à analyser, séparer les pastilles en deux (2) groupes de 10 et de 11 et passer échantillons et standards dans cet ordre:

- 11 standards
- 10 échantillons
- 11 standards
- 11 échantillons
- 11 standards

Les éléments analysés par fluorescence-x sont le Si, Al, Ca, Ti, K et P. Les résultats sont données en % d'oxydes soit SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , TiO_2 , K_2O et P_2O_5 . Les autres oxydes, soit Fe_2O_3 , MgO , Na_2O et MnO sont analysés par absorption atomique (voir Richard Lechasseur).

Les résultats obtenus avec le phosphore (P) sont semi-quantitatifs car avec un rapport échantillon/fondant de 1/5 le rapport P_k/B_g obtenu avec le cristal PET est très mauvais car le pic du phosphore interfère avec celui du calcium.

Pour obtenir un rapport Pk/Bg satisfaisant, il faudrait effectuer l'analyse avec un cristal de germanium qui n'est pas disponible sur l'appareil utilisé ici. L'analyse est donc effectuée avec le cristal PET et le groupe de standards donnant le meilleur coefficient de corrélation est le suivant:

INT01
GH
INT03
SY-2
DR-N
INT04
INT05
INT07

Les standards SRM-688, UM-2 et UM-1 sont donc supprimés. A noter aussi que les % de phosphore pour les standards sont donnés sous toutes réserves par les compagnies fabricantes qui les ont analysés.

Etant donné l'aspect semi-quantitatif de l'analyse du phosphore il est donc inutile de faire des comptes de 100 secondes sur le pic et de 40 secondes sur le "backbround"; donc faire seulement 40 secondes sur le pic afin d'économiser du temps. Une meilleure précision sur l'analyse du phosphore peut être obtenue par colorimétrie, si nécessaire.

UTILISATION DE LA FLUOREXCENCE-X

A. MISE EN MARCHE DE L'APPAREIL

- placer l'interrupteur de "SCAN" à 0
- pousser le levier de "MOTOR DRIVE" à "OUT"
- mettre en marche le générateur
- ouvrir le gaz
- mettre le "SPINNER" à "ON"
- tourner l'interrupteur "VACUUM" et attendre 5 min.
- s'assurer que les contrôles du "POWER SUPPLY" sont bien sur XRF et non sur DIF.

B. MISE EN PLACE DES ECHANTILLONS

- tourner la poignée de contrôle du "AIRLOCK" à "OPEN"
NE JAMAIS TOURNER CETTE POIGNEE TROP RAPIDEMENT
- soulever le couvercle
- introduire l'échantillon
- refermer
- pour évacuer le gaz, la poignée doit être placée sur "EVACUATE", lorsque la lampe "WAIT" s'éteint, la poignée de contrôle du gaz doit être placée immédiatement de "EVACUATE" à "SAMPLE CHANGER FREE". La poignée de contrôle du gaz peut être tournée de "SAMPLE CHANGER FREE" à "OPEN" sans avoir à arrêter sur "EVACUATE".

C. ANALYSE QUANTITATIVE

- les conditions d'opération sont différentes tout dépendant de l'élément que l'on a à analyser

- il faut donc:

1. placer le goniomètre à l'angle 28 correspondant au pic de l'élément à analyser (toujours vérifier le pic)
2. choisir le bon tube
3. mettre le bon voltage et ensuite le bon ampérage sur le générateur
4. choisir le bon cristal*
5. mettre le collimateur à "COARSE" ou "FINE"
6. mettre le bon temps de comptage sur le compteur à "PRESET TIME"*.

*Le changeur de cristaux peut être tourné dans les deux (2) sens, pour passer d'un cristal à un autre, faire un tour complet. Ex: pour passer de 1 à 2, tourner 2,3,4,5,1 et 2.

*Le "PRESET COUNT" à "OFF".

Lorsque l'échantillon a été mis en place et qu'on veut en introduire un autre:

- s'assurer que la poignée du "AIRLOCK" est à "SAMPLE CHANGER FREE"
- tourner le "SAMPLE CHANGER" de 1 à 2 ou 2 à 1
- tourner la poignée du "AIRLOCK" de "SAMPLE CHANGER

FREE" à "OPEN" et recommencer l'opération de mise en place de l'échantillon.

Pour obtenir l'analyse de l'échantillon engagé, on pèse sur le bouton "START" du compteur.

CONDITION D'OPERATION IRF

	Pic	Tube	Kv/ma	Détecteur	Vide	Cristal	Coll.	Temps
Fe	57.95	W	30/14	FPG	+	Lif(200)	Fine	40 s
Mn	63.55PK 64.50BG	W	50/40	FPG	+	Lif(200)	Fine	100 s 100 s
Ti	86.55	Cr	50/40	FPG	+	Lif(200)	Fine	40 s
Ca	113.50	Cr	50/40	FPG	+	Lif(200)	Fine	40 s
K	137.00	Cr	50/14	FPG	+	Lif(200)	Fine	100 s
P	90.10PK 88.0 BG	Cr	60/40	FPG	+	PET	Fine	100 s 40 s
Si	109.60	Cr	50/30	FPG	+	PET	Coarse	40 s
Al	145.23	Cr	55/40	FPG	+	PET	Coarse	40 s
Mg	137.25PK 136.0 BG	Cr	55/40	FPG	+	ADP	Coarse	200 s 100 s
Na	54.90PK 56.50	Cr	50/50	FPG	+	RbAp	Coarse	200 s 100 s

TRAITEMENT DES DONNEES OBTENUES PAR FLUORESCENCE-X

Les données recueillies sur le compteur sont ensuite traitées par ordinateur APPLE IIe par un programme nommé XRF (sur disquette insérée dans "DISK DRIVE 1"). Ce programme permet en premier lieu de créer un fichier (sur une disquette insérée dans le "DISK DRIVE 2") pour les standards de fluorescence-x, ensuite d'utiliser ce fichier pour calculer la droite de régression des éléments des échantillons inconnus, ensuite de tracer la droite de régression sur l'écran haute résolution et de calculer le coefficient de corrélation des standards. Pour faire cela le menu initial donne le choix entre différentes options:

1. confection d'un fichier (permet la création d'un nouveau fichier dans la mémoire sur le "DISK DRIVE 2")
2. restitution d'un fichier (permet de restituer un fichier déjà en mémoire sur le "DISK DRIVE 2")
3. effacement d'un fichier (permet d'effacer un fichier déjà en mémoire sur le "DISK DRIVE 2")
4. Sauvegarde d'un fichier (permet de sauver un fichier déjà créé (voir item 1) dans la mémoire sur le "DISK DRIVE 2")
5. Changement de programme (donne accès aux programmes CORRELATION et REGRESSION sur le "DISK DRIVE 1")
6. arrêt du programme.

Les étapes à franchir sont donc les suivantes:

1. Confection d'un fichier:

- l'ordinateur demande le nombre de standards
- ensuite entrer le nombre de comptes bruts et le % de l'élément analysé contenu dans le standard
- le fichier est créé à partir des standards passés avant et après la série d'échantillons. Ex.: pour les analyses de l'été 83, le premier fichier créé pour le SiO_2 est donné par les standards passés avant et après les 10 premières pastilles des analyses (voir passage des échantillons) et son nom est ANALYS- SiO_2 -1, donc le second fichier est créé à partir des données obtenues des standards passés avant et après la seconde série d'échantillons et s'appelle ANALYS- SiO_2 -2, etc.

2. Sauvegarde d'un fichier:

- lorsque le fichier est créé il est possible de le visualiser
- il suffit ensuite de lui donner un nom et le fichier est sauvé sur la disquette dans le "DISK DRIVE 2".

3. Changement de programme:

- l'ordinateur donne le choix entre:
 - . régression courbe standards
 - . coef. corrélation standards
- choisir une des deux options:
 - . le programme REGRESSION permet de calculer la cour-

be de régression des standards, de déterminer la teneur des échantillons inconnus et de tracer la courbe des standards

- le programme CORRELATION permet de calculer le coefficient de corrélation des standards.

Par la suite, tout dépendant du choix qui a été fait, l'ordinateur explique toutes les étapes à franchir.

ANALYSE NORMATIVE

L'analyse normative des données obtenues par fluorescence-x et absorption atomique se fait entièrement par l'ordinateur VAX. Le programme NORME est accessible à partir de n'importe lequel terminal grâce à l'instruction:

@ UMA1:[P045]SETUP

On appelle le programme par l'instruction:

NDATA

L'ordinateur pose alors quelques questions:

NOM DU FICHIER:

Donner le nom du fichier (s'il existe déjà) ou n'importe laquelle combinaison de 6 caractères.

EST-CE UNE NOUVELLE SERIE DE DONNEES?

Répondre par oui (O) ou non (N).

Une liste d'options est alors affichée, on sélectionne celles-ci en indiquant la lettre correspondante. A noter que les options font partie du fichier et qu'elles restent en opération tant qu'elles ne sont pas annulées (TOUJOURS S'ASSURER QUE L'OPTION K EST SUR % POIDS ET NON SUR % MOLECULAIRE).

TAPER LE TITRE DE L'ANALYSE:

Ce titre se retrouvera à l'entête du fichier de résultats. Ce titre peut contenir jusqu'à 80 caractères.

VOULEZ-VOUS MODIFIER DES DONNEES DEJA EXISTANTES?

Donne la possibilité de modifier ou corriger les données existantes. En répondant non (N), l'ordinateur passe

à la création d'une nouvelle donnée. Il demande alors un numéro d'échantillons qui servira à identifier la série de données dans le fichier de résultats. Ensuite donner un nom descriptif à l'échantillon. La machine va imprimer la liste des numéros ainsi que les noms au début du fichier de résultats, constituant ainsi un aide-mémoire et une référence efficaces. Un tableau de données est ensuite inscrit, comme celui-ci:

Pourcentage des éléments composant l'échantillon

(A)-	H ₂ O+:	0.00%	(N)-	ZrO ₂ :	0.00%
(B)-	H ₂ O-:	0.00%	(O)-	CO ₂ :	0.00%
(C)-	SiO ₂ :	0.00%	(P)-	SO ₃ :	0.00%
(D)-	Al ₂ O ₃ :	0.00%	(Q)-	C ₁ :	0.00%
(E)	Fe ₂ O ₃ :	0.00%	(R)-	F:	0.00%
(F)	FeO:	0.00%	(S)-	S:	0.00%
(G)	MnO:	0.00%	(T)-	Cr ₂ O ₃ :	0.00%
(H)	CaO:	0.00%	(U)-	NiO:	0.00%
(I)	Na ₂ O:	0.00%	(V)-	CoO:	0.00%
(J)	K ₂ O:	0.00%	(W)-	BaO:	0.00%
(K)	TiO :	0.00%	(X)-	SrO:	0.00%
(L)	P ₂ O ₅ :	0.00%	(Y)-	Li ₂ O:	0.00%
(M)	MnO:	0.00%			

L'étape suivante consiste à sélectionner les éléments, la machine va alors demander les éléments un par un et il suf-

fit de taper la valeur correspondante comme ci-après:

Donnez vos choix (A-Y) ou un point pour continuer: CDEGHIJKLM

Donnez le nouveau pourcentage de SiO_2 : 7Q

Donnez le nouveau pourcentage de Al_2O_3 :15

Donnez le nouveau pourcentage de Fe_2O_3 : 3

Donnez le nouveau pourcentage de MgO : 1

Donnez le nouveau pourcentage de CaO : 5

Donnez le nouveau pourcentage de Na_2O : 5

Donnez le nouveau pourcentage de K_2O : 0

Donnez le nouveau pourcentage de TiO_2 : 0

Donnez le nouveau pourcentage de P_2O_5 : 0

Donnez le nouveau pourcentage de MnO : .8

La machine imprime ensuite les données, permettant ainsi de corriger immédiatement les erreurs.

La dernière étape vise l'analyse des éléments traces (s'il y a lieu) et l'entrée des données se fait de façon analogue à celle décrite précédemment, sauf que celles-ci sont exprimées en PPM.

Pour faire le traitement des données, l'instruction: NORME suffit. L'ordinateur demande le nom du fichier de données et offre l'option des dessins. Il y a deux façons de faire imprimer les résultats:

TYPE (nom du fichier). OUT pour une impression sur
le terminal même

IMP (nom du fichier). OUT pour une impression sur
l'imprimante rapide de la salle 3-527

Il est préférable d'utiliser le terminal vidéo qui
est plus rapide que les terminaux à papier. Pour obtenir une
version écrite, utiliser l'imprimante rapide.

STATISTIQUES SUR FLUORESCENCE-X

L'erreur (l'écart-type) due à la méthode de fabrication des pastilles fut calculée à partir des résultats obtenus de l'analyse de dix (10) pastilles provenant du même échantillon. Quant à l'erreur due à la machine proprement dite, elle fut calculée à partir des comptes obtenus en laissant la même pastille dans la machine et en l'analysant plusieurs fois pour chaque élément.

L'échantillon utilisé fut le numéro 2 de ceux retenus pour analyse lors de la campagne de l'été 83.

