

DEPARTEMENT DES SCIENCES APPLIQUEES

MEMOIRE

PRESENTE

A L'UNIVERSITE DU QUEBEC

A CHICOUTIMI

POUR L'OBTENTION

DU GRADE DE MAITRISE ES SCIENCES APPLIQUEES

PAR

ANDRE GAUTHIER

BACHELIER ES SCIENCES DE LA TERRE

DE L'U.Q.A.C

ETUDE MINERALOGIQUE, PETROGRAPHIQUE

ET GEOCHIMIQUE DE LA ZONE A TERRES RARES

DE LA CARBONATITE DE ST-HONORE

JANVIER 1979



Mise en garde/Advice

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

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

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

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

TABLE DES MATIERES

	Page
RESUME	
CHAPITRE I	
Introduction	1
- Généralités sur les carbonatites et les dépôts de terres rares.	1
1. Carbonatites	1
2. Dépôts de terres rares	2
3. Dépôts de terres rares associés aux carbonatites	4
- But du travail	5
CHAPITRE II	
Géologie de la zone à terres rares	6
- Situation générale	6
1. Géologie régionale	6
2. Géologie du complexe alcalin de St-Honoré. . .	11
3. Travaux antérieurs	14
- Géologie de la zone à terres rares par rapport au com- plexe alcalin de St-Honoré et d'après les travaux anté- rieurs	18
CHAPITRE III	
Minéralogie de la zone à terres rares	19
- Introduction	19
- Minéralogie générale	25
1. Classe des Carbonates	25
a- Dolomite, Ankérite	25
b- Calcite	25
c- Sidérose.	27
2. Classe des Silicates	27
a- Feldspaths	27
b- Chlorite	27
c- Phlogopite	28
d- Quartz	28

	Page
3. Classe des Phosphates	28
a- Apatite	28
4. Classe des Sulfates	32
a- Barytine	32
5. Classe des Oxydes	32
a- Magnétite	32
b- Hématite	32
c- Pyrolusite	33
d- Rutile	33
6. Classe des Sulfures	33
a- Pyrite	33
b- Pyrrhotine	33
c- Chalcopyrite	33
7. Autres	34
a- Antraxolite	34
b- Inconnus	34
- Minéralisation renfermant les terres rares	34
1. Bastnaesite	34
a- Propriétés optiques	34
b- Identification par la diffraction des rayons-x	36
c- Etude à la microsonde électronique et la morphologie des grains	36
d- Discussion de la morphologie des grains . .	
2. Monazite	43
a- Propriétés optiques	43
b- Identification par la diffraction des rayons-x	43
c- Etude à la microsonde électronique et la morphologie des grains	48

	Page
CHAPITRE IV	
Petrographie des roches de la zone à terres rares	50
- Introduction	50
- Distribution spatiale des unités géologiques de la zone à terres rares	50
- Description Mégascopique des principales unités géologiques de la zone à terres rares	51
1. Carbonatite fraîche	51
2. Carbonatite ankéritique rouge	54
3. Carbonatite limonitique jaune-brun	54
4. Carbonatite à chlorite	57
- Caractéristiques microscopiques générales et spécifiques des quatre unités lithologiques de la zone à terres rares	57
1. Structure	57
2. Carbonates	60
3. Minéraux opaques et semi-opaques	62
4. Chlorite	67
5. Minéraux accessoires	71
- Distribution de la minéralisation des terres rares dans les quatre unités lithologiques de la zone à terres rares	83
1. Minéralisation associée à la carbonatite	83
a- Bastnaesite fraîche	83
b- Monazite	84
2. Minéralisation associée à la carbonatite ankéritique	84
a- Bastnaesite	84
b- Monazite	86
3. Minéralisation associée à la carbonatite limonitique	86
a- Bastnaesite	86
b- Monazite	86

	Page
4. Minéralisation associée à la carbonatite limonitique	86
a) Bastnaesite	86
b) Monazite	89
- Paragénèse des minéraux	89

CHAPITRE V

Géochimie de la zone à terres rares	96
- Introduction	96
- Distribution spatiale des concentrations de La_2O_3 dans la zone à terres rares	96
1. Formation de zones de concentration de La_2O_3 et modèle de zonation géochimique du La_2O_3	97
2. Relation entre les unités lithologiques et les zones de concentration de La_2O_3 de la zone à terres rares de St-Honoré.....	99
3. Signification génétique de la zonation géochimique du La_2O_3	103
- Distribution relative des terres rares	103
1. Distribution relative des terres rares dans les zones de concentration de La_2O_3	104
2. Patrons d'enrichissements en terres rares, normalisés	105
a- Introduction	105
b- Discussion des résultats	105
c- Interprétation des résultats	115
- Reconstitution minéralogique	121
1. Discussion des résultats	121
2. Conclusion de la reconstitution minéralogique	121
- Diagrammes de corrélation	124
1. Comportement des éléments chimiques par rapport aux terres rares	124
2. Interprétation du comportement des éléments chimiques majeurs, mineurs et traces	125

CHAPITRE VI

Origine de la carbonatite de la zone à terres rares de
 St-Honoré et origine de la minéralisation de terres rares . . .132

- Origine de la carbonatite de la zone à terres rares de
 St-Honoré132

- Modèle d'origine de la minéralisation de terres rares138

- Type de dépôt de terres rares140

- Conclusion

REMERCIEMENTS

REFERENCES CITEES

LISTE DES FIGURES

	Page
Chapitre 2	
Figure 1. Carte structurale schématique de la région du Saguenay.	7
Figure 2. Système de rift du St-Laurent et sa comparaison avec le système de rift africain.	8
Figure 3. Géologie du complexe alcalin de St-Honoré. (1: 32, 188)	11
Figure 4. Bloc-Diagramme du complexe alcalin de St-Honoré et de la zone à Terres rares.	12
Figure 5. Carte isopach de l'épaisseur du Calcaire Trenton	14
Figure 6. Carte Radiométrique du complexe alcalin de St-Honoré. (1: 32, 188)	15
Figure 7. Carte Aéromagnétique d'une portion du canton Simard. (1: 32, 188)	16
Figure 8. Carte gravimétrique du complexe alcalin de St-Honoré. (1: 32, 188)	17
Chapitre 3	
Figure 9. Analyse Thermodifférentielle de Carbonates.	26
Figure 10. Patron de rayons-x de la chlorite.	29
Figure 11. Analyses Thermodifférentielles et thermogravimétriques de la chlorite.	30
Figure 12. Patron de rayons-x de la bastnaesite.	37
Figure 13. Patron de rayons-x de la bastnaesite - synchisite.	38
Figure 14. Eléments caractéristiques de la bastnaesite, détectés à la microsonde électronique.	39
Figure 15. Eléments caractéristiques de la monazite, détectés à la microsonde électronique	49

Chapitre 4	Page
Figure 16. Coupe géologique Nord-Sud de la zone à Terres rares.	52
Figure 17. Coupe géologique Est-Ouest de la zone à Terres rares.	53
 Chapitre 5	
Figure 18. Variation cyclique irrégulière des valeurs de La_2O_3 des échantillons de 10' formant une zone de concentration "x".	97
Figure 19. Projection Horizontale du modèle de zonation des concentrations de La_2O_3 à l'intérieur de la zone à Terres rares.	100
Figure 20. Coupe Nord-Sud montrant la zonation des concentrations de la La_2O_3 à l'intérieur de la zone à Terres rares.	101
Figure 21. Coupe Est-Ouest montrant la zonation des concentrations de La_2O_3 à l'intérieur de la zone à Terres rares.	102
Figure 22. Schéma d'évolution des solutions hydrothermales pouvant résulter en zones de concentration de La_2O_3 .	104
Figure 23. Distribution relative des Terres rares dans 6 différents minéraux (selon Adams, 1972).	106
Figure 24. Distribution relative des Terres rares dans les 5 zones de concentration de La_2O_3 rencontrées à St-Honoré.	107
Figure 25. Patrons d'enrichissements en Terres rares, normalisés par rapport aux <u>chondrites</u> , de 11 échantillons "composite" de la zone à Terres rares de St-Honoré; analyses obtenues par activation neutronique, Ecole Polytechnique, Montréal.	116

	Page
Figure 26. Patrons d'enrichissements en Terres rares, normalisés par rapport aux chondrites de 17 échantillons "composite" de la zone à Terres rares de St-Honoré: Analyses obtenues par fluorescence - x, X-Ray laboratories, Toronto.	117
Figure 27. Patrons d'enrichissements en Terres rares, normalisés par rapport aux chondrites, de différents complexes de carbonatite du monde (Californie, Colorado, Afrique).	119
Figure 28. Patrons d'enrichissement en Terres rares, normalisés, provenant de différents dépôts ou prospectes de Terres rares.	120
Figure 29. Diagrammes de corrélation d'éléments chimiques par rapport aux Terres rares.	126
a- Corrélation Al_2O_3 - Tr_2O_3 et $MnO-Tr_2O_3$	
b- Corrélation CaO - Tr_2O_3	
c- Corrélation MgO - Tr_2O_3	
d- Corrélation CO_2 - Tr_2O_3	
Figure 30. Diagrammes de corrélation d'éléments chimiques par rapport aux Terres rares.	127
a- Corrélation P_2O_5 - Tr_2O_3	
b) Corrélation SrO - Tr_2O_3	
c) Corrélation H_2O - Tr_2O_3	
d) Corrélation ThO_2 - Tr_2O_3 et TiO_2 - Tr_2O_3	
Figure 31. Diagramme de corrélation entre FeO et Tr_2O_3 .	128
Figure 32. Coupe schématique sud-nord à travers la zone à Terres rares montrant le comportement des :	130
a) Elements majeurs (CaO , MgO , FeO , SiO_2 , Al_2O_3 , MnO , P_2O_5)	
b) Elements mineurs (Tr_2O_3 , H_2O^+ , TiO_2 , K_2O , Na_2O , F , S , Zn)	

Chapitre 6	Page
Figure 33. Origine du dépôt de terres rares de St-Honoré.	136

LISTE DES PLANCHES

	Page
Chapitre III	
Planche 1. a) Dolomitite ankéritique bréchique rouge teintée au FeCn et Alizarin S. ; notez les fragments dolomitiques (blanc) (806-433).	35
b) Feldspaths potassiques (jaune) intersticiels dans une carbonatite à chlorite (806-26.2).	35
c) Barytine (rose) en veinule intersticielle dans une dolomitite fraîche; notez l'antraxolite noir (806-483).	35
d) Antraxolite (noir) intersticiel dans une dolomitite fraîche (806-473).	35
Planche 2. a) Aiguilles de bastnaesite brun-rouges semi-opaques (1m. 801-210.5, lumière transmise, nicol simple).	40
b) Aiguilles de bastnaesite hématitisées (1mp. 805-220.7, lumière réfléchie, nicol simple).	40
c) Aiguilles grises de bastnaesite hématitisées (1mp. 808-212, lumière réfléchie, nicol simple).	40
d) Aiguilles de bastnaesite (3-6u) dans la carbonatite ankéritique à forte teneur en Terres rares (1mp. 802-164, microsonde électronique).	40
e) Aggrégats d'aiguilles de bastnaesite groupées en grains xénomorphes (1mp. 802-164, microsonde électronique).	40
f) Aiguilles de bastnaesite (10u) associées à la carbonatite ankéritique (1mp. 802-164, microsonde électronique)	40
Planche 3. a) Aiguilles de bastnaesite associées à une carbonatite ankéritique à forte teneur en Terres rares (1mp. 806-111.7, microsonde électronique).	45
b) Aiguilles de bastnaesite (10u) groupées en aggrégats dans une carbonatite ankéritique; agrégats à maille ouverte (1mp. 808-212, microsonde électronique).	45

	Page
c) Aiguilles de bastnaesite (30 X 2u) associés à une dolomitite fraîche à faible teneur en Terres rares (Imp. 807-251, microsonde électronique).	45
d) Aiguilles de bastnaesite groupées en agrégats dans une dolomitite fraîche (Imp. 805-220.7, microsonde électronique).	45
e) Plages de grains xénomorphes de bastnaesite associés à une dolomitite fraîche à faible teneur en Terres rares (Imp. 808-116, microsonde électronique).	45
f) Grains xénomorphes de bastnaesite (20-50u)(Imp. 807-251, microsonde électronique).	45
Planche 4. a) Petits grains hypidiomorphes de bastnaesite groupés en agrégats dans une carbonatite limonitique jaune (Imp. 806-232, microsonde électronique).	47
b) Plages (!) de bastnaesite associées à la carbonatite limonitique jaune (Imp. 806-232, microsonde électronique).	47
c) Plage matricielle de bastnaesite composée de grains xénomorphes (Imp. 807-183, microsonde électronique).	47
d) Plage de monazite (Imp. 807-146.7, microsonde électronique).	47

Chapitre IV

Planche 5. Carbonatite fraîche foliée à chlorite (vert) et antraxolite (noir) intersticiel (807-293.8).	55
Planche 6. Carbonatite ankéritique rouge, bréchique; notez la grosseur des fragments.	55
Planche 7. Bandes de chlorite (vert) intercallées dans une bande principale de carbonatite ankéritique (rouge) (trou No 802, 160 à 240').	56
Planche 8. Bandes de carbonatite ankéritique (rouge) à magnétite (gris-métallique); notez la présence de bandes chloritiques (vert). (trou No. 802)	56

	Page
Planche 9. Fragment de carbonatite fraîche (blanc) à antraxo- tite interstitiel (noir) dans une carbonatite à chlorite (vert - brun) (805-72.7).	59
Planche 10. Foliation des petits grains de carbonates à l'intérieur d'un fragment provenant d'une carbo- natite ankéritique bréchique (lm. 808-208.5, lumière transmise, nicols croisés).	61
Planche 11. Phénomène d'altération hématitique (brun) autour des fragments (blanc) dans la carbonatite an- kéritique et hématitique (lm. 801-210.5, lumière transmise, nicol simple).	61
Planche 12. a) Texture bréchiforme dans une carbonatite fraîche; notez les grains arrondis et entourés d'un matériel interstitiel (lm. 807-271, lu- mière transmise, nicol simple).	63
b) Remplacement d'un grain de carbonate par un autre carbonate dans une carbonatite fraîche; notez la bastnaesite (noir) interstitielle (lm. 802-403, lumière transmise, nicol simple).	63
c) Carbonatite limonitique à texture bréchique; notez la couverture de limonite et la bast- naesite (noir - brun) associées à la chlorite interstitiellement (lm. 808-202.2, lumière transmise, nicol simple).	64
d) Reliques de minéraux opaques (foncé) remplacés par les carbonates dans une carbonatite ankéri- tique; notez la texture bréchiforme (lm. 803-145.5, lumière transmise, nicol simple).	64
Planche 13. Intercroissance entre les carbonates (blanc) et la chlorite (vert - jaune) dans une carbonatite à chlorite (lm. 802-269, lumière transmise, nicol simple)	65
Planche 14. Hématitisation (foncé) des phénocristaux de carbona- tes dans une carbonatite ankéritique (blanc) (lm. 801-210-5. lumière transmise, nicol simple).	66

	Page
Planche 15. Couverture d'hématite (foncé) sur des carbonates (pâle) dans une carbonatite ankéritique (lm. 801-210.5, lumière transmise, nicol simple).	66
Planche 16. Hématite botryoidale (foncé) dans la carbonatite limonitique (lm. 805-164, lumière transmise, nicol simple).	68
Planche 17. Bâtonnets de bastnaesite (foncé) associés aux minéraux opaques (hématite - magnétite - antraxolite) dans une carbonatite ankéritique (lm. 802-214.5, lumière transmise, nicol simple).	68
Planche 18. Matériel d'infiltration (brun) dans la carbonatite limonitique; notez la plage d'antraxolite (noir) qui contient de la bastnaesite (lm. 808-305, lumière transmise, nicol simple).	69
Planche 19. Filonnets d'ilménite (foncé) qui tranverse une carbonatite limonitique jaune - brun (pâle); notez la chlorite associée à l'ilménite (moyen) (lm. 804-329, lumière transmise, nicol simple).	69
Planche 20. Reliques de phlogopite chloritisée devenue opaque (noir) dans une carbonatite à chlorite (lm. 805-138, lumière transmise, nicol simple).	70
Planche 21. Minéraux opaques non-différenciés associés à la chlorite dans une carbonatite ankéritique (lm. 808-116, lumière transmise, nicol simple).	72
Planche 22. Reliques de bâtonnets de chlorite eux-mêmes partiellement remplacés par les opaques (foncé) dans une carbonatite à chlorite (lm. 805-138, lumière transmise, nicol simple).	72
Planche 23. Reliques de chlorite (vert) remplacée par les minéraux opaques dans une carbonatite ankéritique (lm. 808-146.7, lumière transmise, nicol simple).	73
Planche 24. Feldspaths alcalins (pâle) coexistant avec les carbonates et remplacés par la chlorite (vert) dans une carbonatite à chlorite (lm. 806-26.3, lumière transmise, nicol simple).	73

	Page
Planche 25. a) 2 générations de phlogopite: fine et grossière (moyen) dans une carbonatite fraîche (lm. 806-308.5, lumière transmise, nicol simple).	79
b) Phlogopite (brun) remplacée par la chlorite (vert) dans une carbonatite fraîche (blanc) (lm. 808-327.5, lumière transmise, nicol simple).	79
c) Aggrégats de petits grains de quartz (gris) associé à l'antraxolite (noir) et à la bastnaesite (rouge - brun) dans une carbonatite fraîche (beige) (lm. 807-331, lumière transmise, nicols croisés).	80
d) Veinule de quartz (centre) près des opaques (noirs) dans une carbonatite fraîche (blanc) (lm. 801-351, lumière transmise, nicols croisés).	80
Planche 26. Grains de Sphalérite (brun) zonés dans des carbonates (blanc) provenant d'une carbonatite fraîche (lm. 808-281.5, lumière transmise, nicol simple).	82
Planche 27. Bastnaesite (brun - noir) associée à la chlorite (jaune - brun) et à l'antraxolite (noir) dans une plage intergranulaire aux carbonates (blanc) provenant d'une carbonatite fraîche (lm. 802-364.5, lumière transmise, nicol simple).	85
Planche 28. Aiguilles de bastnaesite (foncé) situées en bordure de la chlorite (moyen) dans une carbonatite fraîche (lm. 804-188, lumière transmise, nicol simple).	85
Planche 29. Petits grains de monazite (noir) situés dans les carbonates et dans la matrice intersticielle provenant d'une carbonatite fraîche (lm. 807-271, lumière transmise, nicol simple).	87