SiO_2 - moyenne: 71.97%
 - erreur due à la préparation: $\pm 0.420\%$
 - erreur due à la machine (94 comptes): $\pm 0.174\%$
donc SiO_2 du no 2: $71.97 \pm 0.59\%$

Al_2O_3 - moyenne: 15.10%
 - erreur due à la préparation: $\pm 0.091\%$
 - erreur due à la machine (90 comptes): $\pm 0.113\%$
donc Al_2O_3 du no 2: $15.10 \pm 0.20\%$

CaO - moyenne: 1.97%
 - erreur due à la machine (117 comptes): $\pm 0.006\%$
donc CaO du no 2: $1.97 \pm 0.01\%$

TiO_2 - moyenne: 0.72%
 - erreur due à la préparation: $\pm 0.003\%$

donc TiO_2 du no 2: $0.72 \pm 0.01\%$

K_2O - moyenne: 5.39%

- erreur due à la préparation: 0.012%

- erreur due à la machine (55 comptes): $\pm 0.010\%$

donc K_2O du no 2: $5.39 \pm 0.02\%$

P_2O_5 - moyenne: 0.10%

- erreur due à la préparation: $\pm 0.005\%$

- erreur due à la machine (62 comptes): $\pm 0.005\%$

donc P_2O_5 du no 2: $0.10 \pm 0.01\%$

Les autres % d'oxydes sont donnés par l'absorption atomique:

- Fe_2O_3 : 4.00%

- MgO : 0.86%

- Na_2O : 2.97%

- MnO : 0.07%

donc une analyse pour le no 2 fermant à 103.15 0.84%.

A NOTER QUE CE % D'ERREUR EST CALCULE A PARTIR DES DONNEES OBTENUES PAR FLUOREXCENCE-X, LE CALCUL D'ERREUR POUR L'ABSORPTION ATOMIQUE N'EST PAS INCLUS ET N'EST PAS CONNU.

ANNEXE III

ANALYSE DES ELEMENTS PAR ABSORPTION ATOMIQUE

3.1 Eléments majeurs

- a) mélange: 600 mg de métaborate de lithium
100 mg de poudre de l'échantillon
quelques mg d'agent non mouillant (K)
ou NaBr selon les éléments à analyser)
- b) chauffer le mélange dans un creuset en platine
à 1000 degrés celsius
- c) couler le liquide dans des béchers contenant déjà
20 ml d'eau déminéralisée
- d) chauffer les billes obtenues dans l'acide chlori-
drique pour une dissolution complète
- e) passer à l'analyse des éléments majeurs.

3.2 Eléments mineurs

- a) mélange: 1 g de poudre d'échantillon dans des
bombes à dissolution (récipients en
téflon hermétiquement fermés)
6 ml d'acide fluoridrique
1 ml d'eau régale

b) faire digérer pendant une heure et demie à 100 degrés celsius

c) laisser refroidir (à la température ambiante de la pièce ou avec de la glace)

d) transverser dans les fioles jaugées 100 ml contenant déjà 6 ml d'acide borique

e) compléter avec de l'eau déminéralisée

f) passer à l'analyse des éléments mineurs.

ANNEXE IV

RADIOMETRIE DES GRANITOIDES DU N.W. DU RWANDA

Des mesures radiométriques et spectrométriques furent prélevées à chaque affleurement visité. Les premières furent effectuées au moyen d'un scintillomètre à lecture digitale type BGS-4 de Scintrex, immédiatement sur l'affleurement et comportaient sept lectures espacées de cinq secondes. Les deux valeurs extrêmes ont été écartées lors du calcul de la moyenne. Les mesures spectrométriques furent effectuées à l'aide de l'appareil GAD-6/GSP-4S de Scintrex avec la sonde maintenue à 60 cm de la surface d'un affleurement ayant plus d'un mètre par un mètre de côté. Cette technique avait pour but d'augmenter le champ de "vision" du spectromètre et d'obtenir ainsi une mesure plus représentative de la radioactivité de la roche. Trois lectures de cent secondes ont été prises sur chaque affleurement.

Les calculs effectués sur les mesures de la spectrométrie sont dans l'ordre:

- a) moyenne des trois lectures de 100 s
- b) soustraction du rayonnement atmosphérique établi à partir des mesures effectuées à 60 cm au-dessus du lac Kivu

(Sanschagrin et al., 1983 a)

c) la correction de l'effet Compton en utilisant les paramètres alpha, beta, gamma, a et g (Mercier, 1982)

d) le calcul de la concentration des radio-éléments dans la roche à partir des coefficients de sensibilité dérivés par comparaison (régression linéaire) de mesures effectuées à 0 et 60 cm au-dessus d'un même endroit.

Les teneurs en Th et U doivent être comprises en termes "d'équivalents Th(eTh) et U(Eu)". Les symboles Eu et eTh représentent la concentration de l'uranium et du thorium basée sur l'émission des rayonnements gamma respectivement à partir de Bi^{214} et Tl^{208} qui assurent l'équilibre radioactif (Telford et al., 1981).

Ceci signifie que les valeurs utilisées ont été obtenues par la sélection des fenêtres du spectromètre sur la base de divers paramètres tels que la correction de l'effet Compton, les coefficients de sensibilité, le rayonnement atmosphérique, etc...

Elles ont le même effet radioactif que les proportions des éléments qu'elles représentent, mais ne reflètent pas nécessairement la teneur réelle de ces éléments dans la roche.

ANNEXE V

TABLEAUX DES ANALYSES CHIMIQUES

Tableau 5.1 ANALYSES CHIMIQUES, ELEMENTS MAJEURS

ECH	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TOTAL
1006	69.82	17.34	0.56	0.20	0.03	1.49	1.59	3.10	4.78	0.13	99.04
1201	67.65	18.30	0.90	1.26	0.01	1.43	0.95	4.53	2.77	0.09	97.89
1202	69.84	16.85	0.62	3.14	0.03	1.26	1.43	4.13	2.07	0.13	99.50
1205	71.65	16.52	0.50	1.72	0.03	1.19	1.26	3.56	3.45	0.09	99.97
1207A	70.21	16.90	0.53	1.72	0.02	0.99	1.54	2.80	5.03	0.12	99.86
1207B	73.36	14.84	0.47	0.86	0.02	0.16	1.37	2.77	4.10	0.12	98.02
1208B	74.50	16.25	0.17	0.41	0.01	0.02	0.34	4.72	3.99	0.04	100.41
1210A	69.96	16.22	0.63	1.72	0.02	1.09	1.51	2.91	3.01	0.12	97.19
1210B	70.86	17.75	0.64	0.36	0.01	0.15	0.20	4.20	3.39	0.12	97.68
1211A	70.15	16.96	0.05	2.57	0.03	1.13	1.76	3.29	4.02	0.02	99.98
1211B	68.74	17.16	0.05	4.57	0.01	0.01	0.22	4.21	4.21	0.03	99.21
78	76.39	13.65	0.21	0.36	0.08	0.07	0.30	2.42	8.00	0.01	101.49
81	73.98	16.31	0.24	0.94	0.10	0.35	0.34	1.62	5.83	0.05	99.76
107A	72.98	16.30	0.23	1.57	0.01	0.04	0.95	2.16	5.79	0.04	100.07
109A	69.85	16.90	0.31	3.43	0.02	0.03	0.92	1.35	6.92	0.06	99.78
124	72.64	14.10	0.37	4.86	0.03	0.21	1.62	1.89	6.14	0.06	101.92
150	69.98	16.47	1.01	0.21	0.06	0.07	2.85	4.04	5.02	0.12	99.83
306	72.74	18.41	0.13	0.74	0.17	0.03	0.17	1.89	5.22	0.02	99.25
71	72.99	17.61	0.01	0.34	0.07	0.01	0.30	5.93	3.09	0.02	100.37
111	74.09	17.43	0.01	0.30	0.07	0.01	0.45	0.11	3.67	0.02	110.16
123	74.29	14.33	0.18	1.27	0.90	0.02	0.38	1.65	7.33	0.03	100.38
153	73.66	16.90	0.13	0.09	0.13	0.01	0.25	2.99	5.00	0.02	99.18
221	71.30	17.77	0.17	1.14	0.27	0.01	0.22	1.56	5.68	0.03	98.15
307	72.19	17.28	0.12	0.94	0.27	0.01	0.25	2.33	5.03	0.03	98.15
538	70.60	18.68	0.01	0.09	0.09	0.01	0.31	8.17	0.33	0.04	98.33
4200	73.26	16.14	0.12	0.34	0.13	0.01	0.20	3.70	4.63	0.03	98.56
4218	70.34	18.75	0.15	0.56	0.27	0.01	0.10	2.99	4.36	0.01	97.54
4256	71.00	17.99	0.23	1.00	0.33	0.01	0.67	4.01	5.02	0.02	100.28
4259	70.46	17.35	0.20	0.90	0.33	0.01	0.64	3.26	5.14	0.01	98.30
4308	73.32	17.43	0.17	0.42	0.27	0.01	0.36	5.31	2.22	0.02	99.13
4319	74.85	15.96	0.14	0.57	0.30	0.01	0.39	3.40	4.64	0.01	100.27
4323	71.03	16.21	0.61	3.03	1.26	0.02	1.68	2.91	2.91	0.09	99.75
4325	67.55	17.13	0.74	3.84	1.59	0.03	2.13	2.85	3.05	0.15	99.06

Tableau 5.2 ANALYSES CHIMIQUES, ELEMENTS EN TRACES

Tableau 5.2.1 GNEISS: ELEMENTS EN TRACES (PPM)

# ECH	Rb	Sr	Ba	Cu	Zn	Ni	REGION
1006	174	15	1340	10	27	25	
1201	169	18	890	12	28	24	M
1202	174	11	780	11	92	33	U
1205	169	14	1290	10	37	34	T
1207A	183	16	1400	11	31	32	A
1207B	168	14	1370	9	24	35	R
1210A	143	13	199	6	50	27	A
1210B	122	16	2690	9	51	31	
107	152	10	1200	4	41	28	C
109	199	13	1570	10	90	27	Y
124	159	19	1700	12	82	30	*
4323	88	14	460	5	49	36	M
4325	100	6	230	6	44	36	*

# ECH	Rb	Sr	Ba	Cu	Zn	Ni	TYPE
78	205	12	1020	14	16	26	G ₁
123	154	13	510	3	20	7	G ₂
4256	92	13	230	3	22	27	
81	248	11	120	5	63	26	G ₃
221	174	14	70	7	44	26	
306	540	16	90	9	72	23	
307	206	3	90	4	80	36	
4218	108	5	180	5	23	31	
4259	138	13	280	4	33	24	
4319	83	14	230	6	15	29	
1208	267	11	60	5	18	20	G ₄
1211A	192	14	40	8	26	25	
1211B	215	12	20	8	21	26	
4200	153	13	120	7	11	30	
4308	111	9	90	6	9	30	
71	232	10	80	5	11	26	AP
111	93	12	90	4	9	24	et
150	19	17	40	13	9	24	PEGM
538	5	10	80	6	9	33	
Note: CY*: Cyimbili				M*: Mara			
AP : Aplites				PEGM: Pegmatite			

Tableau 5.3 NORME CIPW ETABLIE D'APRES LE TABLEAU 5.1

%	1006	1201	1202	1205	1207A	1207B	1208B	1210A	1210B	1211A	1211B
OZ	28.23	26.79	33.32	33.52	30.24	39.01	31.13	36.99	33.14	29.97	25.83
OR	28.25	16.37	12.23	20.39	29.72	24.23	23.58	17.79	20.03	23.76	24.88
PL	33.27	42.46	41.19	35.79	30.55	29.03	41.36	31.33	35.75	36.44	36.52
AN	7.04	4.12	6.24	5.66	6.86	6.01	1.43	6.71	0.21	8.60	0.90
AB	26.23	38.33	34.95	30.12	23.69	23.02	39.94	24.62	35.54	27.84	35.62
C	4.49	6.34	5.53	4.85	4.34	3.72	3.64	5.72	7.10	4.04	5.35
HY	3.71	3.56	3.14	2.94	2.47	0.40	0.05	2.71	0.37	3.38	4.23
EN	3.71	3.56	3.14	2.94	2.47	0.40	0.05	2.71	0.37	2.81	0.02
FE	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.57	4.21
MT	--	--	1.59	--	--	--	--	--	--	2.25	2.25
HM	0.20	1.26	1.02	1.72	1.72	0.86	0.41	1.72	0.36	--	--
IL	0.06	0.02	1.18	0.06	0.04	0.04	0.02	0.04	0.02	0.09	0.09
RU	0.53	0.89	--	0.47	0.51	0.45	0.16	0.61	0.61	0.63	--
AP	0.31	0.21	0.31	0.21	0.28	0.28	0.09	0.28	0.28	0.05	0.07
TOT	99.05	97.89	99.51	99.97	99.87	98.03	100.4	97.20	97.69	99.98	99.22

%	78	81	07A	109A	124	150	306	71	111	123	153
OZ	45.06	41.14	35.28	33.21	32.99	44.90	52.41	25.98	35.13	34.57	36.46
OR	47.27	34.45	34.21	40.89	36.28	29.66	30.85	18.26	21.69	43.31	29.55
PL	1.42	15.07	22.73	15.60	23.64	13.35	0.71	51.54	36.88	15.65	26.41
AN	1.42	1.36	4.45	4.17	7.64	13.35	0.71	1.36	2.10	1.69	1.11
AB	--	13.71	13.28	11.42	15.99	--	--	50.18	34.78	13.96	25.30
C	4.47	6.84	4.85	5.66	1.54	6.14	12.50	4.01	5.93	3.06	6.16
HY	0.17	0.87	0.10	1.08	3.91	0.17	0.07	0.17	0.17	2.24	0.32
EN	0.17	0.87	0.10	0.07	0.52	0.17	0.07	0.17	0.17	2.24	0.32
FE	--	--	--	1.01	3.39	--	--	--	--	--	--
MT	--	--	--	2.62	2.71	--	0.18	--	--	--	--
HM	0.36	0.94	1.57	--	--	0.21	0.62	0.34	0.30	1.27	0.09
IL	0.17	0.21	0.02	0.59	0.70	0.13	0.25	0.02	0.02	0.04	0.02
RU	0.12	0.13	0.22	--	--	0.94	--	--	--	0.16	0.12
AP	0.02	0.12	0.09	0.14	0.14	0.28	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05
TOT	99.07	99.76	100.07	99.79	101.9	95.8	97.63	100.4	100.2	100.4	99.18

%	221	307	538	4200	4218	4256	4259	4308	4319	4323	4325
OZ	39.70	38.53	21.13	33.48	35.67	26.59	29.99	32.82	36.06	31.12	32.79
OR	33.56	29.72	1.95	27.36	25.76	29.66	30.37	13.12	27.42	27.42	18.02
PL	14.10	20.76	70.41	32.10	25.73	37.12	30.69	46.59	30.64	32.37	33.70
AN	0.90	1.04	1.28	0.80	0.43	3.19	3.11	1.66	1.87	7.75	9.59
AB	13.20	19.72	69.13	31.31	25.30	33.93	27.59	44.93	28.77	24.62	24.12
C	8.73	7.62	4.41	4.75	8.95	4.79	5.28	5.69	4.66	3.56	5.63
HY	0.67	0.67	0.22	0.32	0.67	0.82	0.82	0.67	0.75	3.14	3.96
EN	0.67	0.67	0.22	0.32	0.67	0.82	0.82	0.67	0.75	3.14	3.96
MT	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1.26	3.11
HM	1.14	0.94	0.09	0.34	0.56	1.00	0.90	0.42	0.57	1.24	0.10
IL	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.16	1.41
RU	0.16	0.11	--	0.11	0.14	0.22	0.19	0.16	0.13	--	--
AP	0.07	0.07	0.09	0.07	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.21	0.35
TOT	98.15	98.45	98.33	98.56	97.54	100.3	98.30	99.53	100.3	101.5	99.07

Tableau 5.4 DIAGRAMMES

TYPE	1006	1201	1202	1205	1207A	1207B	1208B	1210A	1210B	1211A	1211B
IDL	25.0	22.09	21.6	24.9	25.9	27.0	28.5	23.7	26.7	23.5	23.9
IF	83.2	88.5	81.3	84.8	83.6	75.0	96.2	79.7	97.4	80.6	97.5
IM	11.8	46.3	71.4	59.1	63.5	84.3	95.3	61.2	70.6	59.5	99.8
ALC	7.9	7.3	6.2	7.0	7.8	4.1	8.7	5.9	7.6	7.3	8.4
A	82.5	74.0	59.7	71.9	75.5	81.4	95.7	69.2	94.1	67.3	65.6
F	1.9	11.5	28.2	15.9	14.9	15.4	4.1	18.1	4.0	22.2	34.4
M	15.6	14.5	12.1	12.2	9.5	3.2	0.2	12.7	1.9	10.4	0.1
C	16.8	11.5	18.7	15.2	16.4	25.0	3.8	20.3	2.5	19.4	2.5
N	32.7	54.9	54.1	43.0	29.9	0.0	52.2	39.2	53.9	36.3	48.7
K	50.5	33.6	27.1	41.7	53.7	75.0	44.1	40.5	43.5	44.3	48.7
OR	45.9	27.3	22.9	36.3	49.3	80.1	36.3	36.2	35.9	39.5	40.5
AB	42.6	65.2	65.4	53.6	39.3	0.0	61.5	50.1	63.7	46.2	58.0
AN	11.4	7.0	11.7	10.1	11.4	19.9	2.2	13.7	0.4	14.3	1.5
QZ	34.1	32.9	41.4	39.9	36.1	69.4	32.9	46.6	37.4	36.7	29.9
OR	34.2	20.1	15.2	24.3	35.5	30.6	24.9	22.4	22.6	29.1	28.8
AB	31.7	47.0	43.4	35.8	28.3	0.0	42.2	31.0	40.1	34.1	41.8
QZ	44.5	56.7	64.3	56.3	45.3	64.5	55.5	60.2	52.1	48.1	50.1
OR	44.5	34.6	23.6	34.2	44.5	28.5	42.0	28.9	37.5	38.1	48.2
AN	11.0	8.67	12.1	9.5	10.3	7.1	2.5	10.9	0.4	13.8	1.7
QZ	45.9	38.7	44.7	48.4	49.7	90.1	42.9	54.1	48.1	45.1	41.4
AB	42.6	55.4	46.9	43.5	39.0	0.0	55.1	36.0	51.6	41.9	57.1
AN	11.4	6.0	8.4	8.2	11.3	9.9	2.0	9.8	0.3	13.0	1.4

Tableau 5.4 DIAGRAMMES (SUITE 1)

TYPE	78	81	107A	109B	124	150	306	71	111	123	153
IDL	33.1	29.8	29.1	27.6	25.5	25.4	29.3	27.0	27.8	30.8	29.2
IF	96.4	95.6	89.3	90.0	83.2	63.8	96.8	96.8	94.5	95.9	97.0
IM	83.7	72.9	97.5	99.1	95.9	75.0	96.1	2.9	81.1	58.5	40.9
ALC	8.0	7.4	8.0	8.3	8.0	5.0	5.2	9.0	7.8	9.0	8.0
A	95.3	86.2	84.6	71.6	62.2	95.1	88.2	96.0	95.8	81.5	97.4
F	3.9	9.8	15.0	28.1	36.2	3.6	11.3	3.3	3.3	10.4	1.0
M	0.8	4.0	0.4	0.3	1.6	1.3	0.5	0.7	0.9	8.2	1.6
C	3.6	4.4	10.7	10.0	15.8	36.2	3.2	3.2	5.5	4.1	3.0
N	0.0	20.8	24.3	14.7	19.6	0.0	0.0	63.6	49.9	17.6	36.3
K	96.4	74.8	65.1	75.3	63.6	63.8	96.8	33.2	44.6	78.3	60.7
OR	97.1	69.6	50.1	72.4	60.6	69.0	97.7	26.2	37.0	73.5	52.8
AB	0.0	27.7	32.1	20.2	26.7	0.0	0.0	71.9	59.4	23.7	45.2
AN	2.9	2.7	7.8	7.4	12.8	31.0	2.3	1.9	3.6	2.9	2.0
OZ	48.8	46.1	40.9	38.8	38.7	60.2	63.0	27.5	38.4	37.6	39.9
OR	51.2	38.6	38.5	47.8	42.6	39.8	37.0	19.3	23.7	47.2	32.4
AB	0.0	15.4	20.6	13.4	18.8	0.0	0.0	53.1	38.0	15.2	27.7
QZ	48.1	53.5	48.4	42.4	42.9	51.1	62.4	57.0	59.6	43.4	54.3
OR	50.4	44.8	45.7	52.2	47.2	33.7	36.7	40.0	36.8	54.4	44.0
AN	1.5	1.8	5.9	5.3	9.9	15.2	0.8	3.0	3.6	2.1	1.7
QZ	96.9	73.2	51.5	68.0	58.3	77.1	98.7	33.5	48.8	68.8	58.0
AB	0.0	24.4	31.0	23.4	28.2	0.0	0.0	64.7	48.3	27.8	40.2
AN	3.1	2.4	7.5	8.5	13.5	22.9	1.3	1.8	2.9	3.4	1.8

Tableau 5.4 DIAGRAMMES (SUITE 2)

TYPE	221	307	538	4200	4218	4256	4259	4308	4319	4323	4325
IDL	29.0	28.6	23.5	28.7	27.4	27.7	27.7	26.0	28.9	24.5	20.2
IF	97.1	96.7	96.5	97.7	98.7	93.1	92.9	95.4	95.4	81.8	73.5
IM	80.9	77.7	50.0	72.3	67.5	75.2	73.2	60.9	65.5	70.6	70.7
A	84.8	86.8	98.0	95.0	90.5	88.0	88.1	92.1	90.8	64.9	53.1
F	12.0	10.0	0.9	3.5	6.2	8.8	8.5	4.6	5.8	24.2	32.6
M	3.2	3.2	1.0	1.5	3.3	3.2	3.5	3.3	3.4	10.8	14.3
C	2.9	3.3	3.5	2.3	1.3	6.9	7.1	4.6	4.6	18.2	26.5
N	20.9	30.6	92.7	43.4	40.1	41.3	36.1	67.3	40.3	31.5	35.5
K	76.1	66.1	3.7	54.3	58.5	51.8	56.9	28.1	55.0	50.3	38.0
OR	70.4	58.9	2.7	46.0	50.0	44.4	49.7	22.0	47.2	45.9	34.8
AB	27.7	39.1	95.5	52.7	49.1	50.8	45.2	75.3	49.6	41.2	46.6
AN	1.9	2.1	1.8	1.3	0.8	4.8	5.1	2.8	3.2	13.0	18.5
QZ	45.9	43.8	22.9	36.3	41.1	29.5	34.1	36.1	39.1	37.4	43.8
OR	38.8	33.8	2.1	29.7	29.7	32.9	34.5	14.4	29.7	33.0	24.1
AB	15.3	22.4	75.0	34.0	29.2	37.6	31.4	49.4	31.2	29.6	32.2
QZ	53.5	55.6	86.8	54.3	57.7	44.7	47.3	69.0	55.2	47.0	54.3
OR	45.3	42.9	8.0	44.4	41.6	49.9	47.9	27.6	42.0	41.4	29.8
AN	1.2	1.5	5.2	1.3	0.7	5.4	4.9	3.5	2.9	11.7	15.9
QZ	73.8	65.0	23.1	51.1	58.1	41.7	49.4	41.3	54.1	49.0	49.3
AB	24.5	33.3	75.5	47.7	41.2	53.3	45.5	56.6	43.1	38.8	36.3
AN	1.7	1.8	1.4	1.2	0.7	5.0	5.1	2.1	2.8	12.2	14.4

ANNEXE 6

TABLEAU DES MESURES SPECTROMETRIQUES (pourcentage
des équivalences Th-U-K)

Affleurement	eTh	eU	eK	Lithologie
102	67.5	19.9	12.6	G ₂
107	62.9	25.5	12.0	G ₂
110	66.5	26.0	7.4	G ₂
112	59.0	24.5	16.5	G ₂
124	58.0	28.9	13.0	G ₂
125A	54.0	22.0	24.1	G ₃
125B	74.1	16.9	9.0	GN
128	74.9	15.9	9.2	G ₂
129A	74.6	16.7	8.7	GN
129B	75.4	15.5	9.1	GN
129C	78.6	13.7	7.6	GN
129D	76.0	14.5	9.4	GN
135	73.0	16.9	10.1	GN
138	65.3	20.9	13.8	G ₃
141	61.9	16.1	21.9	PEG
142A	67.3	19.4	13.3	PEG
142B	75.8	16.0	8.2	GN
142C	62.8	19.0	18.2	GN
142D	72.7	16.7	10.6	GN
145	72.7	18.3	8.9	GN

Tableau 6 (suite 1)

Affleurement	eTh	Eu	eK	Lithologie
146A	70.0	18.7	11.3	GN
146B	52.4	19.9	27.8	G ₂
146C	43.1	24.5	32.4	G ₂
146D	49.0	27.9	23.1	G ₂
148	48.3	28.4	23.4	G ₂
150B	51.9	23.5	24.7	PEG
150C	76.7	16.2	7.0	GN
151B	77.7	14.8	7.5	GN
153A	82.5	13.8	3.7	GN
153D	63.5	19.1	17.4	GN
153E	77.6	15.7	6.6	GN
153F	76.6	16.6	6.8	GN
154	78.8	13.5	7.7	GN
156A	75.8	17.9	6.3	GN
156B	75.6	17.9	6.4	GN
156D	57.7	26.7	15.6	PEG
156E	67.1	21.9	10.9	PEG
156F	71.4	20.9	7.6	GN
167B	70.9	23.5	5.6	GN
167C	73.8	19.9	6."	GN
191	77.4	20.3	2.3	GN
197	79.1	18.2	2.7	GN

Tableau 6 (suite 2)