	Page
Planche 30. Bastnaesite (brun - noir) dans la chlorite d'infiltration, associée aux minéraux opaques non-différentiés (noirs) dans une carbonatite ankéritique (jaune) (lm. 808-116, lumière transmise, nicol simple).	87
Planche 31. Bastnaesite (brun) et monazite (noir) associées à la chlorite (vert) dans une carbonatite ankéritique (lm. 808-116, lumière transmise, nicol simple).	91
Planche 32. Amas d'aiguilles de bastnaesite (noir) regroupées en agrégats non-poreux dans la chlorite (jaune) et les carbonates (blanc) provenant d'une carbonatite à chlorite (lm. 806-16.8, lumière transmise, nicol simple).	91
Planche 33. Agrégats d'aiguilles de bastnaesite (noir) inclus dans la chlorite (moyen) dans une carbonatite à chlorite (pâle) (lm. 803-145.5, lumière transmise, nicol simple).	92
Planche 34. Monazite (foncé) regroupée en îlots dispersés dans la chlorite (moyen) dans une carbonatite à chlorite (pâle) (lm. 803-145.5, lumière transmise, nicol simple).	92

LISTE DES TABLEAUX

	Page	
Chapitre 3		
Tableau 1	Minéralogie présente dans la carbonatite de St-Honoré et spécialement dans la zone à Terres rares.	22
Tableau 2	Méthode d'étude utilisée.	24
Tableau 3	Analyses chimiques et formule stochiométrique de la chlorite provenant de St-Honoré et du standard utilisé.	31
Tableau 4	Liste des échantillons analysés à la microsonde électronique, le type de roche porteuse et la valeur de l'intersection en La_2O_3 .	44
Chapitre 4		
Tableau 5	Caractéristiques générales et spécifiques aux unités lithologiques de la zone à Terres rares de St-Honoré.	58
Tableau 6	Composition minéralogique de la carbonatite fraîche (estimée).	75
Tableau 7	Composition minéralogique de la carbonatite ankéritique (estimée).	76
Tableau 8	Composition minéralogique de la carbonatite limonitique (estimée).	77
Tableau 9	Composition minéralogique de la carbonatite à chlorite (estimée).	78
Tableau 10	Distribution de la bastnaesite dans les quatre unités lithologiques de la zone à Terres rares de St-Honoré.	88

	Page	
Tableau 11	Distribution de la monazite dans les quatres unités lithologiques de la zone à Terres rares de St-Honoré.	90
Tableau 12	Séquence paragénétique des minéraux de la zone de Terres rares de St-Honoré.	94
Tableau 13	Intervalles des valeurs (v) des zones de concentrations de La_2O_3 .	98
Tableau 14	Distribution relative des Terres rares: A) Dans les zones de concentrations de La_2O_3 de St-Honoré B) Dans plusieurs exemples de minéraux provenant de différentes localités.	109
Tableau 15	Distribution relative des Terres rares dans les chondrites.	110
Tableau 16	Distribution des Terres rares dans 11 échantillons de la zone à Terres rares de St-Honoré.	112
Tableau 17	Vérification de la somme des Terres rares majeurs (La_2O_3 , CeO_2 , etc...) plus Y_2O_3 et de la somme des Terres rares (Tr_2O_3) plus Y_2O_3 .	113
Tableau 18	Rapports de différenciation des Terres rares des échantillons de la zone à Terres rares de St-Honoré.	114
Tableau 19	Elements majeurs et mineurs des échantillons analysés pour les Terres rares par activation neutronique (tableau 17).	122
Tableau 20	Reconstitution minéralogique.	123
Tableau 21	Elements traces des échantillons analysés pour les Terres rares par activation neutronique (tableau 17).	129
Tableau 22	Séquence d'événements caractéristiques aux dépôts ou aux prospectes de Terres rares associés aux carbonatites.	134
Tableau 23.	Types de dépôts de Terres rares et caractères spéciaux à chacun.	142

APPENDICES

	Page
A- Travaux effectués sur chaque échantillon.	143
B- Résultats de la diffraction des rayons-x.	153
C- Exemple de calcul de la normalisation des valeurs de chaque élément des terres rares par rapport aux chondrites.	159
D- Exactitude de méthodes d'Analyses.	161
E- Description géologique des onze échantillons analysés par activation neutronique.	171

RESUME

Le coeur de la carbonatite du complexe igné alcalin de St-Honoré est occupé par un dépôt de terres rares d'une superficie estimée à 1,700 X 800 mètres carrés.

Quatre (4) grands types de roches disposées sub-annulairement sont distingués dans ce dépôt: 1) Carbonatite dolomitique fraîche. 2) Carbonatite ankéritique rouge. 3) Carbonatite limonitique jaune. 4) Carbonatite à chlorite.

Vingt-quatre (24) minéraux furent clairement identifiés dans ces roches.

La minéralisation consiste en aiguilles et/ou en grains xénomorphes de bastnaesite de dimension variant de .01 à .08 μ et accompagnés de quelques grains de monazite. Cette minéralisation est étroitement associée à la chlorite, aux oxydes (hématite, magnétite, pyrolusite), aux sulfures (pyrite, sphalérite) et parfois à un hydrocarbure. Elle est aussi associée aux carbonates seuls.

L'étude géochimique des terres rares a permis: 1) de distinguer quatre (4) zones caractéristiques fondées sur des valeurs de La_2O_3 variant de .10% La_2O_3 à 1.70% La_2O_3 . 2) de caractériser le dépôt comme appartenant au type "Cerium Earth" avec une distribution caractéristique de 26% La, 47% Ce, 20% Nd et 5% Pr. 3) de noter une corrélation positive $\text{Tr}_2\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_3^+$, ThO_2 , TiO_2 et une corrélation négative $\text{Tr}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$, CaO, MgO, P_2O_5 et SrO.

L'intégration de toutes les données permet de supposer que le dépôt serait tardi-syngénétique et post-génétique.

Chapitre I

INTRODUCTION

Généralités sur les carbonatites et les dépôts de terres rares

Ce mémoire traite de la zone centrale d'un complexe igné alcalin de carbonatites. Cette zone centrale est enrichie en terres rares, aussi nous jugeons utile de présenter quelques généralités sur les carbonatites et les dépôts de terres rares afin de situer le lecteur dans le contexte très général.

1. Carbonatites

Vlasov (1962) soutient que les dépôts de terres rares de grandes dimensions sont associés aux roches alcalines et plus spécifiquement aux carbonatites.

Quatre grands types d'associations de carbonatites sont distingués (Heinrich, 1966):

- a) Les carbonatites associées à des complexes annulaires.
- b) Les carbonatites associées à des complexes alcalins de forme quelconque.
- c) Les carbonatites reliées à aucune structure particulière ou isolées.

d) Les carbonatites volcaniques apparaissant comme des coulées de laves (Guest, 1954).

Les carbonatites qui sont reliées aux complexes alcalins circulaires se présentent sous différentes formes: noyau unique, noyaux regroupés, dykes concentriques ou des zones de brèches en périphérie ou à l'intérieur du complexe alcalin (Heinrich, 1966; Tuttle et Gittins, 1967). Elles peuvent apparaître aussi en feuillets épais, en sills ou en "stockworks" si ces carbonatites sont associées à des complexes de forme quelconque (Heinrich, 1966). Notons dès maintenant que la carbonatite de St-Honoré est associée à un complexe alcalin annulaire (Fortin, 1977).

L'âge des complexes alcalins à carbonatite varie beaucoup. Comme cas extrême, nous pouvons mentionner le complexe de Palabora (Afrique du sud; Russel et al., 1954) qui date de $1100-1200 \times 10^6$ ans (datation des isotopes du Pb sur la thorianite) ou 2057×10^6 ans (Holmes et Cohen; 1957) et le complexe Oldoinyo Lengai (Tanzanie, Dawson; 1962) qui date de 18 ans.

Bailey (1964) souligne qu'il existe une très bonne corrélation entre les rifts continentaux et le magmatisme alcalin et il est probable que ces deux phénomènes résultent d'une même cause.

2. Dépôts de terres rares

Parker et Baroch (1971) donnent la synthèse la plus complète des associations des dépôts de terres rares que l'on retrouve dans le monde.

Nous distinguons dix grands types de dépôts de terres rares à potentiel économique ou non. Ces dépôts sont regroupés en deux grandes catégories: les dépôts associés à un environnement géologique magmatique et les dépôts associés à un environnement géologique sédimentaire.

a) Dépôts associés à un environnement géologique magmatique.

1. Pegmatites

Dans les pegmatites, les terres rares sont surtout présentes sous forme de phosphates (monazite, allanite) et d'oxydes (samarskite ou euxénite) (Crowley, 1960).

2. Gneiss et migmatites

Dans les gneiss et les migmatites, les terres rares sont associées à la monazite qui est généralement située dans les horizons riches en biotite. La monazite peut être accompagnée de xénotime.

3. Carbonatites

Les terres rares apparaissent sous plusieurs formes d'associations dans les carbonatites. Ces associations sont décrites de façon plus détaillée à la partie 3 (Dépôts de terres rares associés aux carbonatites).

4. Skarns

Les terres rares sont principalement associées à l'allanite qui fait partie de l'assemblage minéralogique des skarns (calcite, apatite, diopside, trémolite, grenat, fluorine, etc.).

5. Dépôts de magnétite

Les terres rares peuvent être contenues dans des dépôts de magnétite associés aux carbonatites et ils se retrouvent dans différents minéraux: apatite, bastnaesite, célite, allanite, monazite, chrodinite, tarnebohmite, daverite et xénotime.

6. Veines

Nous retrouvons quelques dépôts de terres rares associés à des veines de quartz contenant de la bastnaesite (Thoreau et al., 1958) et des veines à fluorine (Perhac et Heinrich, 1964).

b) Dépôts associés à un environnement géologique sédimentaire

1. Placers consolidés

Des concentrations de minéraux lourds à terres rares incluant la monazite et quelques oxydes se trouvent dans des dépôts sédimentaires qui représentent d'anciens placers.

De plus, quelques dépôts associés à l'uranium et au thorium sont localisés dans des conglomérats Huroniens (formation du Blind River, Ontario).

2. Dépôts de placers (fluviale et de plage)

Dans ce type de dépôt, nous retrouvons quelques-uns des plus importants gisements de terres rares et le minéral le plus commun est la monazite. La monazite est en général accompagnée d'autres minéraux lourds stables tels que l'ilménite, le zircon, etc.

3. Dépôts de terres rares associés aux carbonatites

Heinrich (1966) regroupe les dépôts de terres rares sous quatre formes particulières:

- a) Ils sont associés à des agrégats de magnétite et de pérovskite. Dans ce cas, les terres rares sont contenues dans la pérovskite (Hedlund et Olson, 1961).
- b) Les terres rares sont extraites comme sous-produits du columbium lorsqu'elles sont incorporées dans le pyrochlore (Heinrich, 1966; Heinrich et Anderson, 1965; Anderson, 1958).
- c) Les terres rares se retrouvent dans des carbonatites (surtout ankéritiques et sidéritiques) qui sont des noyaux de complexes alcalins annulaires. Dans ce cas, les terres rares sont contenues dans des fluorocarbonates tels qu'observés à Mountain Pass, Californie (Olson and Pray, 1954; Olson, Pray and Shawe, 1954), à Kangankunde (Holt, 1965), à Iron Hill (Nash, 1972; Temple et Grogan, 1965; Hedlund et Olson, 1965), à Chilwa Island (Garson et Schmidt, 1958) et à Tundulu (Garson, 1963).

Nous pouvons trouver les terres rares captives dans des phosphates telles que la monazite. Ce phénomène s'observe à Mountain Pass (Olson, Shawe *et al.*, 1954), à Kangankunde (Holt, 1965), dans plusieurs dépôts sub-économiques africains (Verwoerd, 1964) ainsi qu'en Inde (Amba Dugar; Sukliswala et Udas, 1963).

- d) Les terres rares sont contenues dans les minéraux de la série fluorocarbonates phosphates accompagnées d'autres minéraux plus complexes (thorite, aeschynite, xénotime, brookite, etc.) associées à des veines tardives de carbonatite riches ou non en thorium et columbium (Nash, 1972; Crowley, 1960).

Ces veines tardives peuvent se situer à l'intérieur ou à l'extérieur du complexe (Staa et al., 1972; Hedlund et Olson, 1961; Olson, Shawe et al., 1954; Olson et Pray, 1954).

But du travail

Tel que mentionné auparavant, le complexe de St-Honoré est un complexe alcalin annulaire dont la carbonatite forme le noyau central (Figure 3) (Gagnon et Gendron, 1977; Fortin, 1977; Vallée et Dubuc, 1970). Ce complexe serait relié au graben du Saguenay (Figure 1) qui fait partie du système de rift du St-Laurent (Kumaparelli, 1976).

Le coeur de cette carbonatite montre de fortes concentrations de La_2O_3 (Figure 3) (Fortin, 1977; Sergerie, 1975; Vallée et Dubuc, 1970). Ce type d'associations des terres rares est peu commun et semble restreint jusqu'à présent à certains complexes des carbonatites africains (partie 3). Les essais métallurgiques effectués sur des échantillons provenant du coeur de la carbonatite s'avérèrent infructueux à concentrer efficacement le minerai de terres rares; ce fait rehausse le caractère mystérieux de ces concentrations de terres rares.

Le présent travail tentera de déterminer les caractéristiques géologiques, minéralogiques et pétrographiques des types de roches renfermant des concentrations de terres rares. La compilation des données géochimiques permettra d'étudier la distribution spatiale des terres rares, leur patron de distribution relative ainsi que les variations géochimiques des éléments majeurs et mineurs typiques à cette zone de fortes concentrations en terres rares appelée "zone à terres rares". Enfin, la compilation des résultats permettra de caractériser précisément le type de dépôt de terres rares, d'imaginer un ou des modèles géologiques applicables et d'émettre des hypothèses d'origines.

Notons que ce travail pourra servir éventuellement de base pour de futurs travaux métallurgiques sur le minerai de terres rares.

Chapitre II

GÉOLOGIE DE LA ZONE A TERRES RARES

Situation générale

Dans ce chapitre, nous situerons d'abord le complexe igné alcalin de St-Honoré dans son contexte géologique régional et nous le décrirons ensuite brièvement.

1. Géologie régionale

La région du Saguenay se compose essentiellement de roches précambriennes appartenant à la province orogénique de Grenville du Bouclier Canadien (Roy, 1977; Laurin et Sharma, 1975; Benoît et Valiquette, 1971; Rondot, 1967; Jooste, 1964; Dressler et Denis, 1946). Le métamorphisme atteint le faciès amphibolite supérieur-granulite et au moins trois générations de plissements se superposent.

La séquence stratigraphique comprend à la base un socle ancien composé de gneiss gris tonalitiques plus ou moins migmatisés datés d'environ 3 m.a. (Frith et Doig, 1975). Une séquence de paragneiss repose sur ces gneiss anciens et les deux sont déformés. Cette séquence de paragneiss comprend entre autres des gneiss à sil-

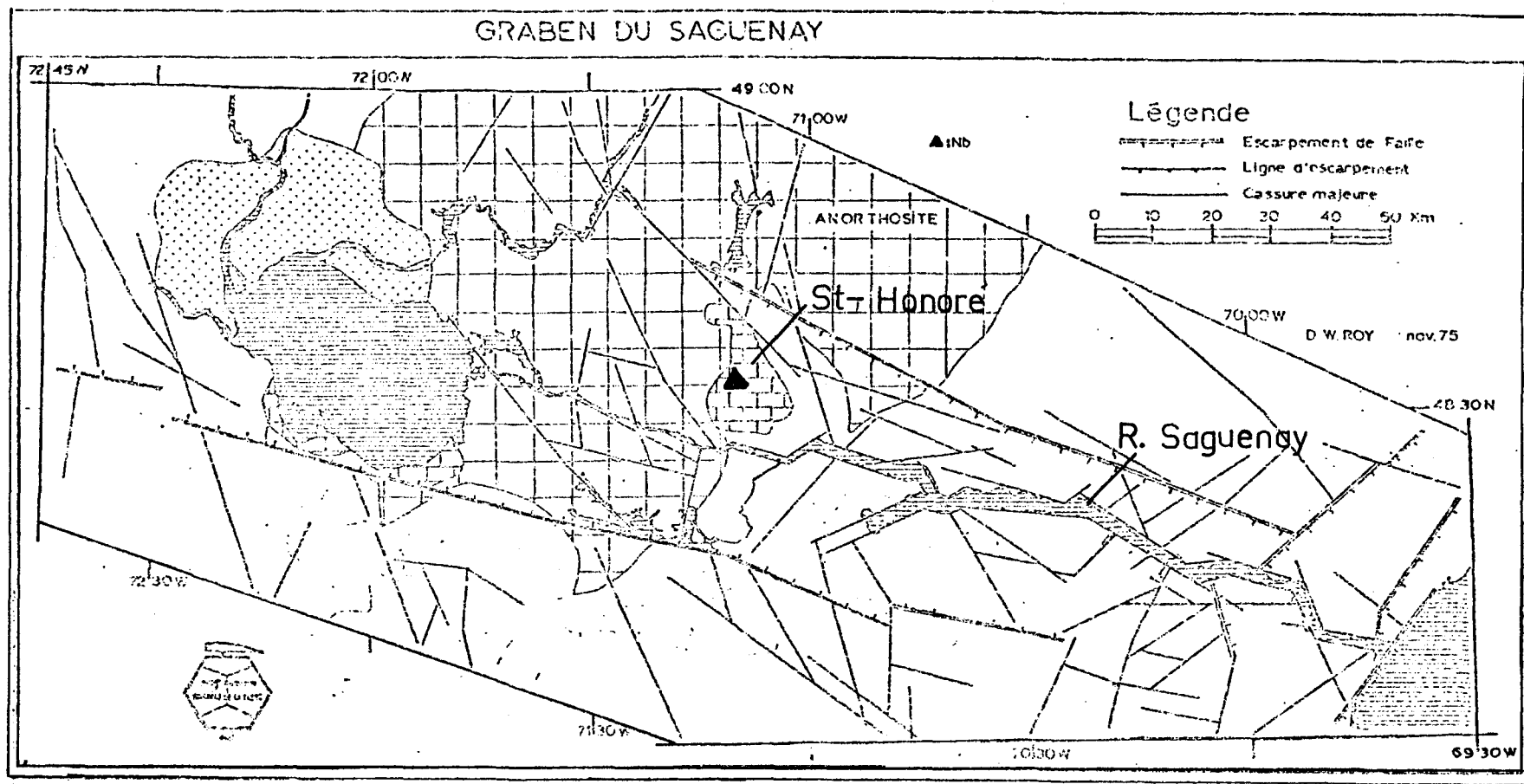


Fig. 1 Système de Graben au Saguenay, (proposé par Roy, 1976)