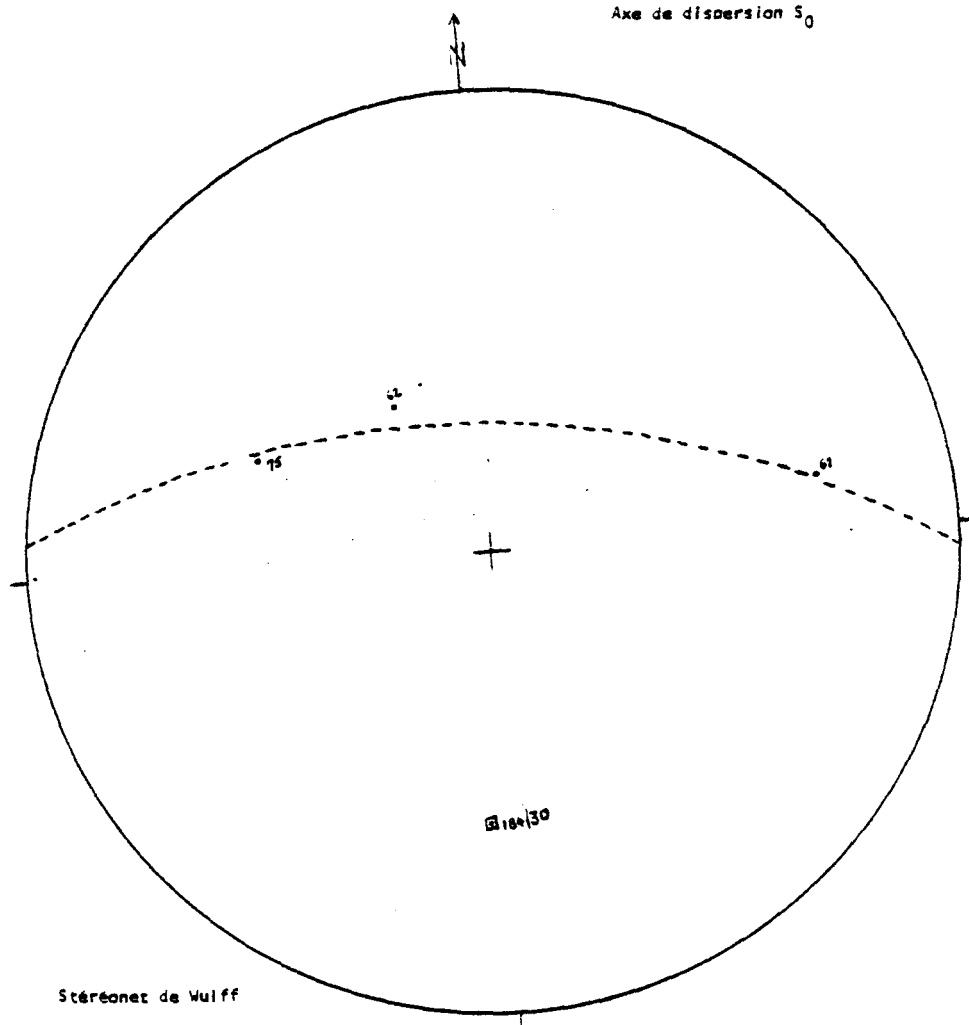
Affleurement	eTh	eU	eK	Lithologie
198	75.8	22.4	1.7	GN
199A	75.2	18.2	6.7	GN
204	76.4	16.5	7.1	GN
207	52.7	31.7	15.6	G ₃
209	71.0	21.9	7.0	GN
221	58.9	29.0	12.1	G ₃
228	72.7	19.9	7.5	PEG
245	67.7	19.4	12.9	G ₂
247A	36.4	36.0	27.6	G ₃
247B	29.4	52.4	18.1	G ₄
248A	67.9	27.2	4.9	G ₃
248B	66.1	24.3	9.6	PEG
253	65.8	18.0	16.1	G ₂

GN Gneiss granitiques
 G₂ Granite à biotite
 G₃ Granite à 2 micas
 G₄ Granite hololeucocrate
 PEG Pegmatites