- Carbonatite
- Calcaire trenton
- Eau
- Grenville
- Anorthosite

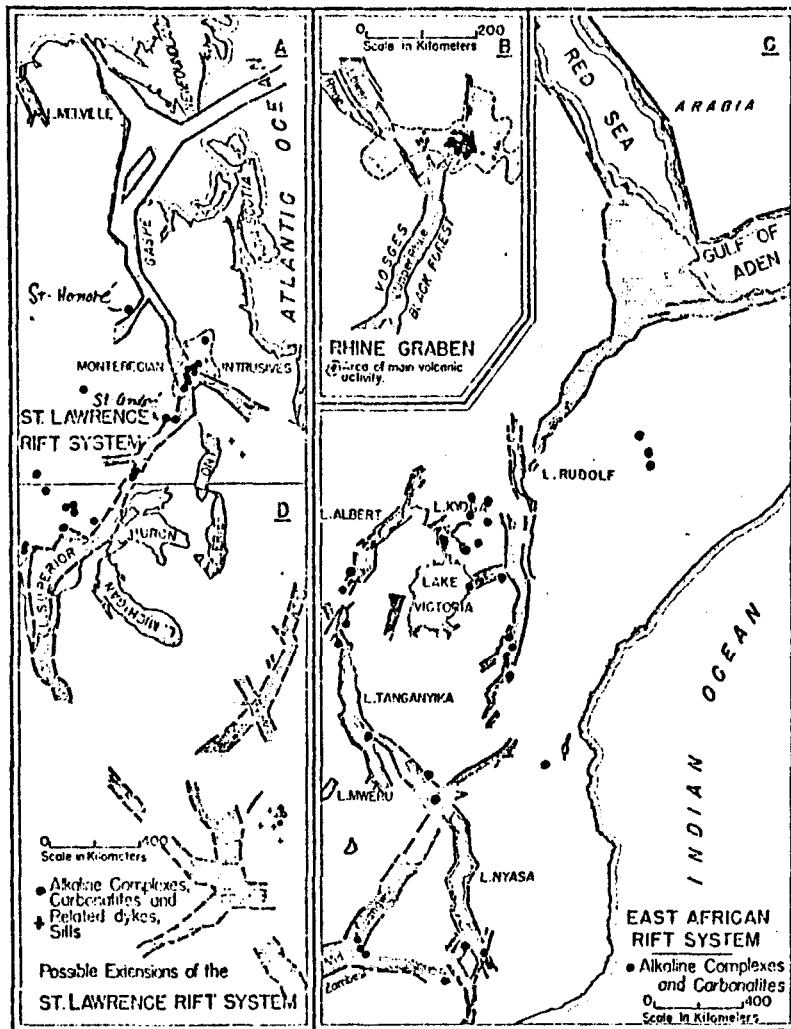


Fig. 2.a Vue générale du système de rift du St-Laurent et comparaison avec le graben du rhin et le rift est-africain.

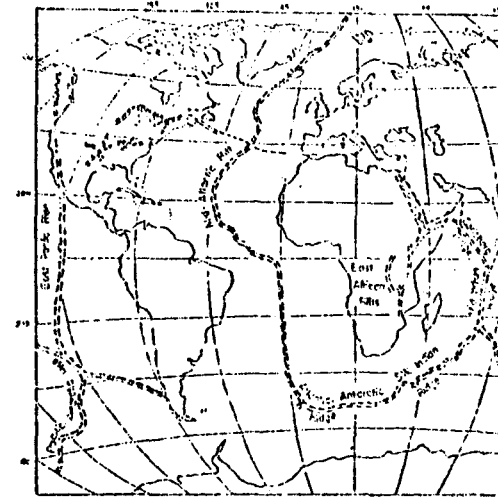


Fig. 2.b Système du rift du St-Laurent situé dans le monde. Grandes zones de fractures du globe.

limanite et grenats, des gneiss à hornblende et biotite, des gneiss quartzo-feldspathiques, des marbres, des roches calcsilicatées, des quartzites et des leptynites. Le degré de migmatisation dans ces roches est variable.

Nous retrouvons ensuite divers batholites d'anorthosite et de mangérites intrusifs dans les gneiss anciens. Un rétro-morphisme hydratant a affecté cette série.

Une seconde phase de migmatisation, probablement d'âge Grenville, affecte les roches déjà existantes.

A la fin de l'orogénie grenvillienne, plusieurs intrusifs calco-alcalins se sont mis en place en discordance par rapport aux formations antérieures (Roy, 1977; Laurin et Sharma, 1975). Ces intrusifs forment des masses globulaires de quelques milles de diamètre. La formation du graben du Saguenay, la mise en place d'intrusions alcalines à carbonatites et de dykes de kimberlite postdatent les événements grenvilliens.

De fait, comme il a été mentionné dans l'introduction, l'association des complexes alcalins avec les systèmes de rift est commune (Kumaparelli et Saül, 1966; Bailey, 1964) et le complexe de carbonatite de St-Honoré ne fait pas exception. En effet, Kumaparelli et Saül (1966) et Kumaparelli (1976) pensent que la région de la rivière Saguenay serait un graben qui appartient au système de rift du St-Laurent (Figures 1 et 2).

Plusieurs évidences appuient cette hypothèse:

- a) La configuration générale de la physiographie (Figure 1), (Kumaparelli, 1976; Kumaparelli et Saül, 1966; Dresser et Denis, 1946; Blanchard, 1933).
- b) La présence de complexes alcalins et de veines de lamprophyres (Gittins, Hewing et Laurin, 1976; Laurin et Sharma, 1975; Vallée et Dubuc, 1970; Dresser et Denis, 1946) de chaque côté de la rivière Saguenay.
- c) L'étendue des failles en profondeur dans la croûte peut suggérer l'hypothèse de graben (Duncan et Garland, 1977; Dunbar et Garland, 1974). Ce graben s'étendrait du lac St-Jean jusqu'à l'em-

bouchure de la rivière Saguenay (Figure 1).

Une série sédimentaire de plate-forme (calcaire et très localement des shales) d'âge ordovicien moyen et supérieur recouvre en discordance le socle précambrien et la carbonatite de St-Honoré, (figure 5).

Finalement, durant la période quaternaire, des sédiments glaciaires, marins et fluviaux, jusqu'à 60 mètres d'épaisseur, se sont empilés (Gagnon et Gendron, 1977; Dresser et Denis, 1946) Des dépôts d'argile et de silt, pouvant atteindre 100 mètres d'épaisseur, furent observés au lac St-Jean (Lasalle, 1968); quelques dépôts de sables apparaissent dans la région du lac St-Jean.

2. Géologie du complexe alcalin de St-Honoré

a) Géologie générale

Le complexe annulaire igné alcalin de St-Honoré est miascitique et a une forme ovale et sa superficie est de 25 km² (Fortin, 1977) (Figure 3).

Ce complexe alcalin est composé d'un noyau central de carbonatite entouré d'un croissant de syénite alcaline, de syénite à feldspathoïdes, de foidites syénitiques, d'ijolites et d'urtites. Au sud du complexe, apparaît une petite masse triangulaire de syénite à néphéline, cancrinite et grenat (Fortin, 1977) (Figures 3 et 4).

Ce complexe igné alcalin s'est mis en place dans des syénites à hypersthène, des diorites avec ou sans orthopyroxène, des syénites et syéno-diorites à aégyrine, et des gneiss à pyroxène, biotite et magnétite interlités avec des syénites à mésoperthites. La fénéitisation est caractérisée par l'apparition de nombreuses veines de carbonates et par la cristallisation d'amphibole sodique et d'aégyrine.

b) La carbonatite de St-Honoré

Le noyau central du complexe de carbonatite de St-Honoré est caractérisé par des unités lithologiques bien distinctes qui peuvent être regroupées en une zone interne et une zone externe (Gagnon et Gendron, 1977; Vallée et Dubuc, 1970).

- ↔ Section géologique (plan n° 422 à 427)
- - - Contact géologique
- Aflètement
- Ligne de lots
- ▬ Propriété NIOBEC
- ▬▬ Propriété COPPERFIELD

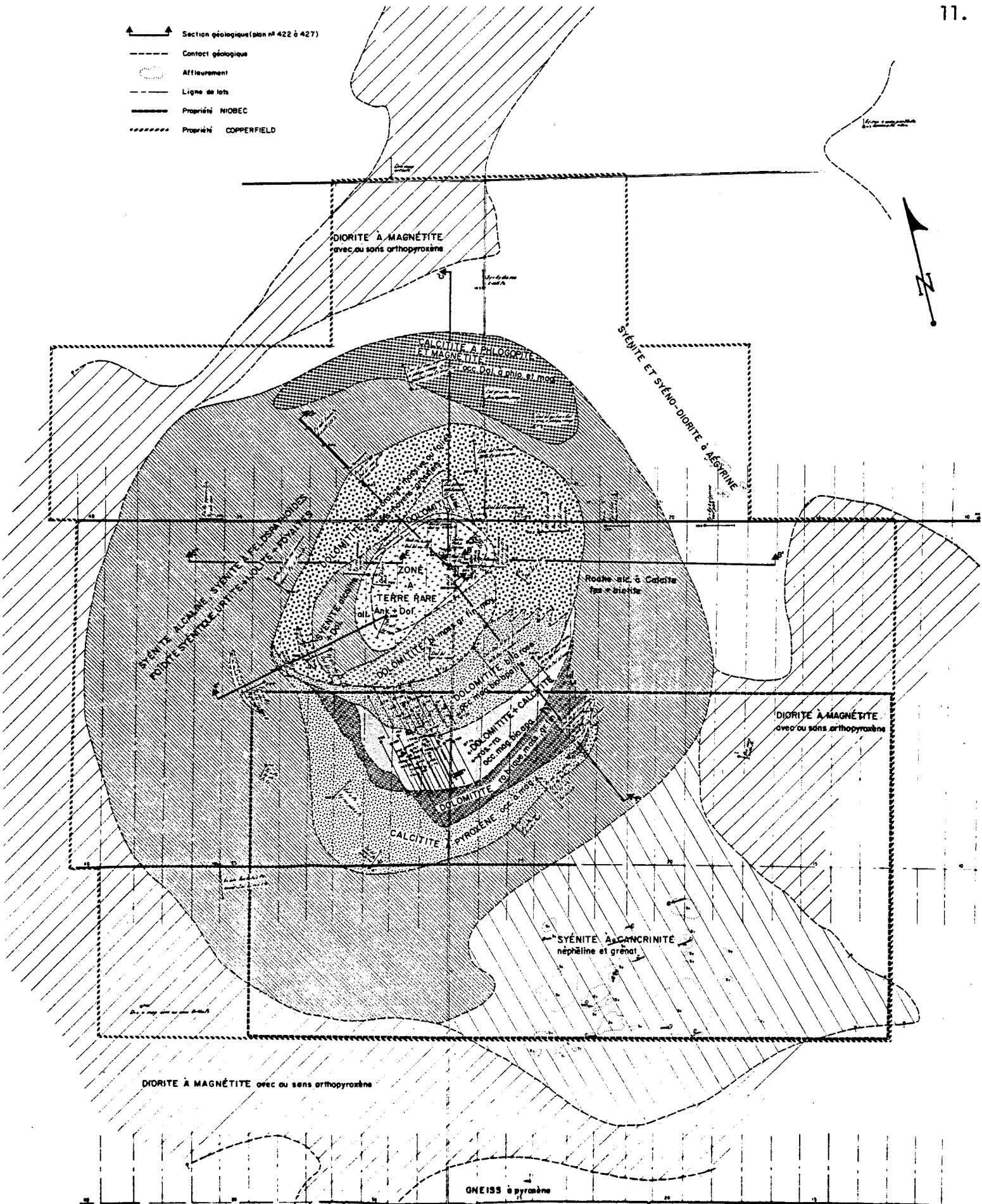


Fig. 3: Géologie du complexe alcalin de St-Honoré (1: 32, 188).

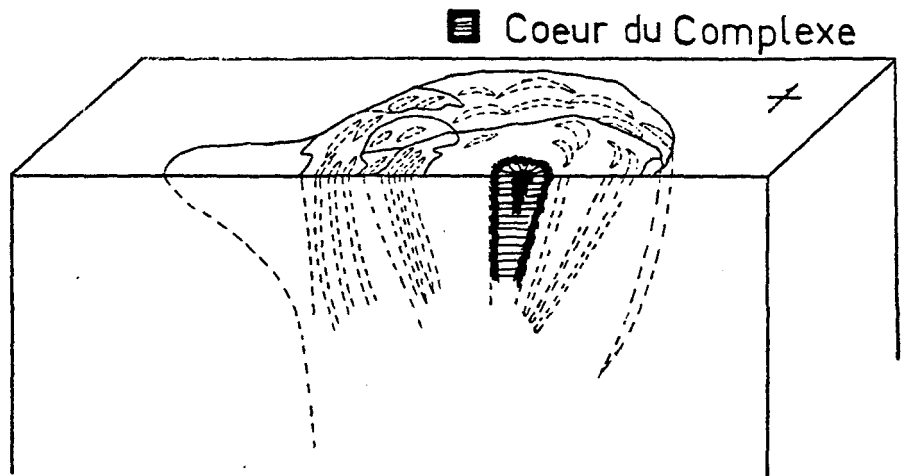


Fig. 4 Bloc-diagramme montrant une coupe est-ouest du complexe alcalin de St-Honoré, modifié de Fortin (1977).

1. La zone externe comprend quatre types de carbonatites dolomitiques et deux types de carbonatites calcitiques disposés en "cone-sheet" ou "ring-dykes" (Figure 3). Un gisement de columbium est situé au sud-ouest du centre de la carbonatite dans une structure en "cone-sheet". Ce gisement consiste en des lentilles de différents types de carbonatites (dolomitiques et calcitiques) contenant .2% à 1% Nb_2O_5 renfermé dans du pyrochlore $Na Ca Nb_2O_6 (F.OH)$ (Gagnon et Gendron, 1977).
2. La zone interne, appelée zone à terres rares, constitue le coeur de la carbonatite (Figure 3). Elle contient jusqu'à 4.5% Tr_2O_3 . Cette zone se divise en deux types de carbonatites: une carbonatite dolomitique et ankéritique, altérée et minéralisée ainsi qu'une carbonatite dolomitique non-altérée et stérile (Figure 4) (Vallée et Dubuc, 1970).

3. Travaux antérieurs

En 1967, la SOQUEM détectait une anomalie radiométrique au-dessus de la zone actuelle de terres rares (Figure 6) (Vallée et Dubuc, 1970). Cette découverte fut confirmée par des échantillons de carbonatite qui contenaient 3 à 30% d'oxydes de terres rares et .29 à 1.30% d'oxyde de thorium (Vallée et Dubuc, 1970). Peu après, la SOQUEM découvrit l'ensemble du complexe de carbonatite et développèrent la zone de columbium aujourd'hui exploitée (Gagnon et Gendron, 1977). Cependant, plusieurs travaux de géophysique confirment la présence de la zone minéralisée en terres rares (Figures 7 et 8) (SOQUEM, rapports internes).

Parallèlement à ces travaux de géophysique, la SOQUEM fit plusieurs études chimiques, minéralogiques, pétrographiques et métallurgiques de la zone à terres rares:

- a) En 1969, des analyses chimiques donnent 4.5% Tr_2O_3 révélant la présence de La, Ce, Nd, Pr, Sm, Eu, Gd en quantité supérieure à .01% des concentrations en Tr_2O_3 des pulpes; les autres éléments de terres rares (Yb, Lu, etc.) n'apparaissent qu'en traces (SOQUEM, rapports internes).

Ces échantillons de pulpes sont composés de carbonate dolomitique

Fig. 5: Carte isopach de l'épaisseur du Calcaire Trenton (1: 32, 188).
-----: Trace du Complexe alcalin de St-Honoré.