ANNEXE 7

STEREOGRAMMES: ANALYSE STRUCTURALE DE LA REGION DE
CYMBILI

Secteur 1

Pôles de stratification S_0 Axe de dispersion S_0 

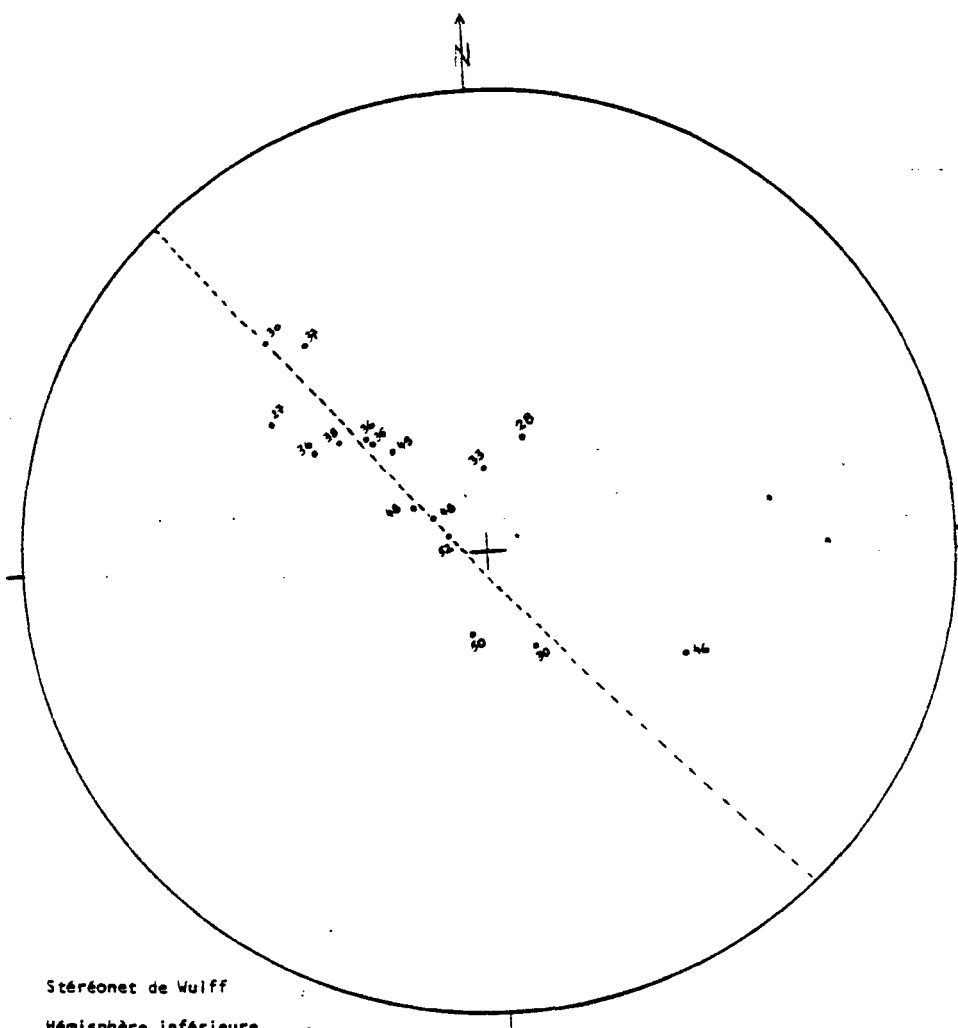
Stéréonet de Wulff

Hémisphère inférieure

Stéréogramme n° 1

Secteur 3

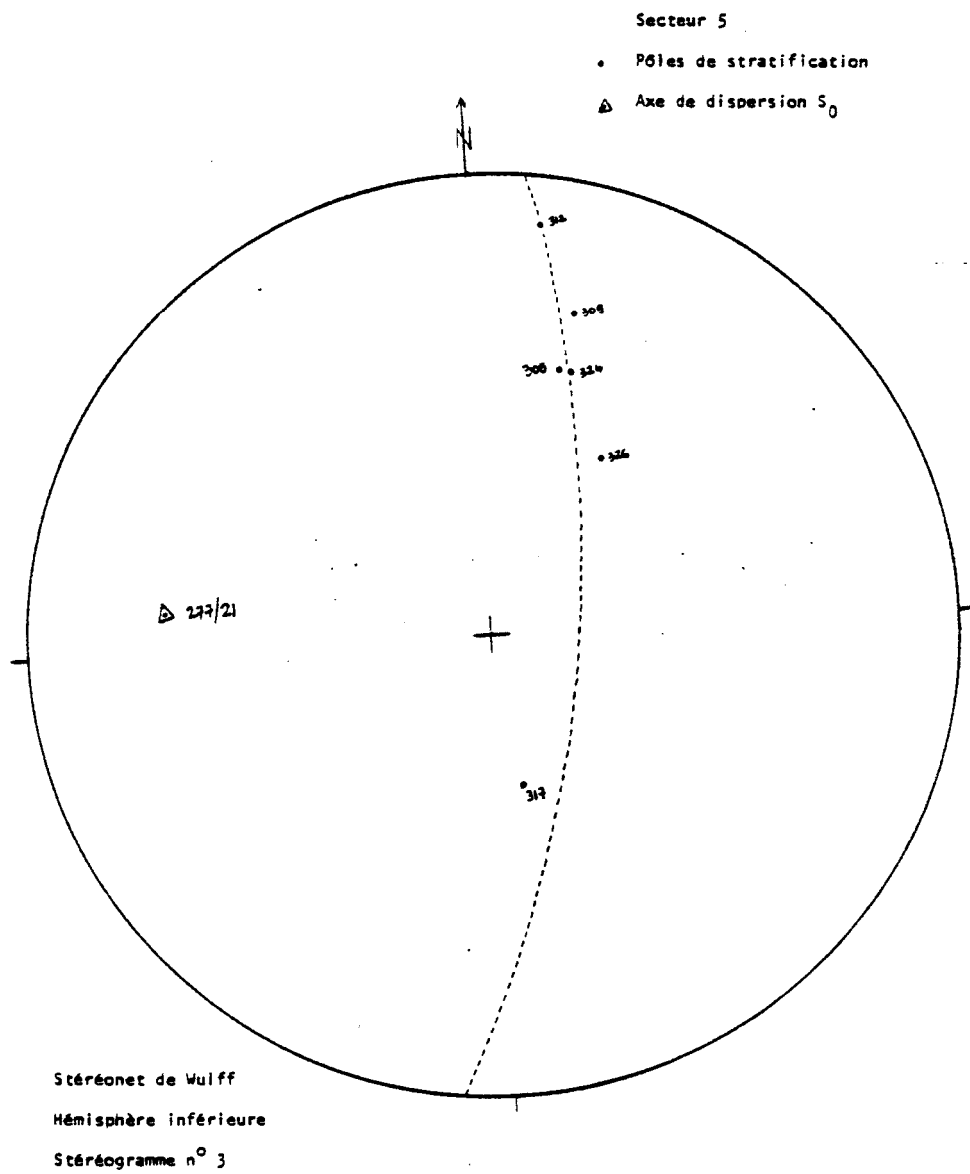
Pôles de stratification



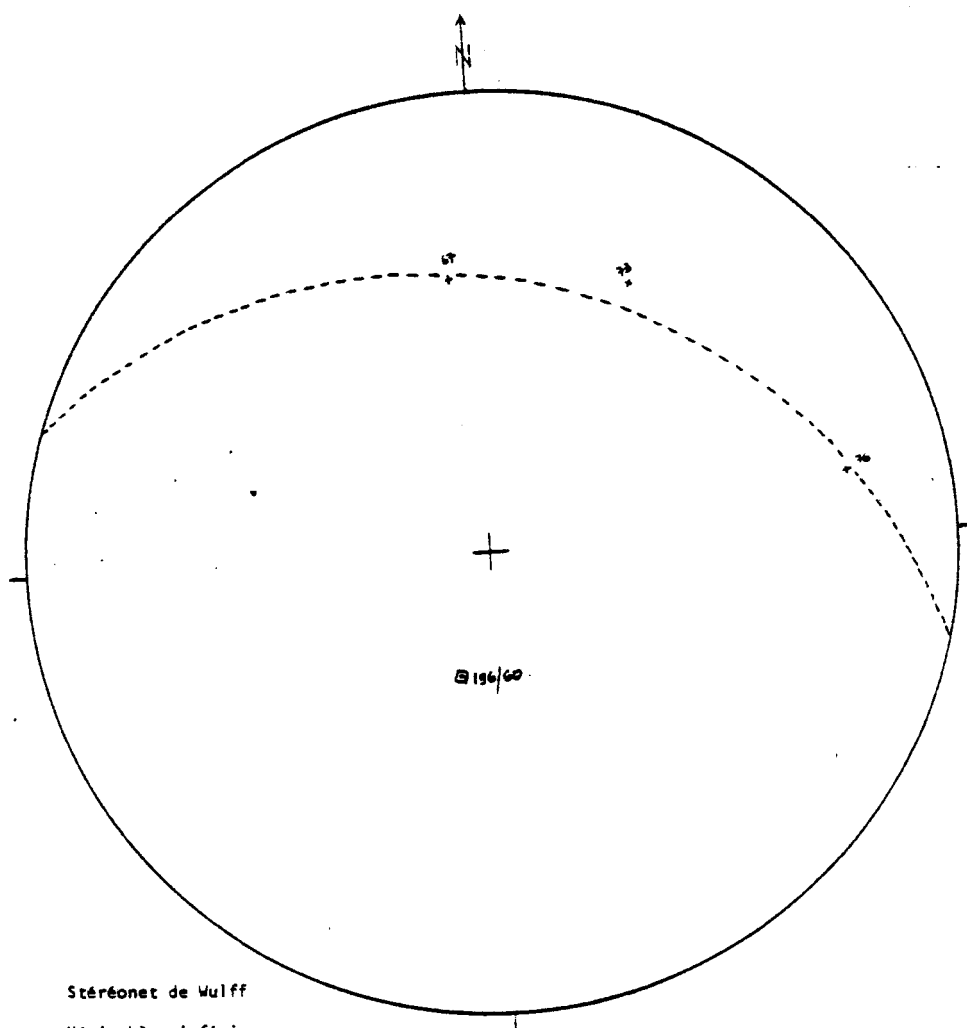
Stéréonet de Wulff

Hémisphère inférieure

Stéréogramme n° 2



Secteur 1

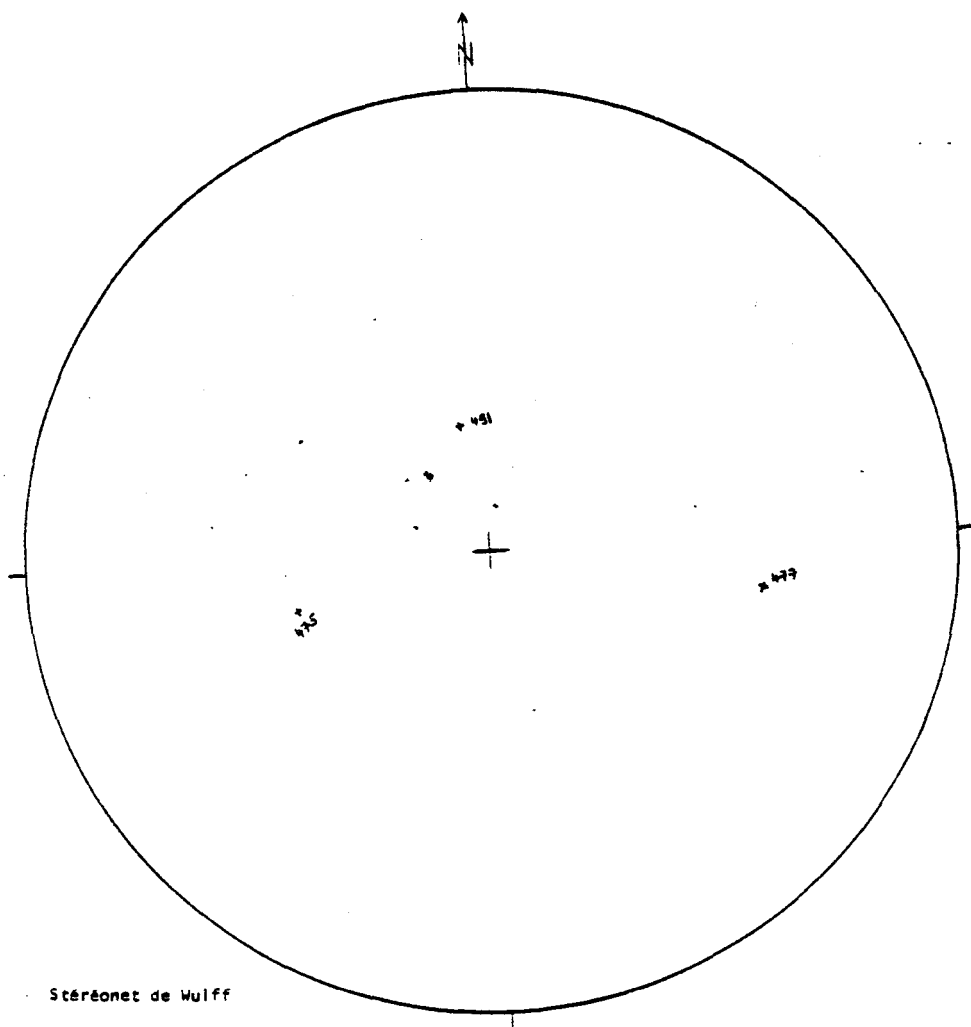
Pôles de schistosité S_1 

Stéréonet de Wulff

Hémisphère inférieure

Stéréogramme n° 4

Secteur 2

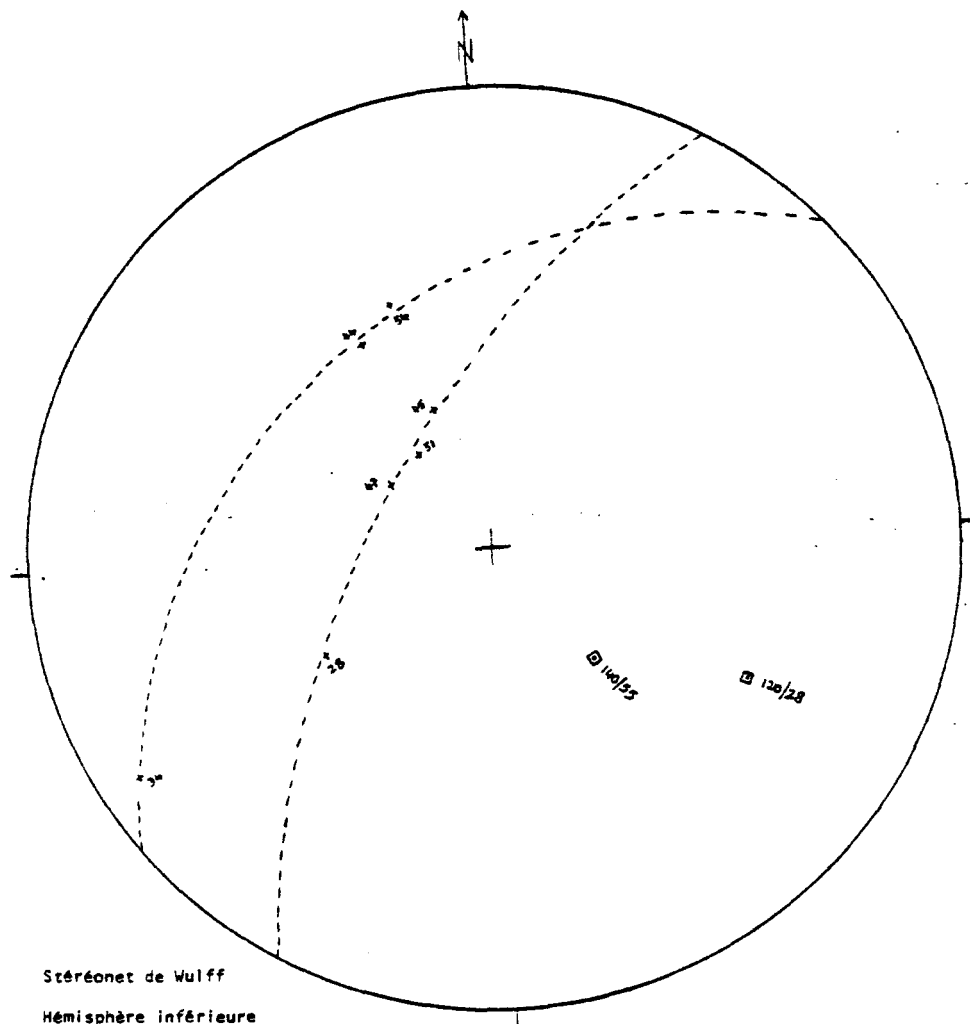
Pôles de schistosité S_1 

Stéréonet de Wulff

Hémisphère inférieure

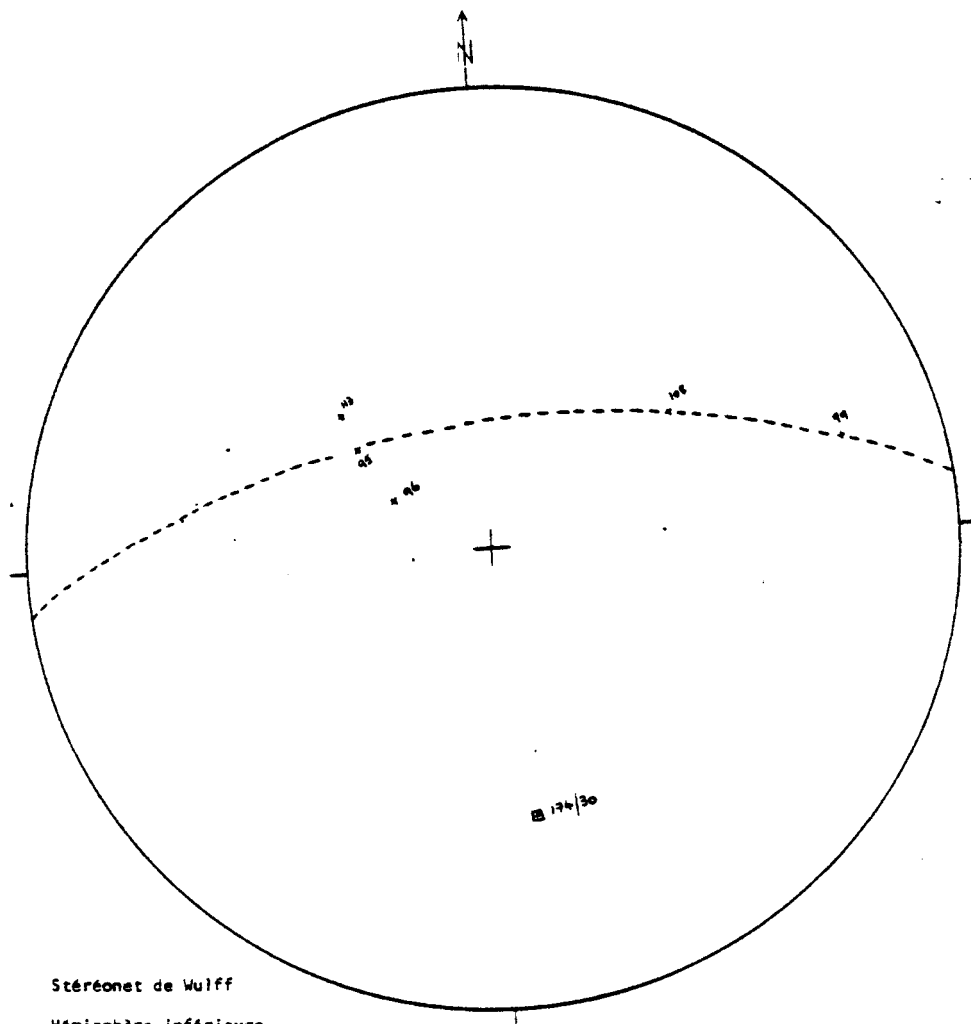
Stéréogramme n° 5

Secteur 3

Pôles de schistosité S_1 

Stéréonet de Wulff
Hémisphère inférieure
Stéréogramme n° 6

Secteur 4

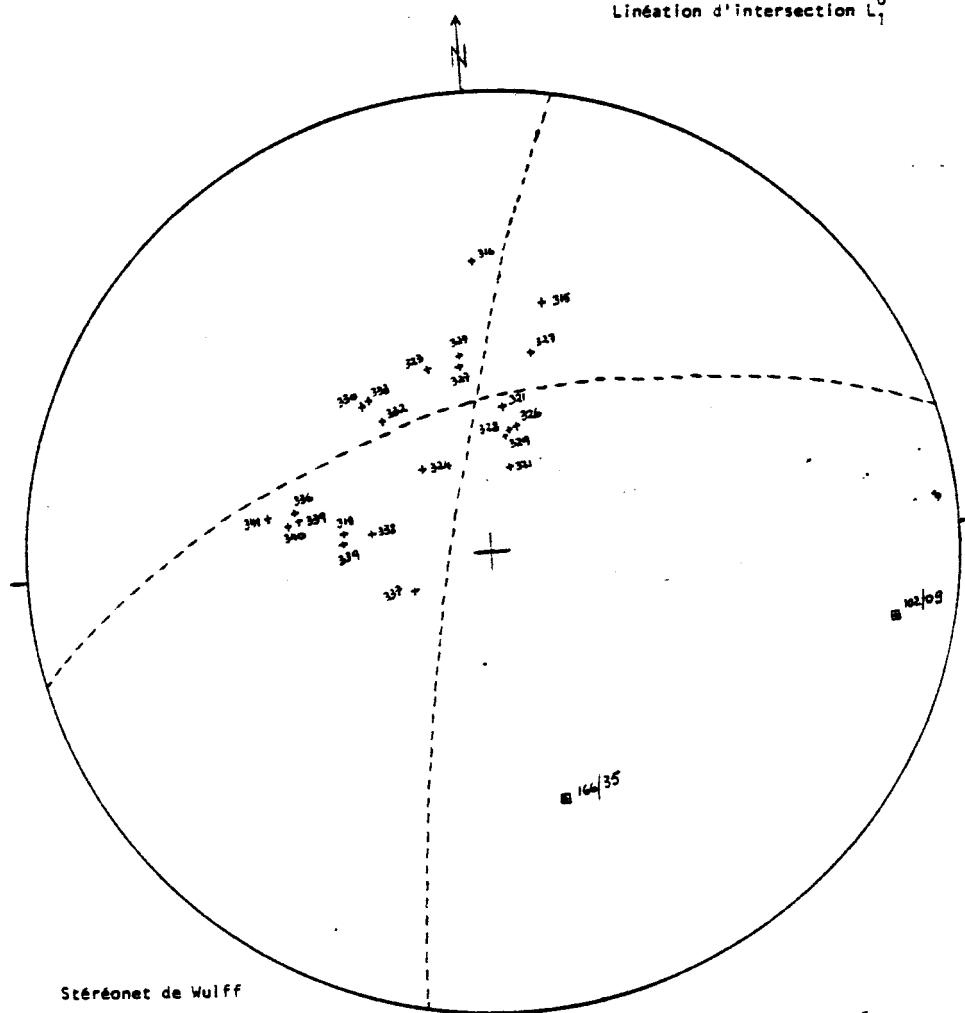
Pôles de schistosité S_1 

Stéréonet de Wulff

Hémisphère inférieure

Stéréogramme n° 7

Secteur 5

Pôles de schistosités S_1 Linéation d'intersection L_1^0 

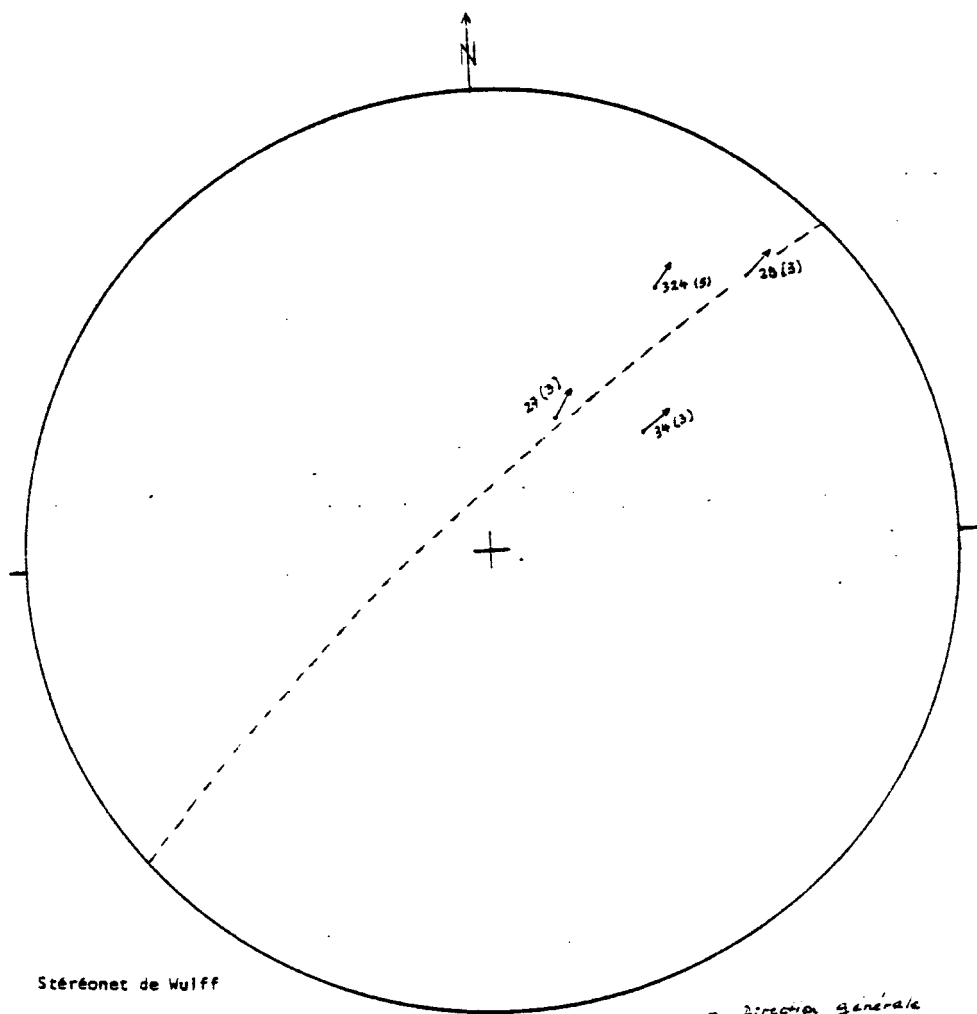
Stéréonet de Wulff

Hémisphère inférieure

Stéréogramme n° 8

□ Axes de dispersion S_1

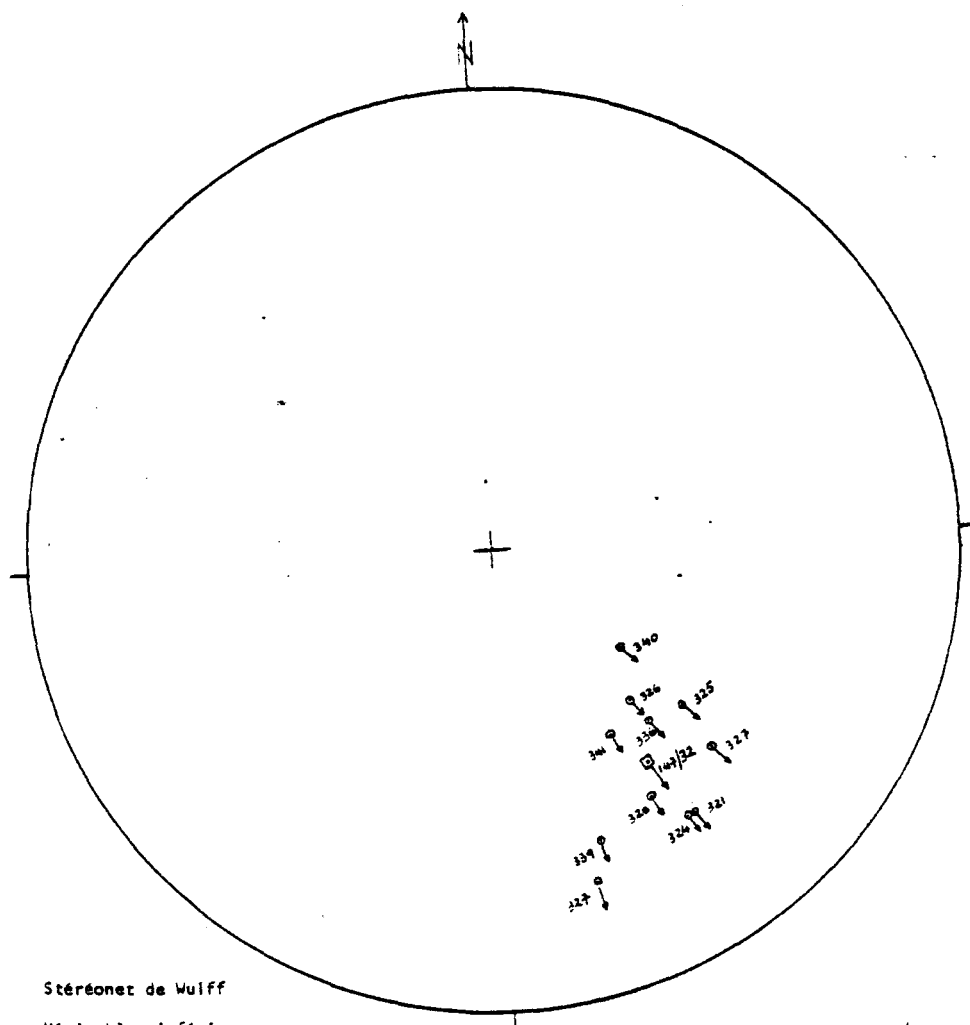
Secteurs 3 et 5

Linéations d'intersection L_1^0 

Stéréonet de Wulff
Hémisphère inférieure
Stéréogramme n° 9

--- Direction générale
des linéations L_1^0

Secteur 5