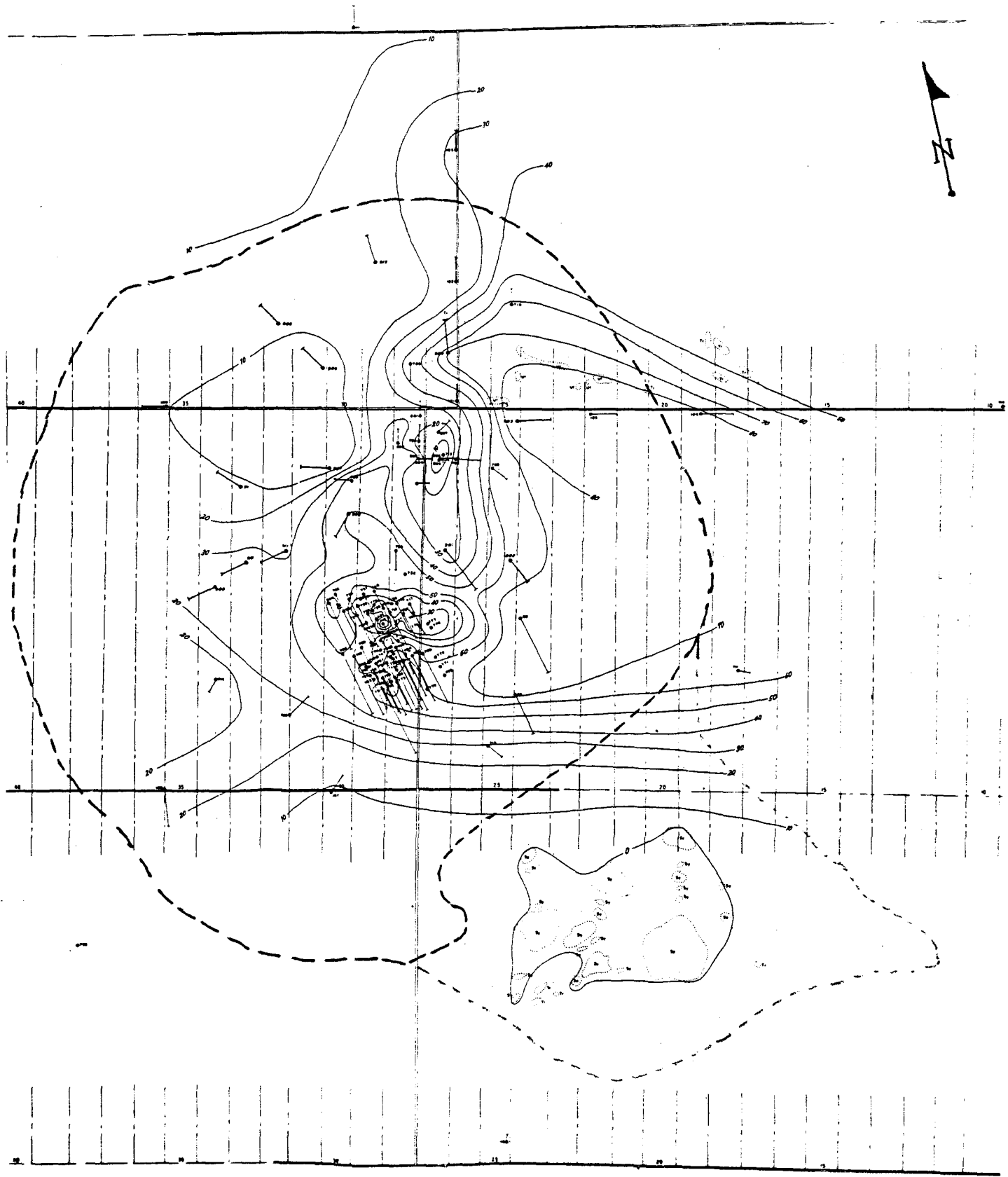
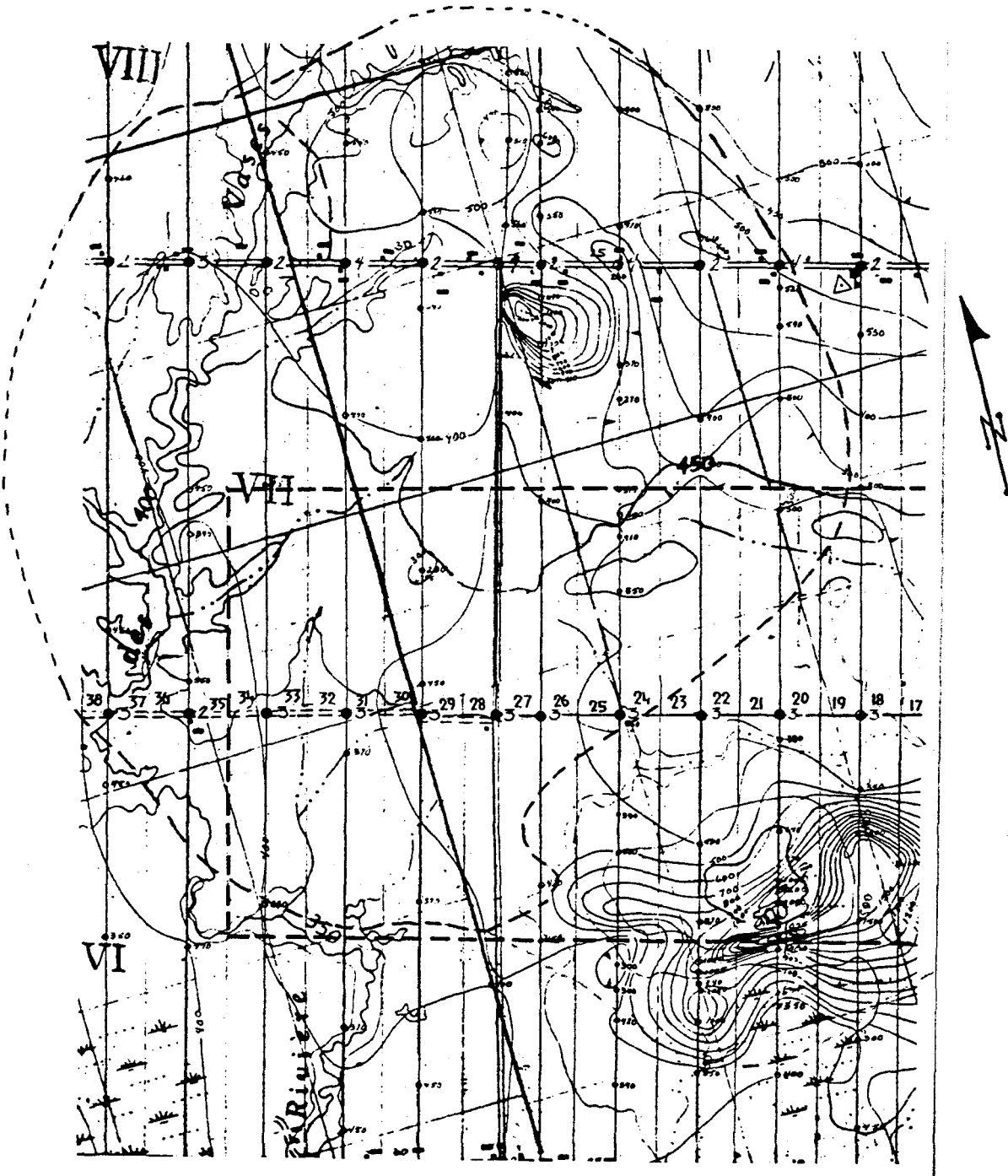


Fig. 6: Carte radiométrique du Complexe alcalin de St-Honoré (1: 32, 188).

-----: Trace du Complexe alcalin de St-Honoré.



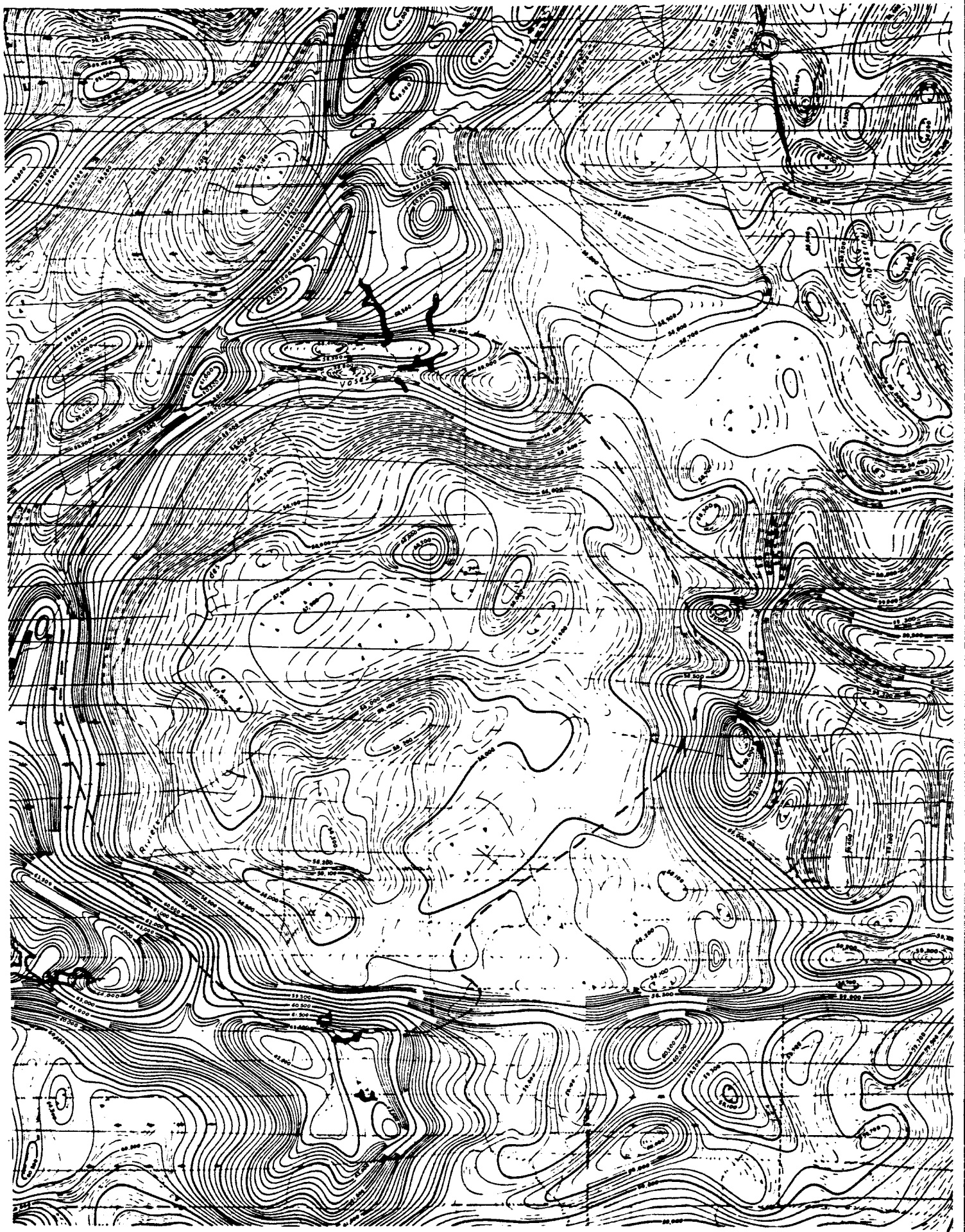


Fig. 7: Carte Aëromagnétique d'une portion du Canton Simard (1: 32, 188).

-----: Trace du Complexe alcalin de St-Honoré.

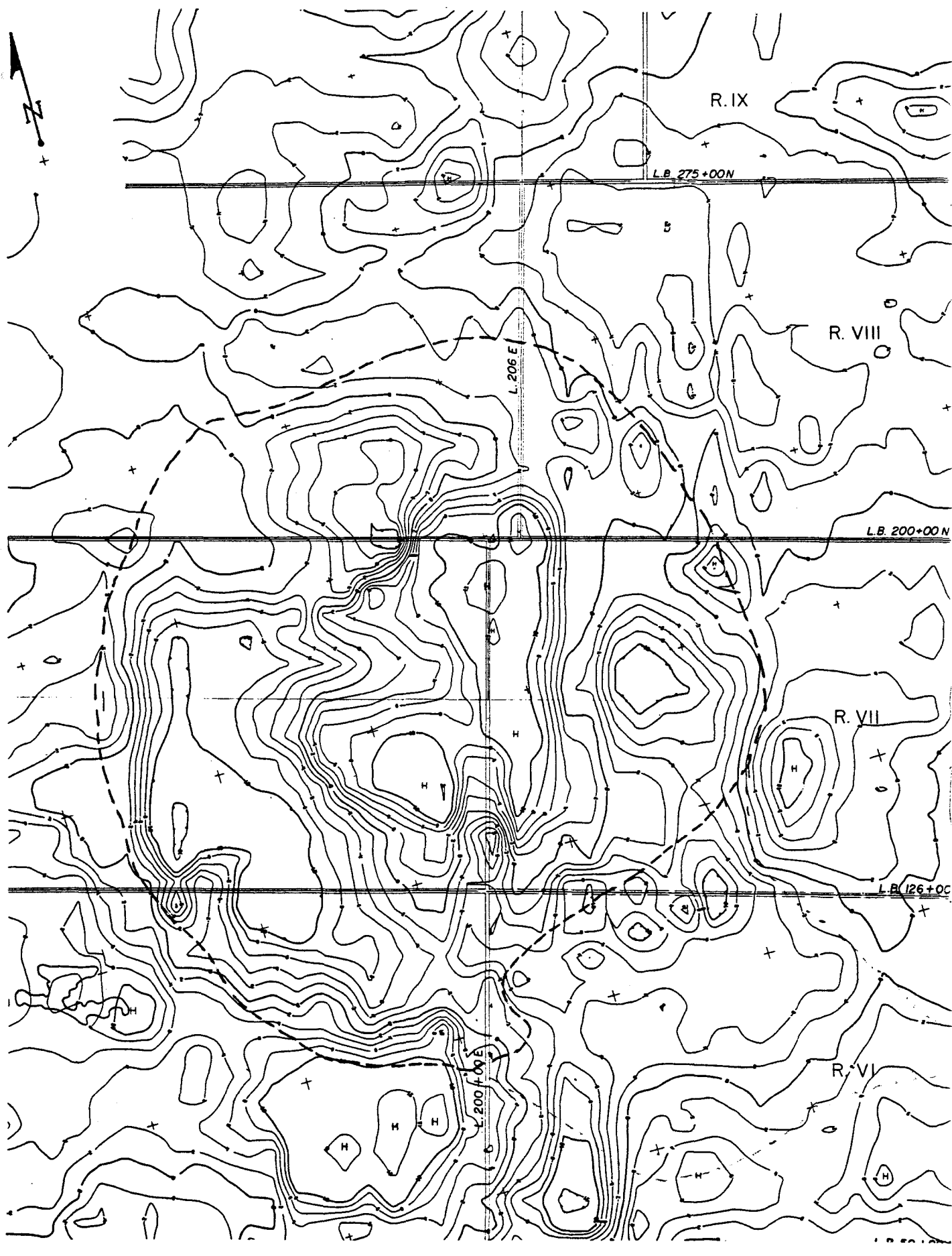


Fig. 8: Carte gravimétrique du Complexe alcalin de St-Honoré (1: 32,188).

-----: Trace du Complexe alcalin de St-Honoré.

et de quantités accessoires de calcite et de sidérose. Il y a aussi des quantités minimales de magnétite, de pyrite, de monazite et des traces de sphalérite, de grenats, d'épidote, d'amphibole, de quartz, d'apatite, de pyroxène ainsi que de l'hématite (Gagnon, 1969; Delisle, 1970).

- b) Vallée et Dubuc (1970) rapportent que la zone se compose d'une carbonatite dolomitique beige à rouge, massive et à grains grossiers. Cette carbonatite contient des hydrocarbures, de la pyrite, de la monazite, de la bastnaésite et d'autres minéraux tels que la pyrrhotine, la chalcopryrite, la huttonite et la molybdénite (Nickel et Pinard, 1970).
- c) En 1972 et 1976, de nouvelles analyses chimiques dénotent l'absence des éléments de terres rares Eu, Sm, Gd, ce qui contredit en partie les résultats de 1969.
- d) Finalement, Sergerie (1975) divise la zone de terres rares en deux parties: une zone d'oxydation et une zone dite primaire.
- e) Fortin (1977) confirme la dolomitite (rauhaugite à terres rares de la partie centrale; p. 130) et détermine plusieurs minéraux.

Géologie de la zone à terres rares par rapport au complexe alcalin de St-Honoré et d'après les travaux antérieurs.

La carbonatite "C1" (carbonatite centrale du complexe de St-Honoré) telle que décrite par Vallée et Dubuc (1970) et Fortin (1977) est le seul type de carbonatite qui contient un éventuel potentiel économique en terres rares. Sergerie (1975) rapporte, après avoir observé huit trous de sondages, que la "zone à terres rares" est, telle que mentionné au paragraphe précédent, une dolomitite ou une calcitite comprenant une zone oxydée au sommet suivie d'une zone moins altérée blanc-rose (zone primaire ?). Les deux zones contiennent du matériel chloritique, spécialement la carbonatite altérée.

Fortin (1977) mentionne que la zone "C1" est une dolomitite hétérogranulaire xénomorphe souvent d'aspect bréchoïde à bréchique; elle contient de la dolomite, de la calcite, des micas, de la strontianite et du pyrochlore. Il y a aussi de la chlorite, de la limonite, de la pyrite, de la pyrrhotine, un minéral noir et de l'apatite (Tableau II). La caractéristique principale de cette carbonatite est son haut contenu en hé-

matite et en chlorite.

Les relevés magnétiques et gravimétriques indiquent que la zone à terres rares a une forme ovale orientée ouest-sud-ouest et une superficie de 800 X 700 mètres. En profondeur, elle aurait la forme d'un entonnoir (Figure 5); cette forme est commune dans les massifs de carbonatites (Tuttle et Gittins, 1967; Heinrich, 1966).

Chapitre III

MINÉRALOGIE DE LA ZONE A TERRES RARES

Introduction

Vallée et Dubuc (1970) publient une liste de minéraux identifiés dans le complexe de St-Honoré (Tableau 1). Cette minéralogie, outre l'observation mégascopique des deux auteurs, est une compilation des résultats de plusieurs travaux minéralogiques (Nickel et Pinard, 1970; Nickel et Owens, 1970; Gagnon, 1970; Desjardis, 1970).

Nous retrouvons sur le tableau 1 tous les minéraux identifiés dans la zone à terres rares. Aux données présentes sur le tableau 1, il faudrait ajouter que les études faites avant 1975 concernent uniquement les sondages 11-782-704-712.

La présente étude a permis l'identification de minéraux suivants dans la zone à terres rares:

Carbonates : Dolomite, ankérite, calcite
Fluorocarbonates: Bastnaesite
Silicates : Feldspaths, quartz, phlogopite, chlorite, zircon
Phosphates : Apatite, monazite

Oxydes	: Magnétite, hématite, ilménite, rutile, pyrochlore, goethite
Sulfures	: Pyrite, pyrrhotine, chalcopyrite, sphalérite
Autres	: Barite, ⁽¹⁾ antraxolite et quatorze (14) minéraux non-identifiés.

Diverses méthodes analytiques furent employées pour l'identification des minéraux (Tableau 2) (diffraction des rayons-X, microsonde électronique, analyse thermodifférentielle et thermopondérale, microscope à lumière transmise et réfléchi)⁽²⁾.

Nous allons décrire successivement ces minéraux.

(1) Barite est utilisée à la place de barytine.