Linéations de crénulation L_2^1 

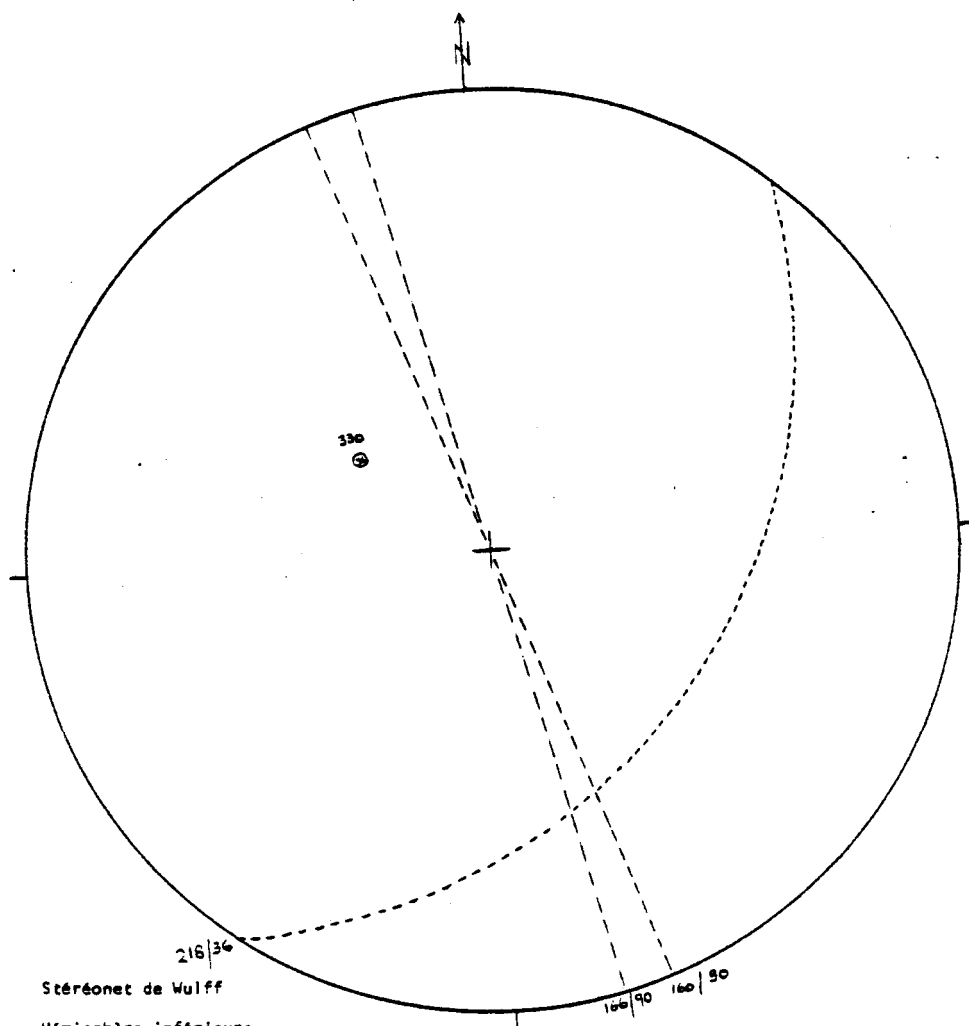
Stéréonet de Wulff

Hémisphère inférieure

Stéréogramme n° 10

\bullet Linéation L_2^1
 moyenne

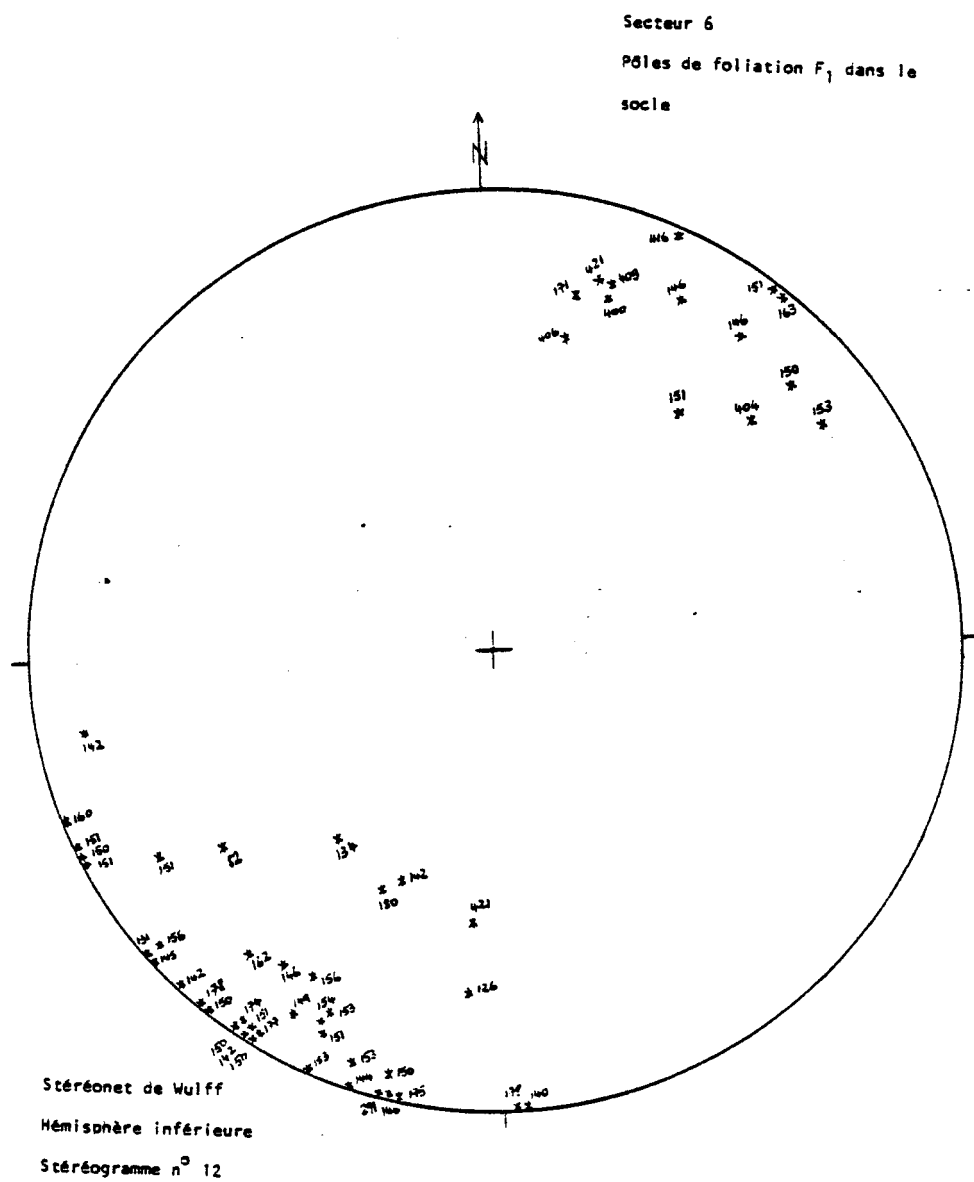
Secteur 5

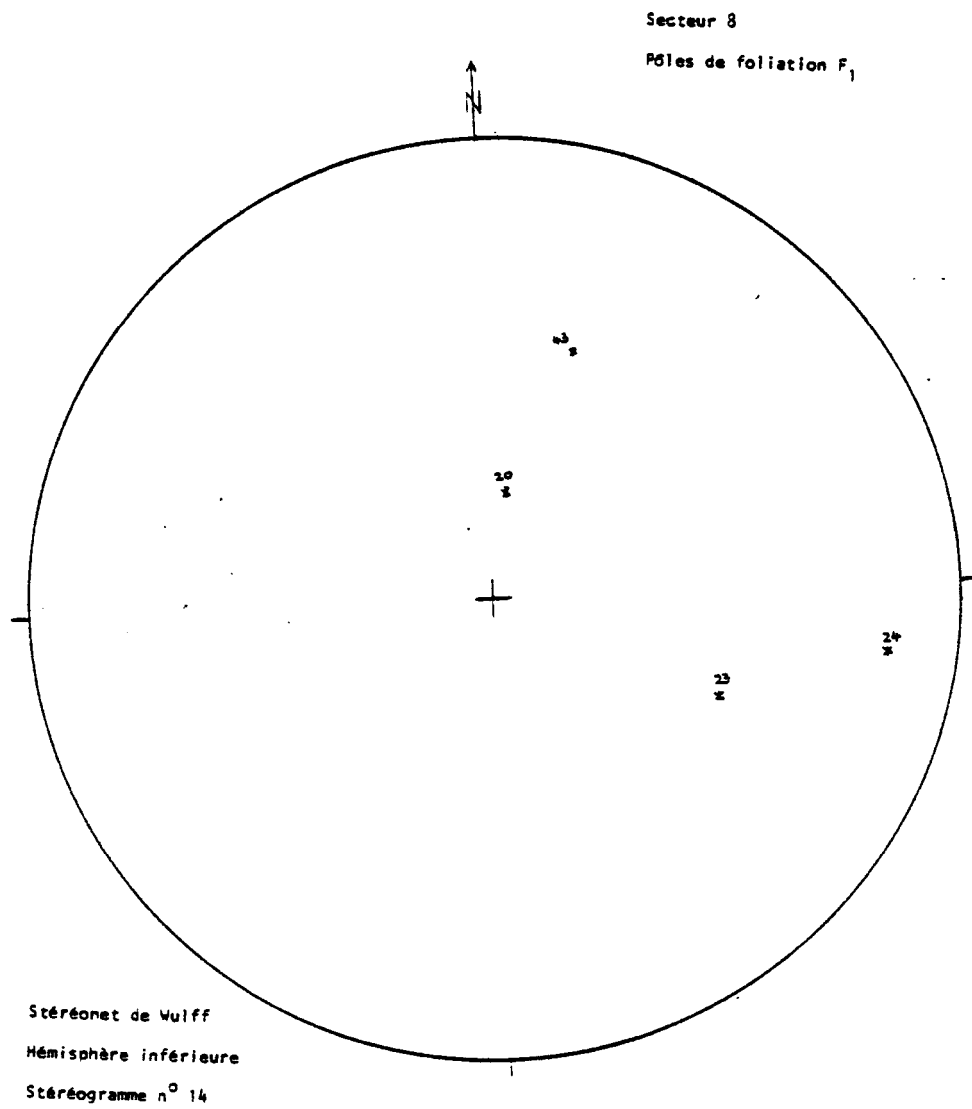
Pôles de 2^{ème} schistosité S_2 

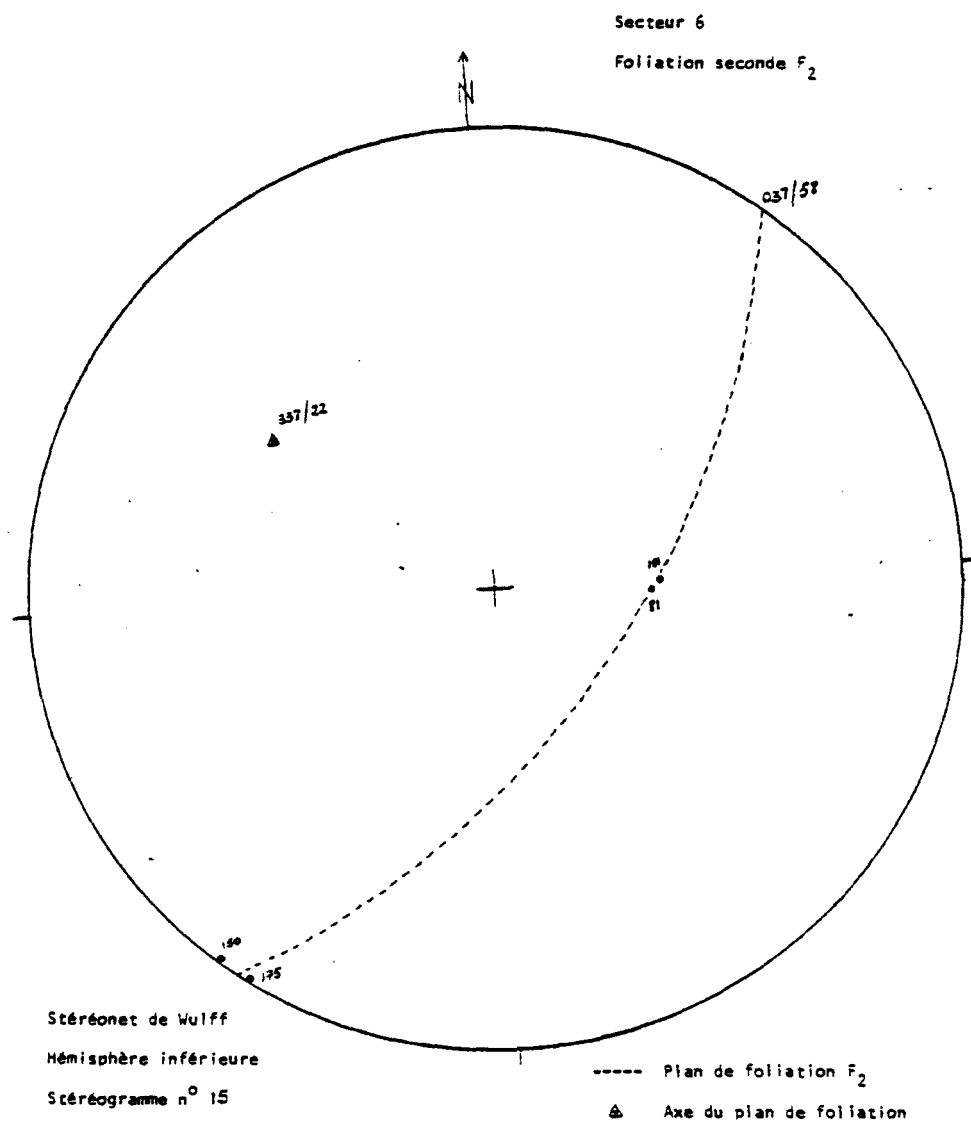
Stéréonet de Wulff

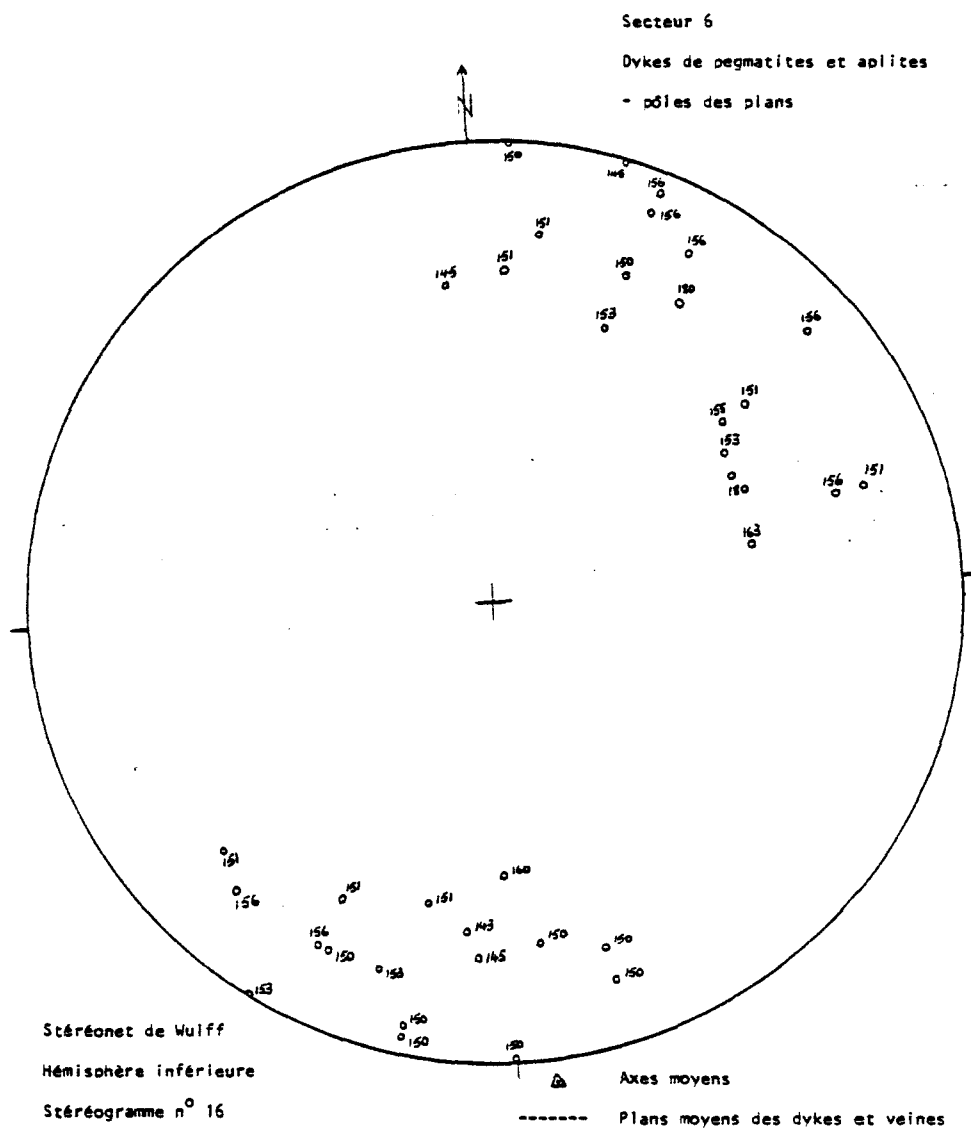
Hémisphère inférieure

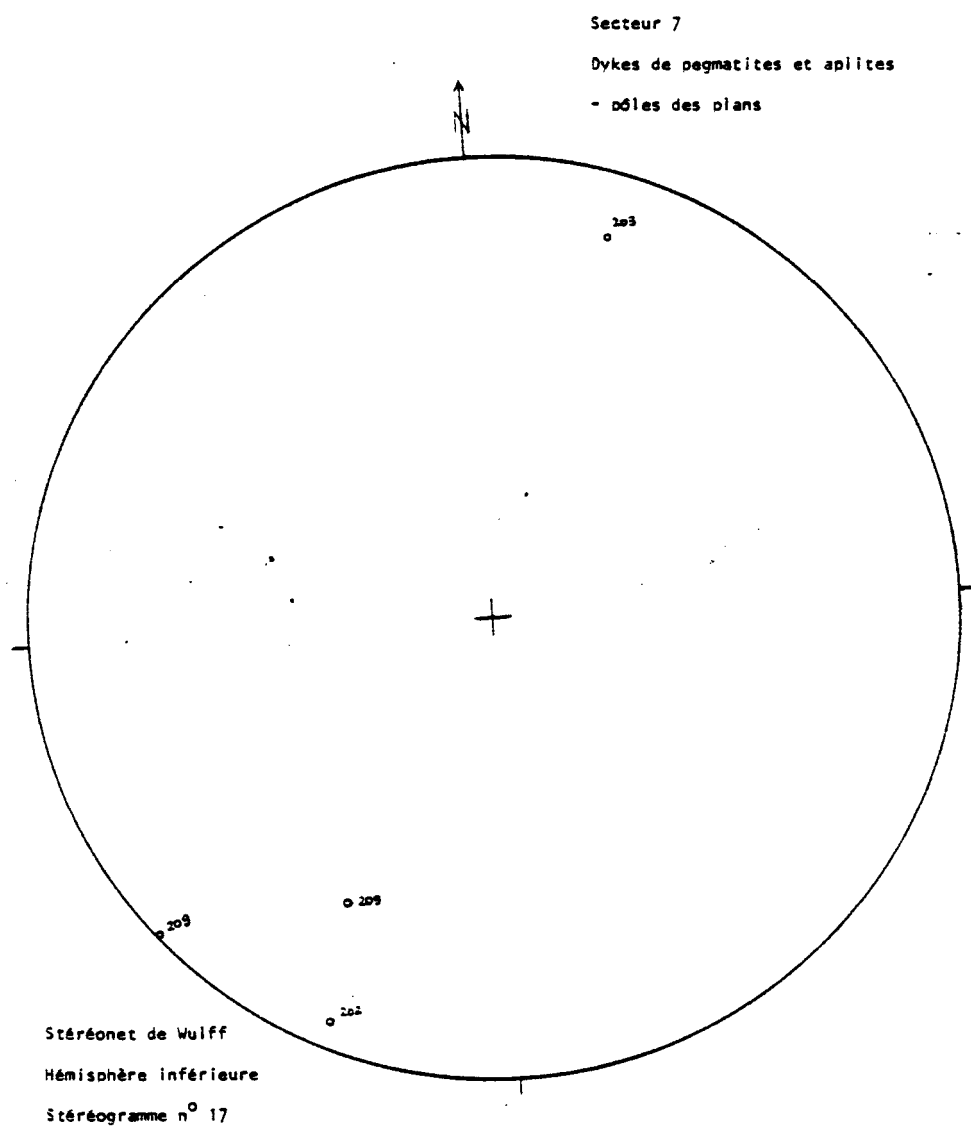
Stéréogramme n° 11



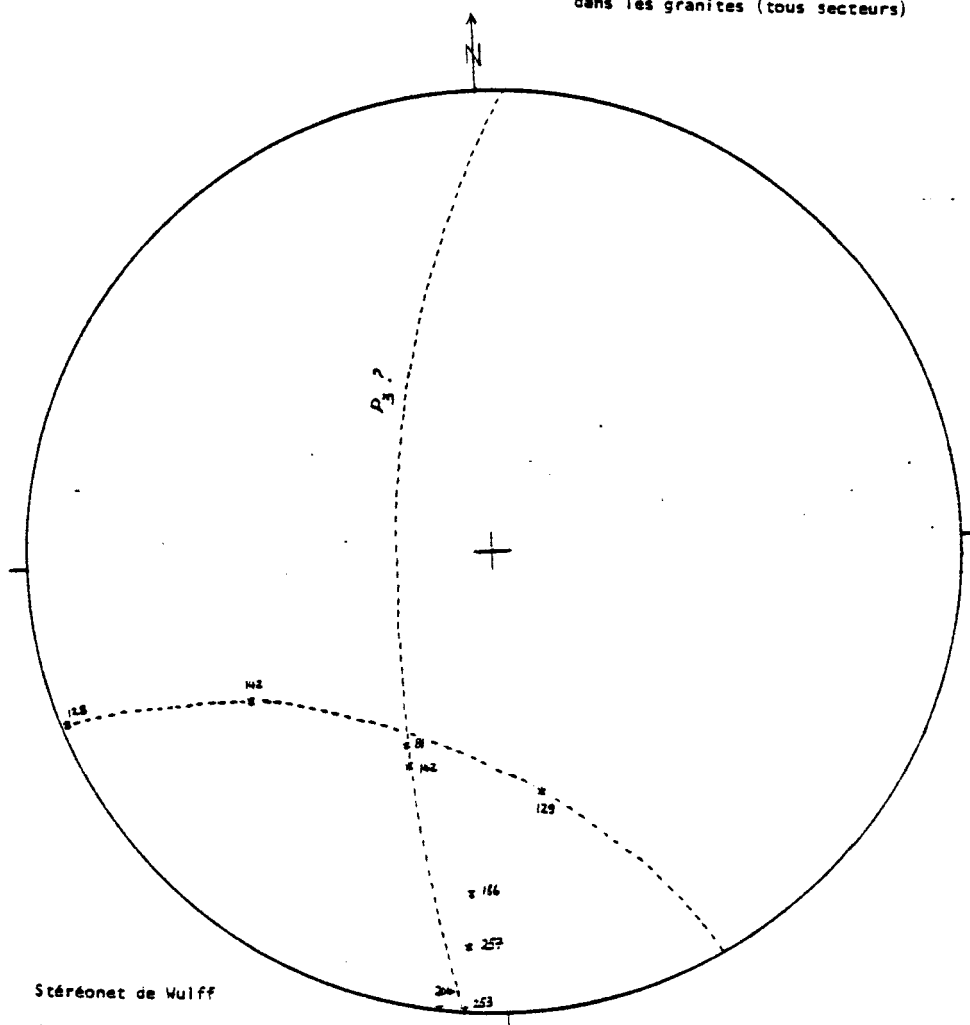








Pôles des plans de foliation F_1
dans les granites (tous secteurs)



Stéréonet de Wulff
Hémisphère inférieure
Stéréogramme n° 18

ANNEXE 8

LISTE DES LOCALITES

Régions	Localités	Lithologies types
Cyimbili	1	Amphibolite migmatisée type 1 Migmatite de Cyimbili Granite G ₁ , stock subconcordant
Knora	2	Dyke mafique non déformé, type IV coupant les perigmatites et les gneiss granitiques oeillés. Discordance angulaire entre le socle et la couverture
Biruyi	3	Discordance angulaire entre les gneiss granitiques oeillés du socle et le conglomérat de base de la séquence burundienne
Rugamba	4	Granite à biotite G ₂ , pluton subconcordant à la foliation régionale
Kayove	5	Migmatite Pegmatite bréchifiée

Liste des localités (suite)

Régions	Localités	Lithologies types