(2) Diffraction des rayons-X : appareil Phillips PW 1050
Microsonde électronique : appareil ARL
Analyses thermodifférentielle et thermopondérale: appareil Dupont, Thermoanalyser 900

TABLEAU I
MINÉRAUX IDENTIFIÉS DANS LA CARBONATITE ET DANS LA ZONE A TERRES RARES DE ST-HONORE

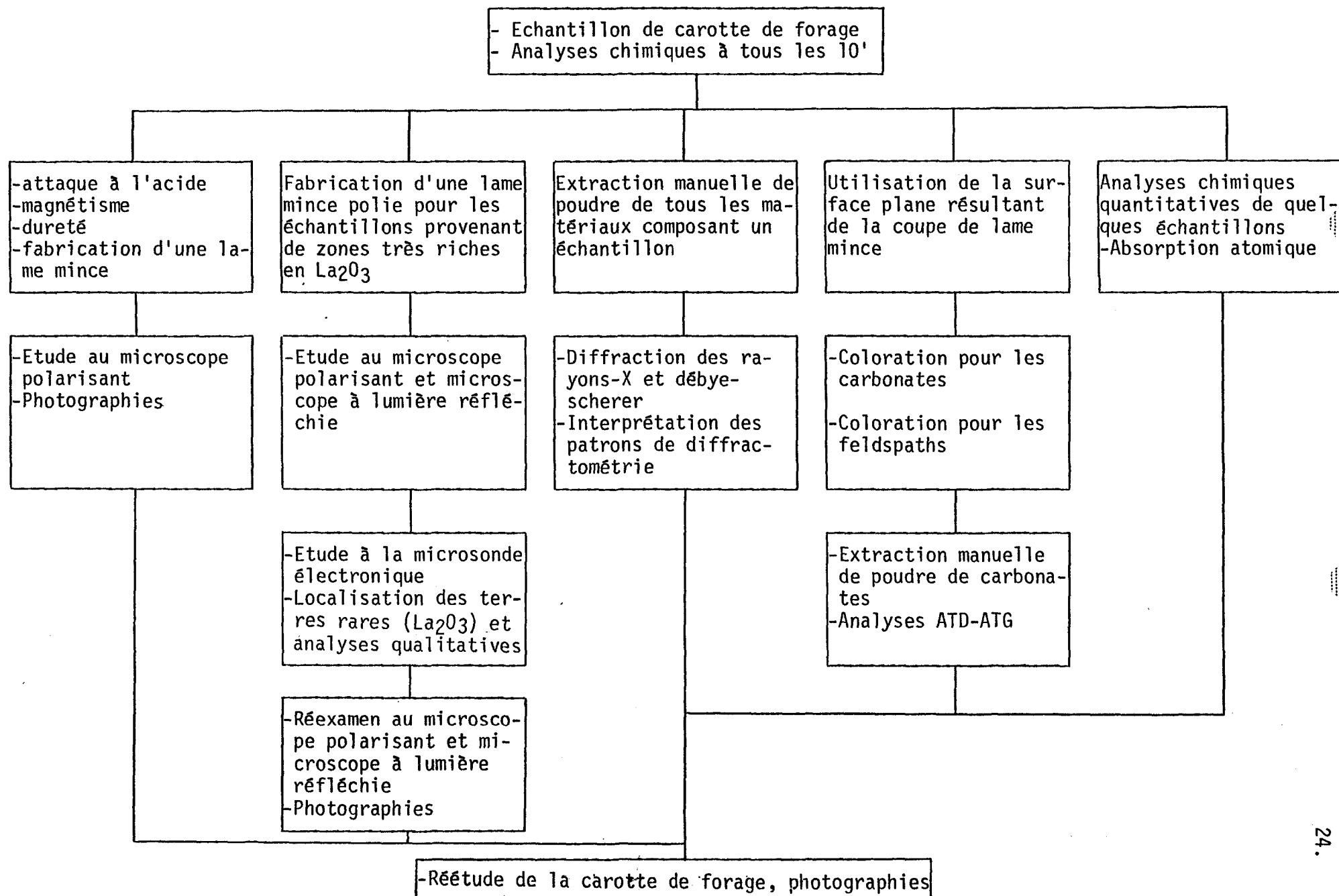
AUTEUR	MINÉRAUX IDENTIFIÉS
1) Gauthier, 1977	Carbonates : Dolomite, calcite, ankérite, sidérose Fluorocarbonates: Bastnaesite Silicates : Feldspaths, quartz, phlogopite, chlorite, vermiculite (?), zircon Phosphates : Apatite, monazite Oxydes : Magnétite, hématite, ilménite, rutile, pyrochlore, goethite Sulfures : Pyrite, pyrrhotine, sphalérite, chalcopryrite, molybdénite (?) Autres : Barytine, antraxolite, quatorze minéraux non-identifiés
2) Vallée et Dubuc, 1970	Carbonates : Dolomite, calcite, sidérose Fluorocarbonates: Bastnaesite Silicates : Feldspaths, quartz, phlogopite, chlorite, amphibole, pyroxène, grenat, sphène, huttonite Phosphates : Apatite, monazite Oxydes : Magnétite, hématite, ilménite, rutile, columbite, euxénite, zircon Sulfures : Pyrite, pyrrhotine, sphalérite, molybdénite Autres : Barytine, hydrocarbures
3) Nickel et Pinard, 1970	Carbonates : Calcite Fluorocarbonates: Bastnaesite Silicates : Feldspaths, quartz, biotite, chlorite, zircon Phosphates : Apatite, monazite Oxydes : Magnétite, hématite, pyrochlore, columbite Sulfures : Pyrite, pyrrhotine, sphalérite, chalcopryrite Autres : Barytine, fluorine

TABLEAU I
MINERAUX IDENTIFIES DANS LA CARBONATITE ET DANS LA ZONE A TERRES RARES DE ST-HONORE.

AUTEUR	PROVENANCE DES ECHANTILLONS	MINERAUX IDENTIFIES
4) Deslile, 1969	Zone à terres rares	Silicates Monazite, < 100 µ
5) Gagnon, 1960	Zone à terres rares	Carbonates : Codazzite Silicates : Quartz, micas, chlorite, amphibole, pyroxène, épidote Phosphates : Apatite, monazite Oxydes : Magnétite, zircon Sulfures : Pyrite, Sphalérite
6) Olivier, 1969	Zone à terres rares	Carbonates : Calcite Silicates : Quartz, allanite Phosphates : Monazite Oxydes : Magnétite, hématite Silicates : Pyrite, pyrrhotine

- 1) U.Q.A.C.,
- 2) SOQUEM,
- 3) Energie, mines et ressources,
- 4) M.R.N.Q.,
- 5) M.R.N.Q.,
- 6) M.R.N.Q.,

TABLEAU II
 PROCESSUS D'IDENTIFICATION DES MINERAUX ET LOCALISATION DES TERRES RARES
 DANS LA ZONE A TERRES RARES DE ST-HONORE



1. Classe des carbonates

- a) Dolomite $\text{Ca}^{2+}(\text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+}) \cdot \text{CO}_3$
 Ankérite $\text{Ca}^{2+}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}^{2+}) \cdot \text{CO}_3$

La dolomite est le minéral le plus abondant de la zone à terres rares de St-Honoré.

Ce minéral a une couleur généralement blanche à rougeâtre mais il est parfois jaune brunâtre.

L'attaque à l'acide chlorhydrique démontre que plus de 80% de la carbonatite de la zone à terres rares n'est pas calcitique.

Les tests de coloration avec la méthode d'Evamy (1963) dans (Chilingar et al., 1967) montrent que 90% des 48 échantillons testés sont des dolomitites ou des dolomitites ankéritiques (planche 1a); la distinction entre les dolomites normales et les dolomites de type ankéritique est difficile à cause de l'altération intense de ces roches.

Les dolomites normales sont situées surtout dans les fragments de brèches que nous décrirons plus loin; la matrice de ces brèches est presque exclusivement de la dolomite du type ankéritique. De plus, il semble que les dolomites ankéritiques se situent généralement près de la surface et que les "dolomites" normales se situent en profondeur (> 200 pieds ou 60 mètres). Les zones plus altérées contiennent presque exclusivement des dolomites ankéritiques.

Six échantillons analysés par méthodes thermodifférentielles et thermopondérales indiquent que tous les échantillons sont des dolomites ankéritiques, y compris des échantillons classés "calcite" par les tests de coloration (Figure 9). Par la suite, nous doutons des tests de coloration utilisés pour différencier de façon efficace les différents types de carbonates. Il est certain qu'une étude plus détaillée que la nôtre devrait être effectuée pour préciser et expliquer les anomalies que nous avons relevées.

Microscopiquement, quelques cas de biaxie furent observés et plusieurs grains ont une extinction roulante.

- b) Calcite $\text{Ca} \cdot \text{CO}_3$

La calcite est le second minéral le plus abondant de la zone

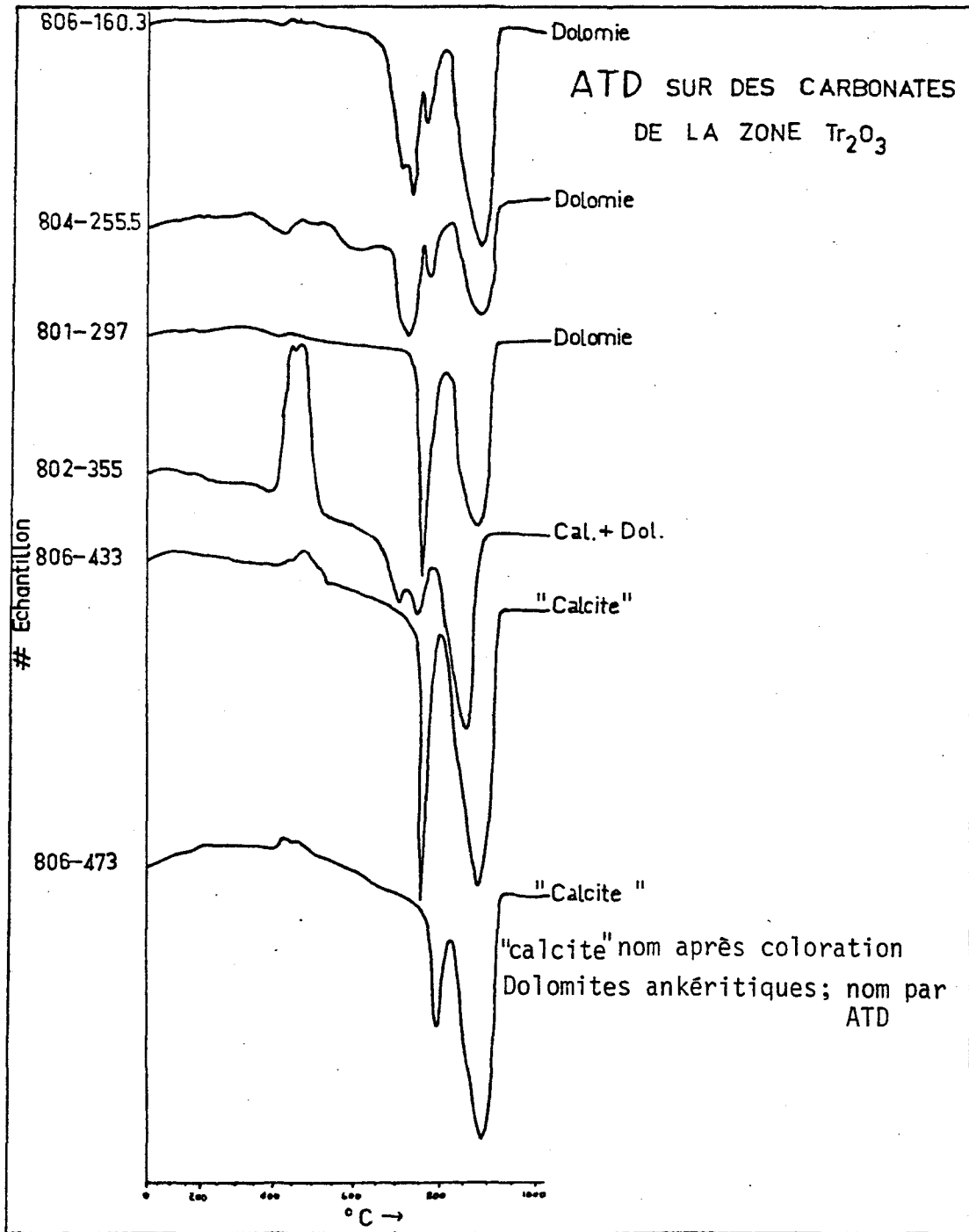


Fig. 9 Analyses thermodifférentielles de carbonates provenant de la zone à terres rares; notez les trois réactions endothermiques (700° - 750° - 900° C) pour les échantillons 806-160.3 et 804.-255.5. Il y a seulement deux réactions endothermiques pour les autres échantillons (750° - 900° C).

à terres rares de St-Honoré.

C'est une calcite blanche, quelquefois rougeâtre. L'étude des patrons de diffraction des rayons-X démontre la présence de calcite associée à la dolomite.

c) Sidérose $\text{Fe} \cdot \text{CO}_3$

La sidérose apparaît très rarement dans la zone à terres rares de St-Honoré. Elle est de couleur rouge brun. Des patrons de rayons-X confirment sa présence. Cette sidérose apparaît principalement dans les zones altérées des trous de sondages numéros 805 et 806.

2. Classe des silicates

a) Feldspaths alcalins (K, Na) (AlSi_3O_8)

Les feldspaths alcalins sont en très faible quantité (<1%) dans la zone à terres rares de St-Honoré. Ils furent observés seulement en trois ou quatre endroits (1m . 806-26.2).

Sur les carottes de sondages, ils sont blancs. Leur présence fut confirmée au microscope polarisant et par les tests de coloration des feldspaths (Solar et Fahey, 1972; Laduron, 1966). Par cette méthode, les feldspaths potassiques furent observés à un endroit (planche 1b). Aucun patron de diffractométrie n'a pu être obtenu pour les feldspaths dans cette carbonatite.

b) Chlorite

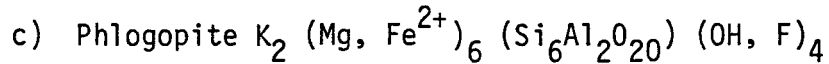
La chlorite est un minéral majeur de la zone à terres rares de St-Honoré.

La chlorite, de couleur verte, est un matériel d'infiltration qui remplit des fractures, les interstices des brèches ou des espaces intergranulaires. Elle peut occasionnellement être un produit de l'altération de la phlogopite où elle s'altère possiblement en rutile (planches 20 et 22). En effet, cette dernière relation peut exister selon les dires de Deer, Howie and Zussman, 1967, v. 5, p. 38.

L'analyse chimique partielle de cette chlorite (tableau III) permet de la classer comme une diabantite, si on la compare à diverses

chlorites (Deer, Howie and Zussman, p. 138, vol. 3, tableau 25). D'après la nomenclature de Hay (1954) (Deer, Howie and Zussman, 1967, p. 137, vol. 3) elle se classerait à la limite entre une pycnochlorite et une ripédoïte (de la série des chamosites).

Le patron de rayons-x (Figure 10) indique que c'est réellement une chlorite et l'analyse thermodifférentielle et thermogravimétrique (Figure 11) démontre que nous sommes en présence d'une chlorite particulière.

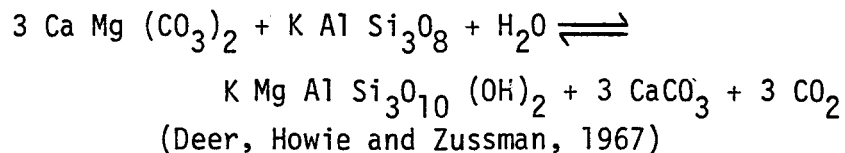


La phlogopite est un minéral accessoire majeur dans la zone à terres rares de St-Honoré.

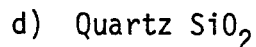
A l'oeil nu, elle est de couleur vert-noir. Au microscope polarisant, la phlogopite a un pléochroïsme inverse, comme noté par Fortin (1977). Il varie de beige à rouge brun, parfois vert.

Quelques patrons de diffractométrie montrent les raies caractéristiques de la phlogopite.

Cette phlogopite peut provenir de l'altération des feldspaths potassiques par la relation suivante:



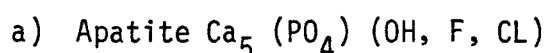
Il y a aussi des grains qui ont cru en même temps que les carbonates, tel qu'observé à Iron Hill (Nash, 1972).



Le quartz est un minéral mineur mais il est présent dans plusieurs parties de la zone à terres rares du complexe de carbonatite de St-Honoré.

Il est blanc, limpide à l'examen mégascopique mais le microscope montre qu'il est souvent recouvert d'un film d'hématite et parfois d'aiguilles de bastnaésite. Quelques patrons de diffraction révèlent la présence de quartz.

3. Classe des phosphates



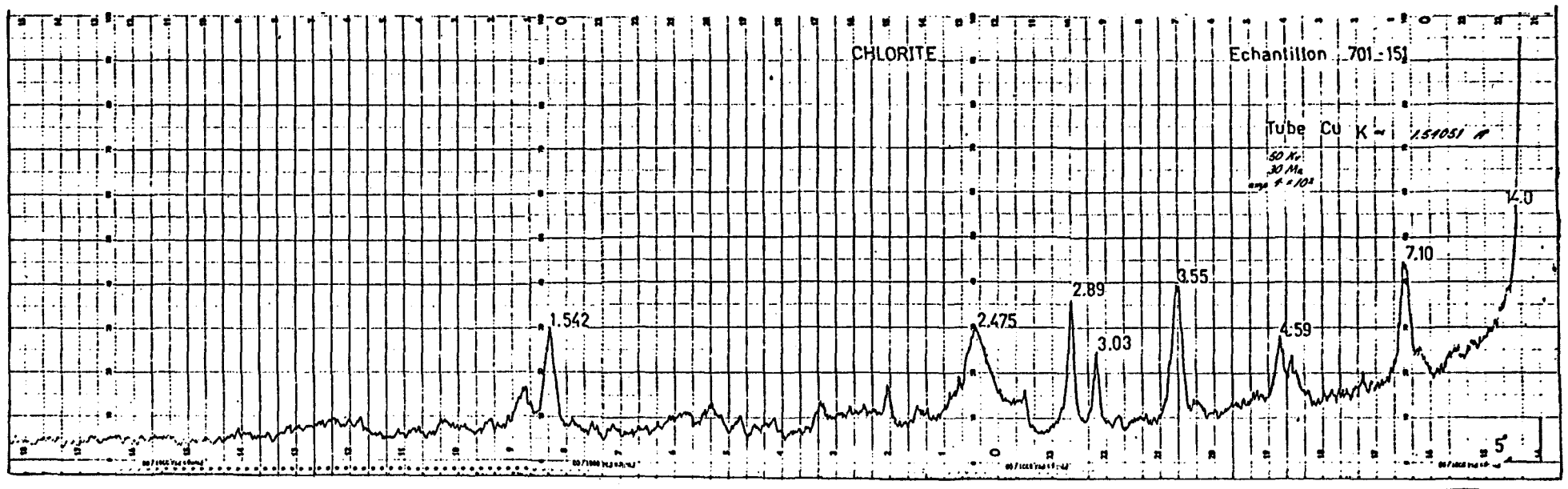


Fig. 10 Patron de diffraction de chlorite montrant les "pics" principaux:

7.10 plan 002, I=100; 3.55 plan 004, I=68; 2.89 plan 104, I=19; 4.59 plan 100, I=45.

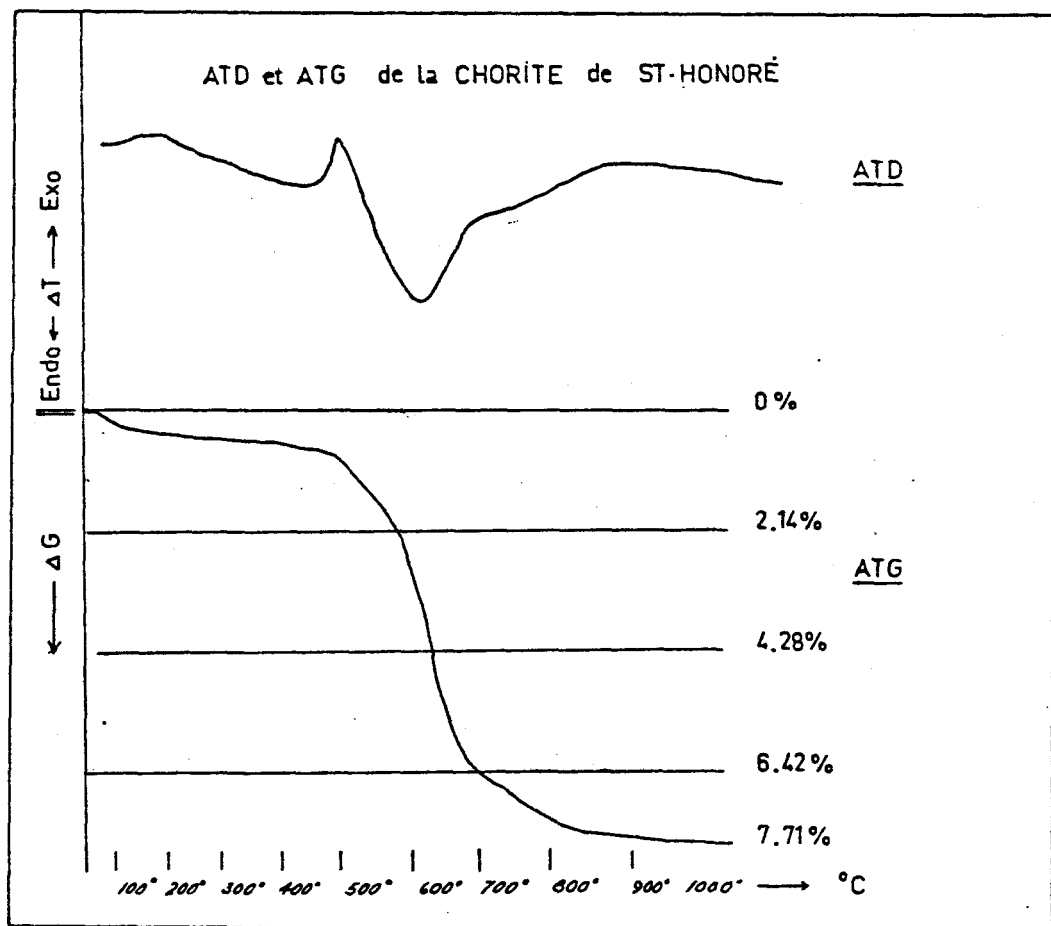


Fig. 11 Analyse thermodifférentielle et thermogravimétrique de la chlorite provenant de la carbonatite de St-Honoré. Notez la réaction endothermique à 600°C accompagnée d'une perte de 7.71% durant la même période.

TABLEAU III

ANALYSE PARTIELLE DE LA CHLORITE DE ST-HONORE ET LE CALCUL
DE LA FORMULE STOECHIOMETRIQUE (ABSORPTION ATOMIQUE)

ELEMENTS	CHLORITE (ST-HONORE) (%)	CHLORITE (STANDARD) (%)
SiO ₂	30.25	38.30
Al ₂ O ₃	22.62	15.40
Fe(t)	24.12	8.85
MgO	15.77	20.40
Total	92.86	82.95

FORMULE STOECHIOMETRIQUE

CATIONS				
Si	5.6	}	8	} Calculé sur une base de 28 (O).
Al	2.4			
Mg	4.37	}	10.26	
Al	2.53			
Fe	3.36			
O	20			
(OH)	16			

L'apatite est un minéral peu fréquent dans la zone à terres rares de St-Honoré.

Elle est observable localement au microscope polarisant. Aucun patron de diffractométrie n'a pu être obtenu. Il est à noter que ce minéral est abondant dans la zone à columbium présentement exploitée.

4. Classe des sulfates

a) Barytine Ba_3SO_4

La barytine, qui est un minéral commun de la zone de niobium de St-Honoré (Gagnon et Gendron, 1977), est un minéral rare dans la zone à terres rares.

Elle est de couleur rose pâle (planche 1c). Les raies caractéristiques de celle-ci sont observées sur plusieurs patrons de diffractométrie. A la microsonde électronique, les éléments Ba et S permettent de l'identifier.

5. Classe des oxydes

a) Magnétite $Fe_2O_3 \cdot FeO$

La magnétite est un minéral commun de la zone à terres rares de St-Honoré. On peut la distinguer à sa couleur noire et sa texture fluidale occasionnelle. A Tundulu, Garson (1963) a fait des observations similaires. Sous le microscope à lumière réfléchie, elle a ses propriétés habituelles (gris brun, isotrope). Quelques patrons de diffractométrie montrent les raies caractéristiques de celle-ci.

b) Hématite Fe_2O_3

L'hématite est commune dans la zone à terres rares de St-Honoré. Elle se distingue par sa couleur rouge très foncé; d'ailleurs, elle donne une bonne partie de sa coloration à la roche avoisinante.

Sur le microscope, elle se différencie des autres minéraux opaques par sa couleur plutôt rouge au microscope polarisant et sa réflexion externe au microscope à la lumière réfléchie.

On peut noter sa présence sur plusieurs patrons de diffractométrie dont un où elle est en association avec la bastnaésite.

c) Pyrolusite MnO_2

La pyrolusite est un minéral accessoire dans la zone à terres rares de St-Honoré. Elle est reconnaissable à sa couleur noire, quoique très difficile à distinguer des hydrocarbures (planche 1d). Au microscope polarisant, elle pourrait apparaître dans les tons de gris-brun, peu anisotrope. Donc sa présence n'est pas confirmée de façon certaine.

d) Rutile TiO_2

Le rutile apparaît en très faible quantité dans la zone à terres rares de St-Honoré.

Il est identifiable seulement à l'aide des patrons de diffractométrie qui sont très nets. D'après l'examen microscopique, nous pouvons supposer que celui-ci est en inclusion dans la phlogopite ou en grains interstitiels sous forme d'aiguilles fines semi-opaques.

6. Classe des sulfures

a) Pyrite FeS_2

La pyrite est le sulfure le plus abondant dans la zone à terres rares.

Sa présence est relevée sur plusieurs patrons de diffractométrie.

b) Pyrrhotine $Fe_{1-x}S$

Seulement des traces de pyrrhotine apparaissent dans la zone à terres rares de St-Honoré. Elle se présente en petites plages brunes. Son identification est basée sur ses propriétés optiques au microscope en lumière réfléchie et un patron de diffractométrie.

c) Chalcopyrite $Cu.Fe.S_2$

La chalcopyrite est extrêmement rare dans la zone de terres rares; cependant Sergerie (1975) a relevé sa présence.

7. Autres

a) Antraxolite

Un minéral de type hydrocarbure lourd (antraxolite) fut identifié. Il apparaît de façon interstitielle, en poudre noire, très fine se désagrégeant très facilement; nous pouvons le confondre avec la pyrolusite (planches 1c et 1d).

b) Inconnus

Plusieurs minéraux demeurent non-identifiés; leurs caractéristiques apparaissent dans la description de chaque échantillon. Au total, quatorze minéraux ne furent pas identifiés et la majorité sont des minéraux opaques.

Minéralisation renfermant les terres rares

Cette portion de chapitre décrira les propriétés optiques, l'identification par diffraction des rayons-X, la morphologie des grains ainsi qu'une discussion sur la morphologie des grains des deux minéraux principaux qui contiennent les terres rares: La bastnaesite et la monazite. Il y a possiblement d'autres minéraux qui transportent des terres rares, tels que d'autres fluorocarbonates mais leur quantité est minime et ils n'ont pu être identifiés avec certitude.

Nous étudierons leur distribution et leurs modes d'associations dans les chapitres qui traitent de la pétrographie de la zone à terres rares ainsi que dans celui étudiant la géochimie.

1. Bastnaesite

a) Propriétés optiques

Visuellement, la bastnaesite est en grains rougeâtres très fins (< 1 mm).

Au microscope polarisant, la bastnaesite apparaît en petits bâtonnets brun-rouge, semi-opaques (planche 2a), comme à Tundulu, Nyasaland, (Garson; 1963) et au Congo (Glass et Smalley; 1945). Très rarement ils sont incolores, très biréfringents et ont un relief très fort. Aucune figure conoscopique ne fut obtenue à cause de la granulométrie trop fine.

Planche 1



Pl. 1a

Dolomite ankéritique bréchique rouge teinte au FeCn et alizarin S. Notez les fragments dolomitiques (blanc). (806-433).



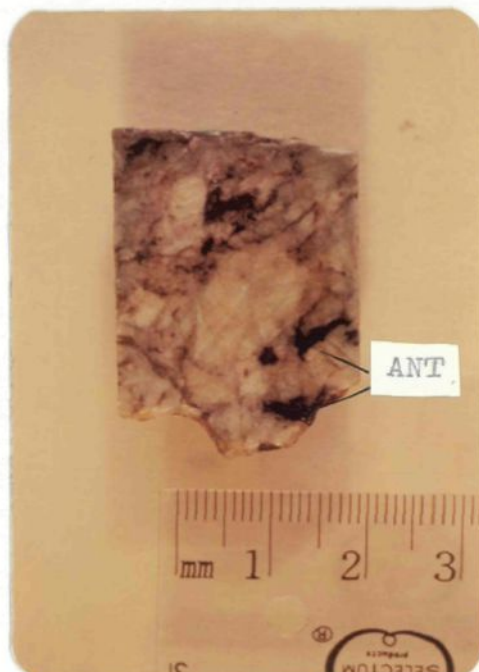
Pl. 1b

Feldspaths potassiques (jaune) interstitiels dans une carbonatite à chlorite (806-26.2).



Pl. 1c

Barytine (rose) en veinule interstitielle dans une dolomitite fraîche; notez l'antraxolite noire (806-483)



Pl. 1d

Antraxolite (noir) interstitielle dans une dolomitite fraîche (blanc) (806-473).

Au microscope en lumière réfléchi, la bastnaesite apparaît en bâtonnets gris-brun remplacés parfois par l'hématite (planches 2b, 2c).

b) Identification par la diffraction des rayons-X.

L'étude de plusieurs patrons de diffractométrie (52 patrons pris sur 40 échantillons) démontre nettement sa présence en grande quantité (Figure 12). Quelques "pics" caractéristiques ont des intensités anormales par rapport à celles de la fiche de l'A.S.T.M. De plus, il est possible que de la synchisite soit en intercroissance avec la bastnaesite (Figure 13).

c) Morphologie des grains; étude à la microsonde électronique

L'analyse qualitative à la microsonde électronique montre que la majorité des spectres de la bastnaesite contiennent les raies caractéristiques du "Ca" et du "Fe" en plus des éléments de terres rares La, Ce, Nd, Pr (Figure 14).

Le "Ca" peut être un composant de la bastnaesite mais il est plus probable que sa présence, avec la granulométrie fine de la bastnaesite ou une inégalité de surface de l'échantillon, résulte de l'excitation des carbonates avoisinants (Laguitton, 1973).

Les laboratoires du Ministère des Richesses naturelles du Québec, lors des essais de concentration, réussirent à concentrer une poudre (< -325 mailles) à 20% bastnaesite à l'aide d'une séparation aux liqueurs denses suivie d'une séparation magnétique. Une dernière séparation à l'aide d'un aimant à main éleva la concentration à 80% de bastnaesite.

Les travaux de microsonde électronique révèlent que la bastnaesite se présente sous trois formes distinctes:

1. Dans 60% des échantillons, la bastnaesite se trouve sous forme d'aiguilles isolées ou groupées en agrégats d'aiguilles enchevêtrées. Ces aiguilles se divisent en trois classes granulométriques:

a) Les aiguilles mesurent 3 à 6 μ X 1 μ (planche 2d).

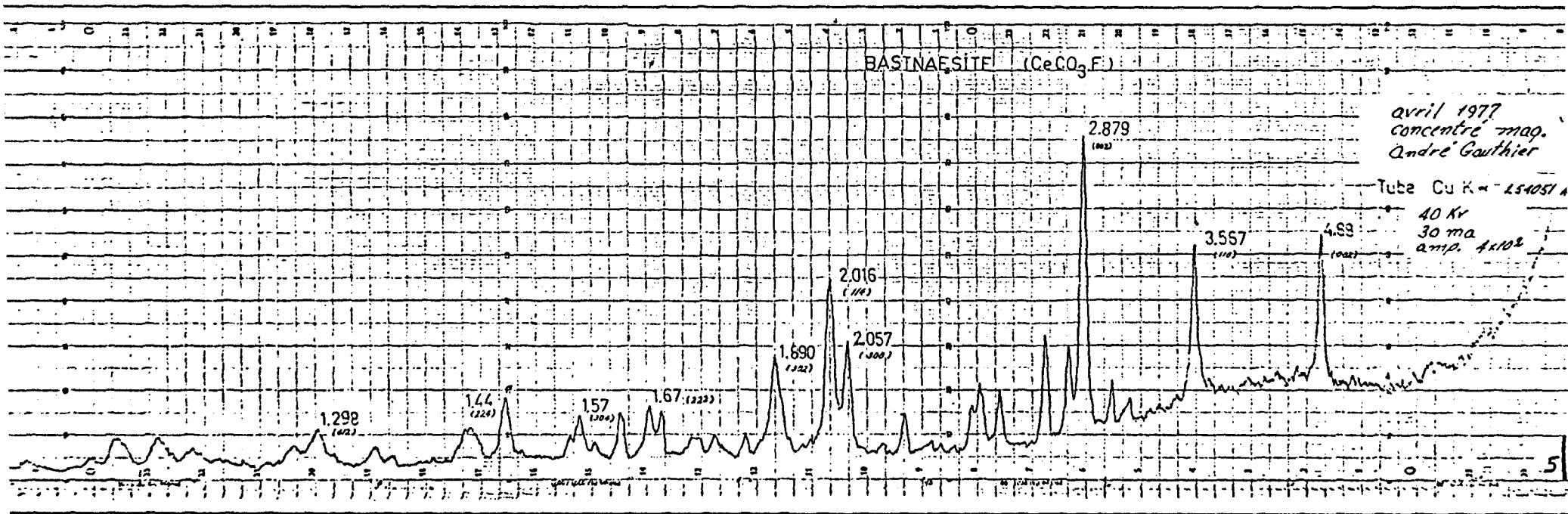


Fig. 12 Patrons de diffraction de bastnaesite montrant les trois "pics" caractéristiques principaux:
2.879 plan 002, I = 100; 3.567 plan 110, I = 60; 4.88 plan 002, I = 40.

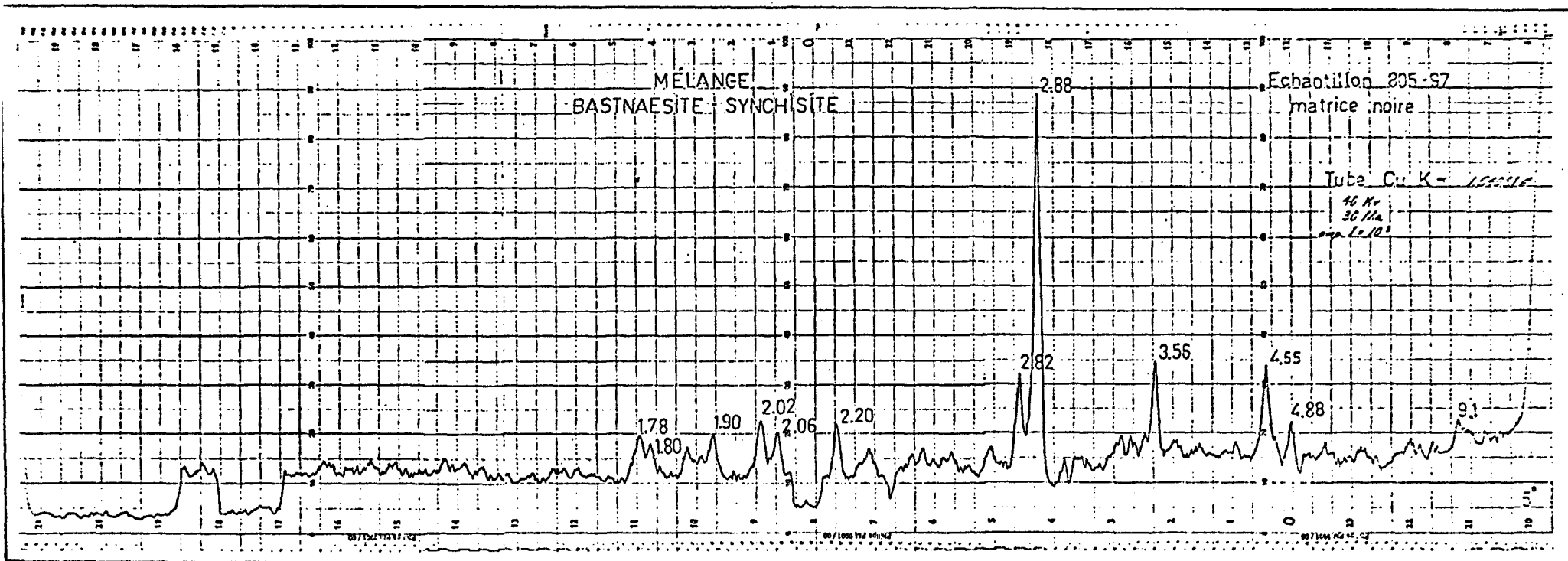


Fig. 13 Patrons de diffraction des rayons-X où nous pouvons observer les "pics" caractéristiques de la bastnaesite (2.89, 3.55, 4.88) et possiblement qu'il y a les "pics" caractéristiques de la synchisite (Cheang, 1977) (9.1 et 4.55).