Murunda	6	Granites hololeucocrates avec enclaves de roches métasédimentaires Indice très élevé eTh dans des sédiments d'origine inconnue, à environ 2 km du pont Murunda, sur la route vers Gisenyi
Nyakibanda	7	Gneiss granitique ocellé, faciès de cisaillement en milieu ductile Gneiss migmatitique rubanné (injection lit par lit)
Rutsiro	8	Zone pegmatitique intrusive dans le granite à deux micas G ₃ Poches pegmatitiques sur la route vers Gishwati Granite à deux micas G ₃ avec grenat, sur la route vers Kayove
Gakomeye	9	Pegmatite boudinée (Gakomeye sud) Mafique type IV (Gakomeye nord) Migmatite Niveau de turbidites (rivière Gasumo) Métamorphisme prograde (rivière Gasumo)

Liste des localités (suite)

Régions	Localités	Lithologies types
Nyagatare	10	Grande hétérogénéité dans les faciès gneissiques de Nyagatare
		Gneiss à grenat et à feldspaths bleus
		Granite similaire à celui de Muranda
		Granite rose porphyrique, non déformé (faciès Rapakivi)
		Deux phases distinctes de migmatisation
Kawangire	11	Cisaillement et fusion partielle dans les gneiss granitiques
		Gneiss à grenat et feldspaths bleus
		Leucogranite à grenat avec enclaves de roches métasédimentaires
		identique à celui de Muranda
		Contact graduel gneiss à grenat - leucogranite
Mara	12	Minéralisations d'étain dans les veines de quartz fumé (mine de Mara)
	13	Quartzite recristallisée de Mara

GEOLOGIE DU MASSIF GNEISSIQUE DU MUTARA (Sonschognin et Mercier, 1983)

ECHELLE

0 5 10 15 km

1/250000



30°15'

30°30'

216

1°45'

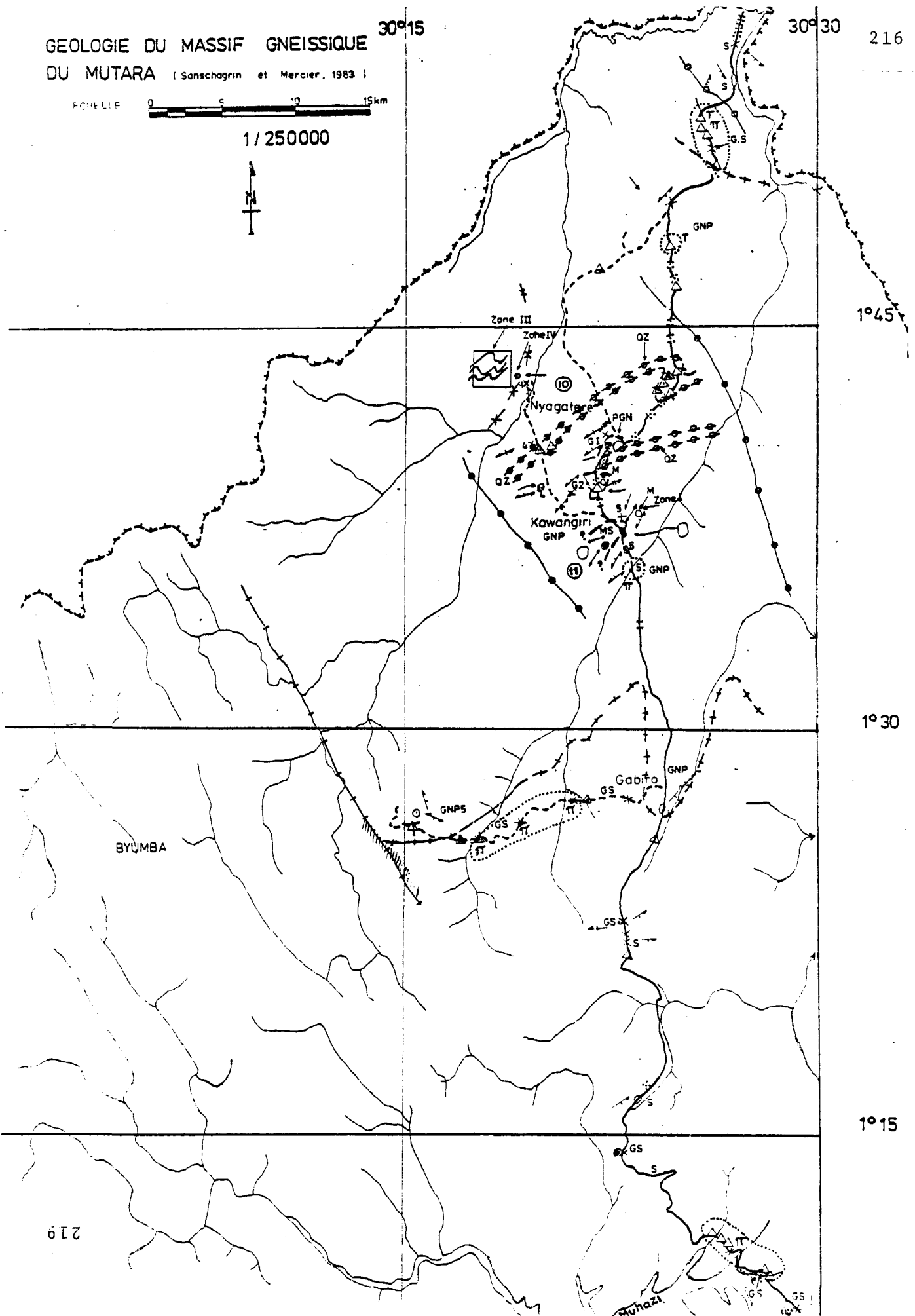
1°30'

1°15'

BYUMBA

219

Muhazi



ANNEXE 9




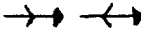

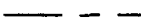
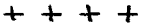
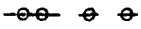
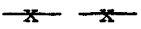
LEGENDE DE LA CARTE GEOLOGIQUE DU MASSIF
GNEISSIQUE DU MUTARA (Sanschagrin et Mer-
cier, 1983)

Symboles géologiques:





Lithologies:

Sol pisolithique induré	∴
Zone riche en pegmatites indifférenciées	π
en pegmatites à tourmaline	T
Granite rouge grossier à porphyroblastes de feldspath	G ₃ G ₂ G ₁
Micaschistes	MS
Paragneiss feldspathique, muscovite-schiste	PGN
Quartzite recristallisée	QZ
Intrusion mafique	M
Quartzite et grès grossier quartzeux	GS
Schistes	S
Gneiss à porphyroblastes de feldspath	GNP
(le chiffre à côté de l'affleurement indique la variété)	

Tectonique:

Foliation (F_1)	
Schistosité (S_1 et S_2)	
Strie de glissement	
Axe de plis parasites: antiforme synforme	
à double plongée	
Contact géologique observé, présumé, con-	
firmé, présumé par	
radiométrie	
par magnétométrie	
Front de migmatisation	

Symboles conventionnels:

Route principale (secondaire) visitée	
Rivière	
Aire d'affleurement	
Blocs et débris plus ou moins en place	
Nom de la localité	Gabiro
Lomite de la zone cartographiée	-----
Frontière du pays	T T T
Affleurement isolé	X