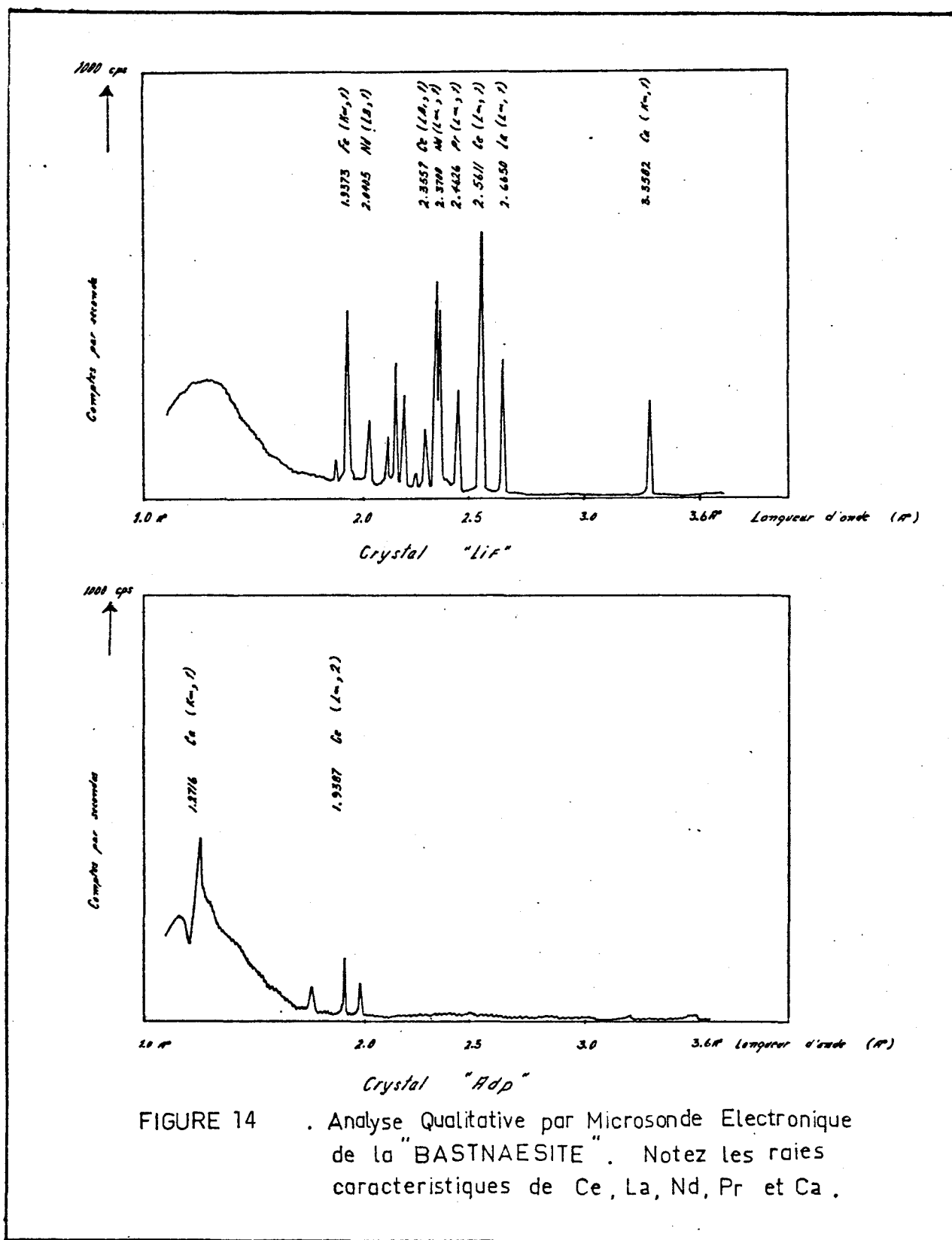


Planche 2

Pl. 2a

Aiguilles de bastnaesite brun-rouge semi-opaques (lm. 801-210.5, lumière transmise, nicol simple).

Pl. 2b

Aiguilles de bastnaesite hématisées (lm. 805-220.7, lumière réfléchie, nicol simple).

Pl. 2c

Aiguilles grises de bastnaesite hématisées (lm. 808-212, lumière réfléchie, nicol simple).

Pl. 2d

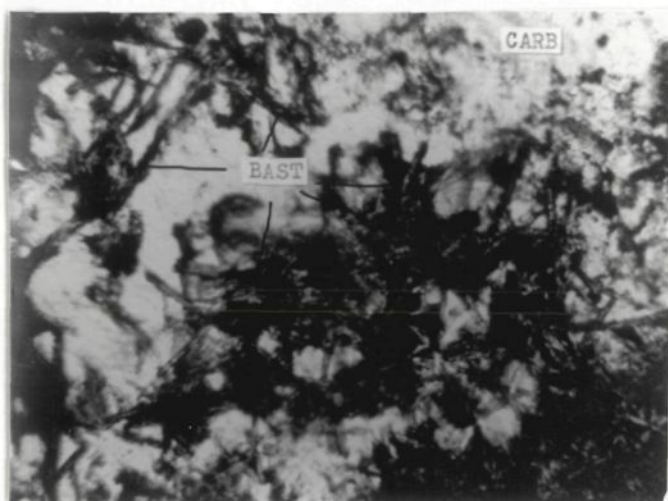
Aiguilles de bastnaesite (3-6 μ) dans la carbonatite ankéritique à forte teneur en terres rares (lm. 802-164, microsonde électronique).

Pl. 2e

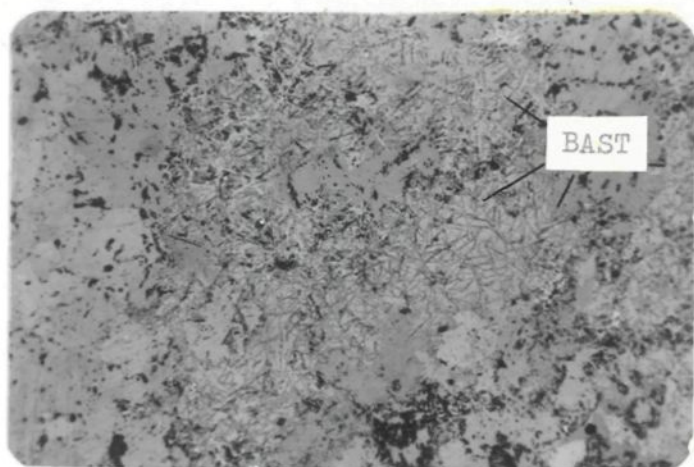
Aggrégats d'aiguilles de bastnaesite groupés en grains xénomorphes. (lm. 802-164, microsonde électronique).

Pl. 2f

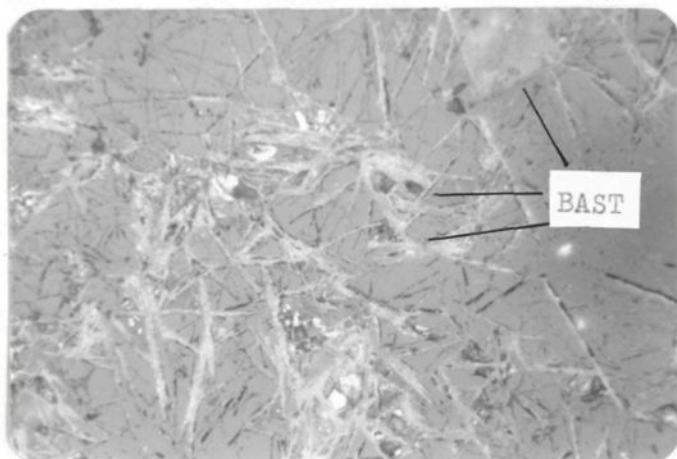
Aiguilles de bastnaesite (10 μ) associées à la carbonatite ankéritique (lm. 802-164, microsonde électronique).



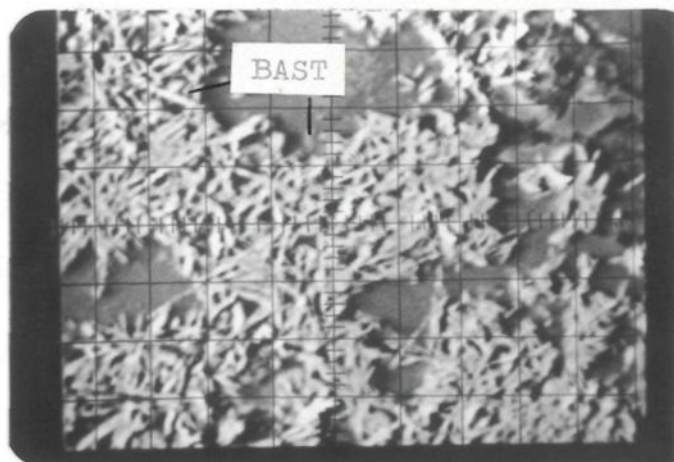
Pl. 2a 0 .15 mm



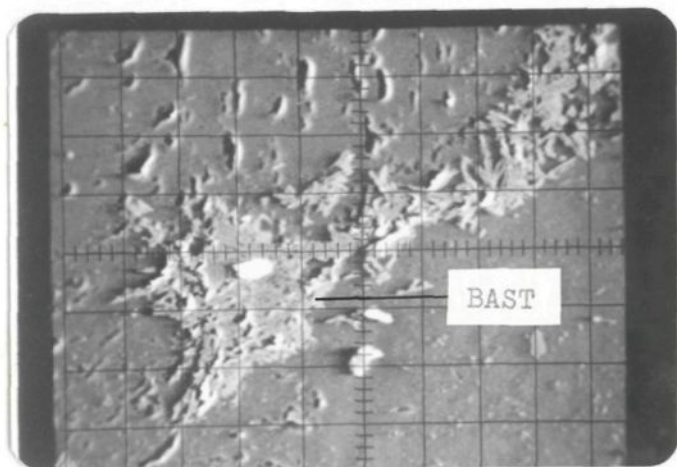
Pl. 2b 0 .5 mm



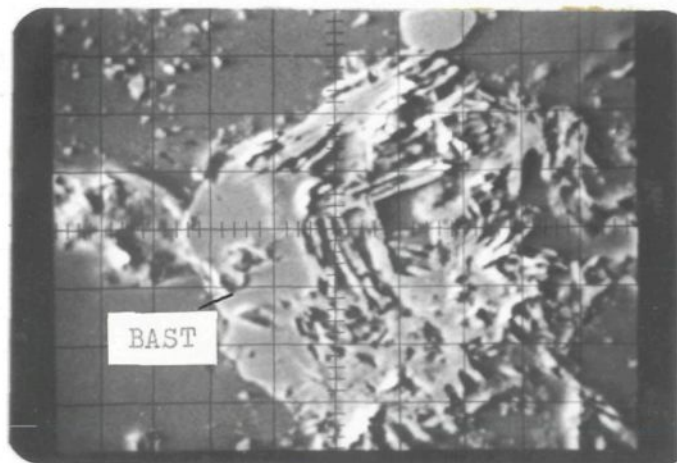
Pl. 2c 0 .24 mm



Pl. 2d 0 10 μ



Pl. 2e 0 25 μ



Pl. 2f 0 10 μ

Dans ce cas, elles sont groupées en agrégats de forme irrégulière et de dimensions qui varient de 15μ à 160μ . Ces agrégats prennent une forme de grains xénomorphes ou hypidiomorphes (planche 2c). La maille de ces grains est ouverte.

- b) Les aiguilles mesurent $10 \mu \times 2 \mu$ ou $10 \mu \times 1 \mu$ (planches 2f et 3a).

Ces aiguilles sont groupées en agrégats de 20 à 50μ en général. La maille peut être ouverte ou serrée; dans ce dernier cas, les agrégats prennent la forme de plages xénomorphes ou de grains hypidiomorphes.

- c) Les aiguilles mesurent de 20 à $25 \mu \times 2 \mu$ (planches 3b et 3c).

Ces aiguilles sont isolées ou groupées en agrégats qui peuvent mesurer jusqu'à 200μ . La maille peut être ouverte (60% vide) (planche 3d) ou serrée (planche 3e) ce qui donne une forme de plages ou de grains xénomorphes. Il faut noter que les aiguilles sont parfois remplacées.

2. Une autre forme de bastnaesite, moins commune que la première, consiste en:

- a) Des grains hypidiomorphes qui mesurent généralement entre 20 et 75μ et qui sont occasionnellement remplacés par la matrice adjacente (planche 3f).

- b) Des petits grains hypidiomorphes ($10-15 \mu$) (planche 4a) et des grains xénomorphes ou "flocons" ($2.5-5 \mu$) en plages ou agrégats xénomorphes mesurant de 25μ à 200μ (planche 4b).

3. Finalement, nous retrouvons des plages matricielles xénomorphes (planche 4c), composées de petits grains xénomorphes disséminés. La granulométrie de ces plages est très difficile à évaluer.

Nous retrouvons la distribution de la bastnaesite par rapport aux types de roches sur le tableau IV. Nous retrouvons sur ce ta-

bleau la provenance des échantillons et la valeur en La_2O_3 de l'intersection d'où ces échantillons proviennent.

d) Discussion de la morphologie des grains

Donc les travaux de microsonde démontrent que la majorité des terres rares sont contenues dans la bastnaesite (Ce.F.CO_3) (Ca,Fe). Il y a quelques endroits dans le monde où la bastnaesite est le minéral principal de terres rares (Tableau XXIV). Seulement deux localités sont considérées "économiques": Bastnas (Suède) et Mountain Pass (Californie, E.-U.).

La principale forme de bastnaesite (aiguilles) est commune dans plusieurs occurrences de bastnaesite dont Gallinas Mountain (Nouveau-Mexique), Pike's Peak (Colorado), Bastnas (Suède) (Glass et Smalley, 1945), Mountain Pass (Californie) (Olson, Pray et Shawe, 1954) ainsi qu'à Tundulu (Garson, 1963). A Kangankunde Hill, Holt (1965) mentionne que la bastnaesite recouvre d'autres minéraux; nous l'observons possiblement à St-Honoré où les aiguilles de bastnaesite recouvrent les grains de pyrite.

La seconde forme de bastnaesite (des grains hypidiomorphes et des plages formées de petits grains xénomorphes) se retrouve à Kangankunde Hill (Holt, 1965) et à Mountain Pass où les grains n'ont pas le clivage de base (Olson, Pray et Shawe, 1954).

Les plages matricielles semblent typiques à St-Honoré.

2. Monazite (Ce, La, Th) PO_4

a) Propriétés optiques

L'observation de la monazite est possible seulement au microscope à lumière transmise. Une trentaine d'échantillons en contiennent des traces. Les propriétés optiques sont normales.

b) Identification par la diffraction des rayons-X

Les rayons-X ne confirment pas sa présence. Lors des tests de séparation au laboratoire du M.R.N.Q., aucune trace de monazite n'a été détectée sur les patrons de rayons-X.

TABLEAU IV

LISTE DES ECHANTILLONS ANALYSES A LA MICROSONDE ELECTRONIQUE
ZONE A TERRES RARES DE ST-HONORE

ZONE D'ISO- CONCENTRATIONS DE La_2O_3	TYPE DE ROCHE	PROVENANCE DE L'ECHANTILLON	La_2O_3 (%) ANALYSE*	Tr_2O_3 (%) ESTIME**	QUANTITE DE BASTNAESITE CALCULE***
Zone "1"	Carbonatite rouge ankéritique	801 - 146.7	1.77	7.1 (7.7)	(10.26) 9.46
		- 161	1.66	6.64 (7.2)	(9.68) 8.85
		802 - 164	3.09	12.36	16.48
		- 214.5	2.07	8.28	11.04
		- 232.5	1.10	4.4	5.9
	Carbonatite jaune limonitique	807 - 183	1.50	6.0	8.0
		808 - 116	1.92	7.7	10.26
		- 212	1.75	7.0	9.33
		806 - 232	1.22	4.9	6.5
		- 282.2	1.48	5.7	7.6
Zone "2"	Carbonatite rouge ankéritique	805 - 115.5	1.20	4.8	6.4
		806 - 111.7	1.85	7.1	9.48
		807 - 307	1.12	4.5	6.0
	Carbonatite blanche fraîche	804 - 188	.92	3.4	4.5
		804 - 244.5	1.30	5.2	6.9
		805 - 220.7	.77	3.1	4.13
		807 - 251	.77	3.1	4.13
Zone "3"	Carbonatite rouge ankéritique	803 - 216.5	.57	2.3	3.06
		- 298	.17	.68	.90

* Valeur en La_2O_3 de l'intersection de 10' contenant l'échantillon

** Valeur en Tr_2O_3 calculée à partir de la valeur de La_2O_3 en "*" et la relation $.25 Tr_2O_3 = La_2O_3$

*** Quantité de bastnaesite calculée à partir de la relation $.75 Bast. = \% Tr_2O_3$

Planche 3

Pl. 3a

Aiguilles de bastnaesite associées à une carbonatite ankéritique à forte teneur en terres rares (Imp. 806-111.7, microsonde électronique).

Pl. 3b

Aiguilles de bastnaesite (10 μ) dans une carbonatite ankéritique; agrégats à maille ouverte (Imp. 808-212, microsonde électronique).

Pl. 3c

Aiguilles de bastnaesite (30 x 2 μ) associées à une dolomite fraîche à faible teneur en terres rares (Imp. 807-251, microsonde électronique).

Pl. 3d

Aiguilles de bastnaesite groupées en agrégats dans une dolomite fraîche (Imp. 805-220.7, microsonde électronique).

Pl. 3e

Plages de grains xénomorphes de bastnaesite associées à une dolomitite fraîche à faible teneur en terres rares (Imp. 808-116, microsonde électronique).

Pl. 3f

Grains xénomorphes de bastnaesite (20-50 μ) (Imp. 807-251, microsonde électronique).

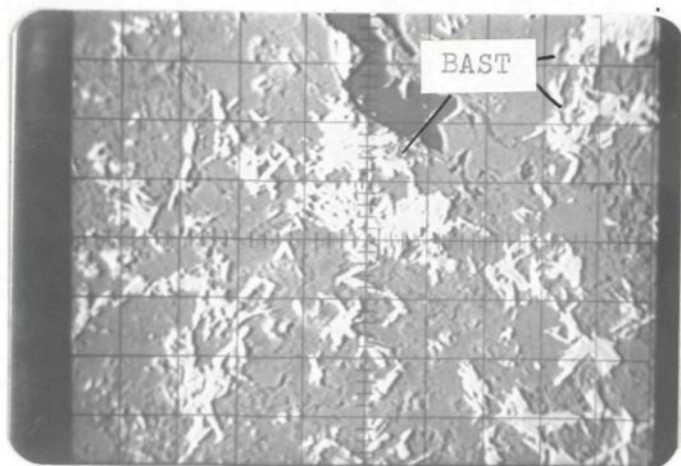
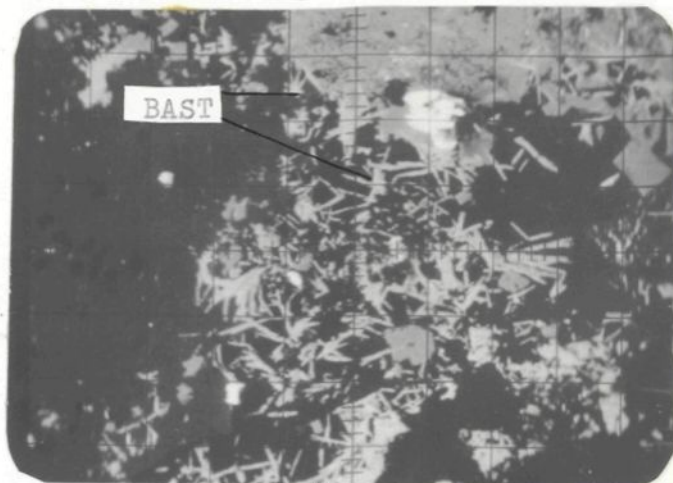
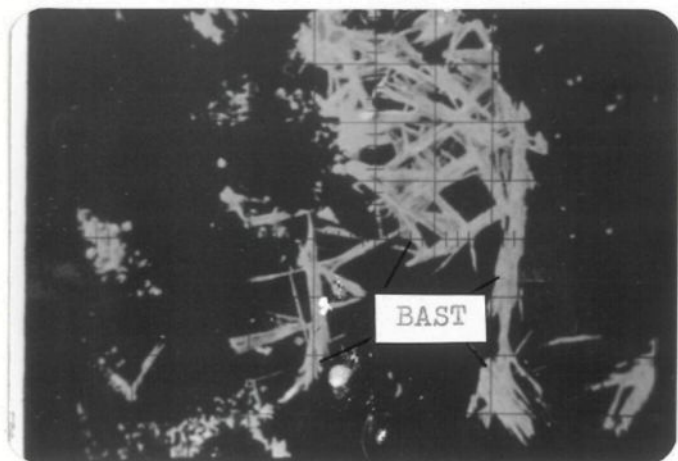
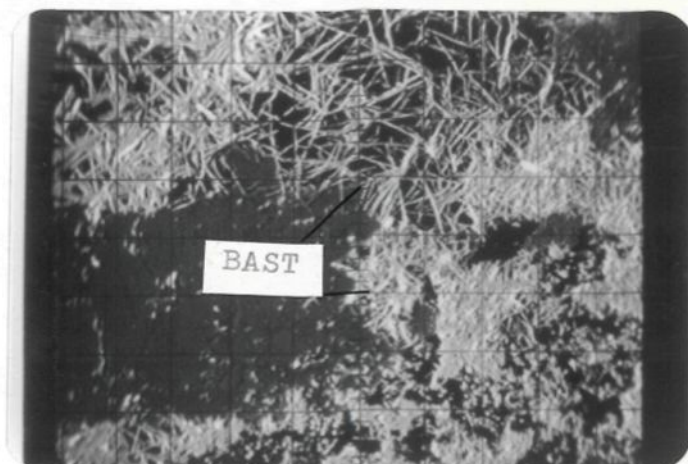
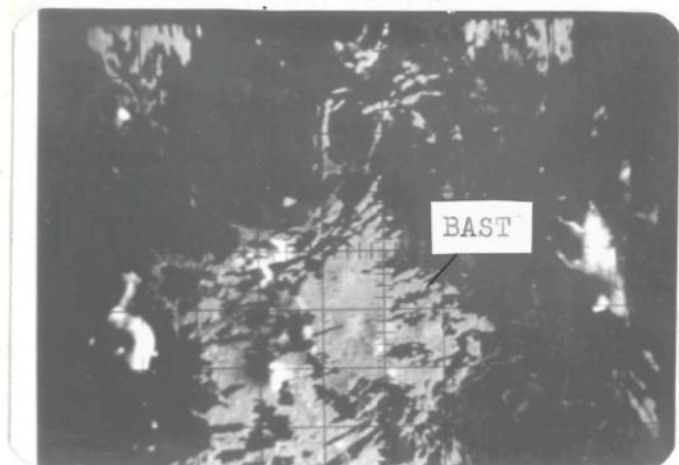
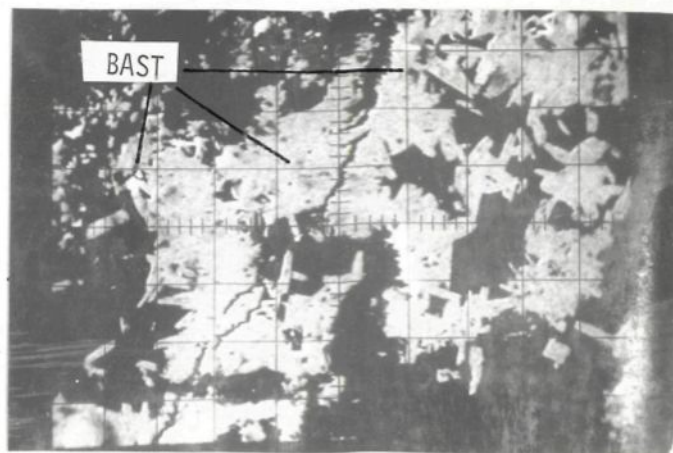
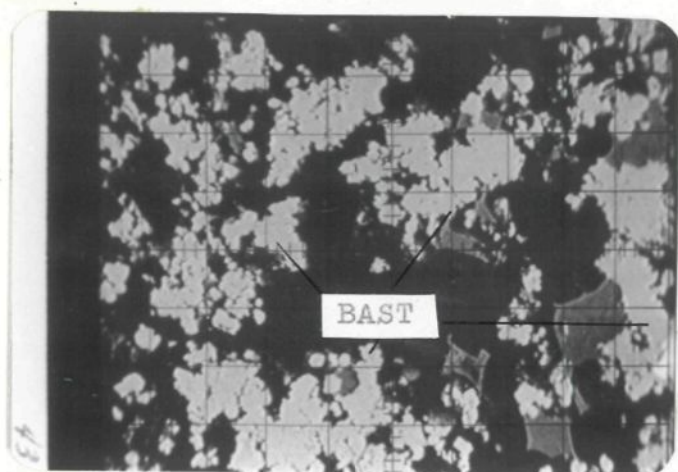
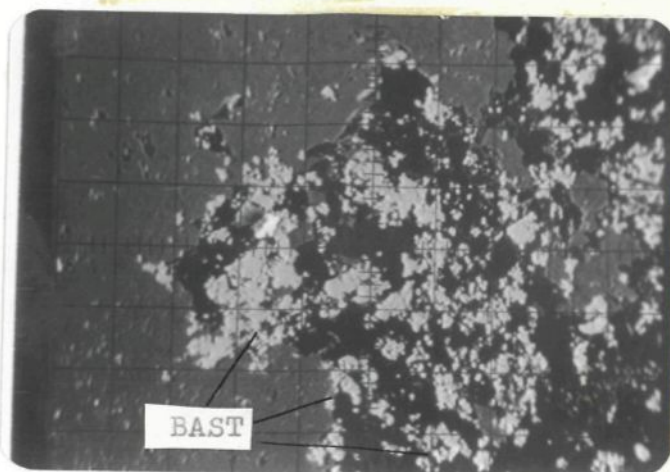
Pl. 3a 0 80 μ Pl. 3b 0 80 μ Pl. 3c 0 25 μ Pl. 3d 0 80 μ Pl. 3e 0 25 μ Pl. 3f 0 20 μ

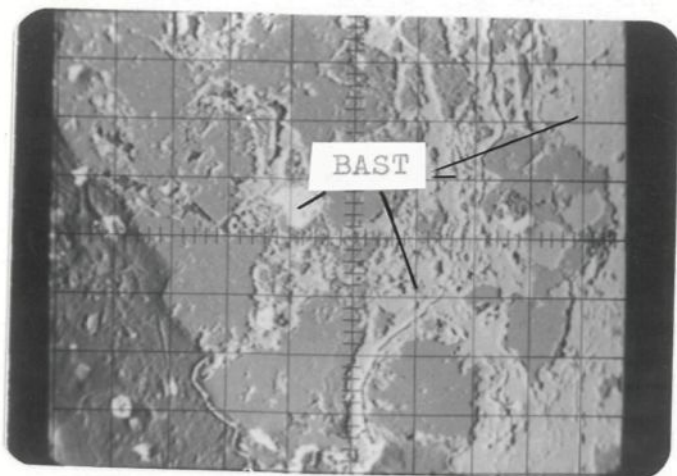
Planche 4

Pl. 4a 0 25 μ

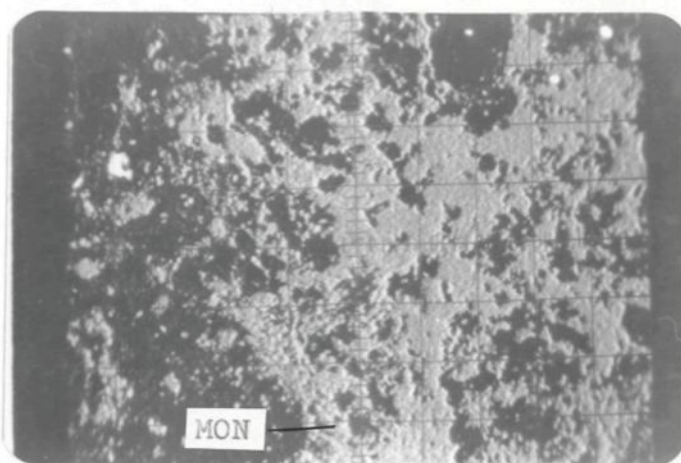
Petits grains hypidiomorphes de bastnaesite groupés en agrégats dans une carbonatite limonitique jaune (Imp. 806-232, microsonde électronique).

Pl. 4b 0 25 μ

Plages (!) de bastnaesite associées à la carbonatite limonitique jaune (Imp. 306-232, microsonde électronique).

Pl. 4c 0 80 μ

Plage matricielle de bastnaesite faite de grains xénomorphes (Imp. 807-183, microsonde électronique)

Pl. 4d 0 80 μ

Plage de monazite (Imp. 801-146.7, microsonde électronique).

c) Etude à la microsonde électronique et la morphologie des grains

Les spectres obtenus à la microsonde électronique démontrent sa présence (Figure 15). Les raies caractéristiques du La, Ce, Nd furent observées de même que celles de P.

Nous retrouvons la monazite dans un seul échantillon sous forme de plages irrégulières (planche 4d).

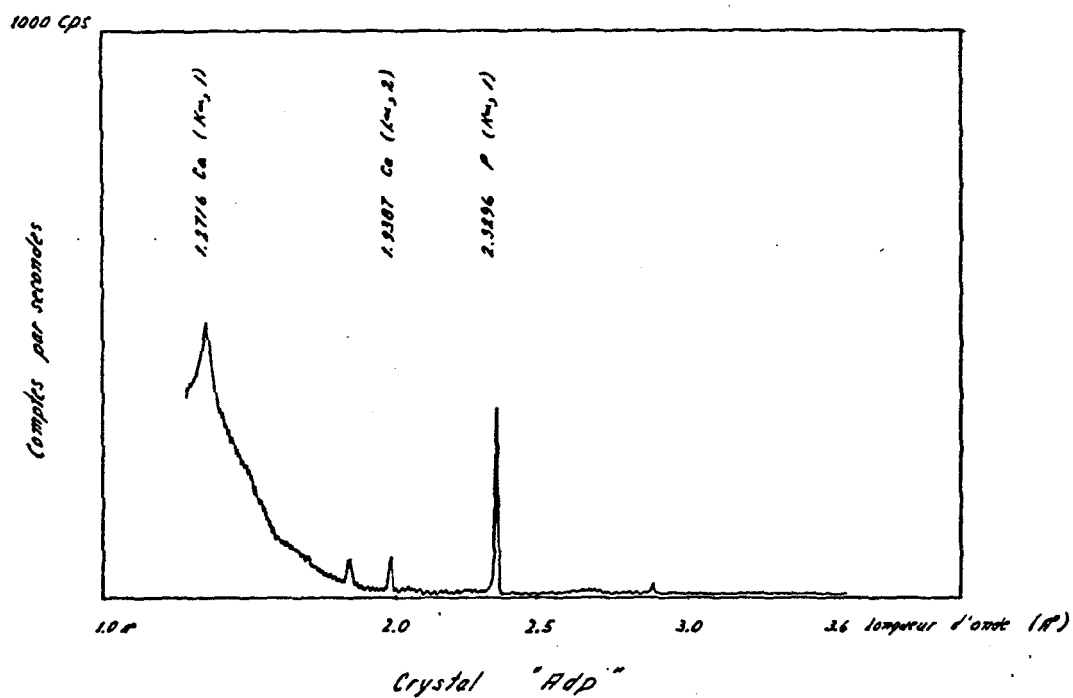
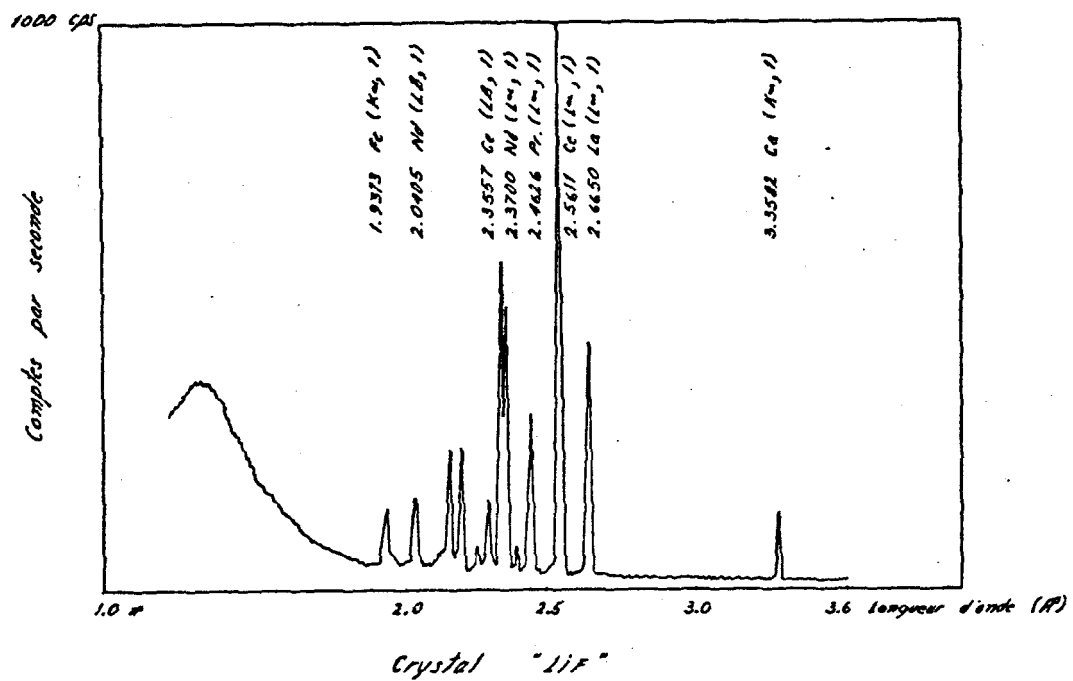


FIGURE 15 . Analyse Qualitative par Microsonde Electronique de la "MONAZITE". Notez les raies caractéristiques de Ce, La, Nd, Pr, Ca et P.

Chapitre IV

PETROGRAPHIE DES ROCHES DE LA ZONE A TERRES RARES

Introduction

Onze trous de sondages, d'une longueur moyenne de 410 pieds, se situent dans la carbonatite à terres rares décrite par Vallée et Dubuc (1970) (nos. 801 à 808 et 704, 709, 712). Quatre autres trous de sondages sont situés en périphérie de cette unité (nos. 701, 705, 706 et 708). (Figure 3).

L'étude pétrographique est basée sur l'examen d'échantillons provenant de huit trous de sondages (nos. 801 à 808) situés dans la zone à terres rares (appendice A).

Quatre-vingt-douze lames minces, seize lames minces polies ont été confectionnées à partir de ces échantillons. La localisation de ces échantillons est résumée à l'appendice A.

Distribution spatiale des unités géologiques de la zone à terres rares

L'étude pétrographique nous a permis d'identifier quatre unités lithologiques distinctes: une carbonatite fraîche, une carbonatite ankéritique rouge, une carbonatite limonitique jaune-brun et une carbonatite verte à chlorite. La répartition de ces quatre lithologies dans les trous de son-

dages permet d'établir un modèle tridimensionnel de la géologie de la zone à terres rares que l'on présente sur les figures 16 et 17.

Ce modèle est possiblement inexact dans les détails puisque l'absence totale d'affleurement nous empêche d'observer les structures mégascopiques. Cependant, il respecte fidèlement toutes les observations microscopiques et mégascopiques que nous avons effectuées.

Ce modèle montre une zone externe où la carbonatite fraîche domine, des zones intermédiaires où la carbonatite ankéritique domine et une cheminée centrale caractérisée par une alternance de dolomite ankéritique rouge et de carbonatite à chlorite verte.

Nous décrirons successivement les traits mégascopiques propres à chaque unité, les caractéristiques microscopiques générales à toutes ces unités ainsi que les caractéristiques microscopiques et la distribution des minéraux à terres rares propres à chacune d'entre elles.

Description mégascopique des principales unités géologiques de la zone à terres rares

1. Carbonatite fraîche

La masse principale de carbonatite fraîche est située à l'extrémité nord de la zone à terres rares ainsi qu'à l'extrémité est (trous nos. 801, 802, 806 et 807) (Figures 16 et 17). Nous retrouvons une autre masse ou bande importante dans la partie centrale qui est recoupée par les trous 804 et 704. Finalement, quelques autres bandes sont retrouvées dans d'autres trous de sondages mais elles ne peuvent être rattachées à une section (trou no. 808).

Du point de vue minéralogique, la carbonatite blanche est généralement dolomitique, occasionnellement dolomitique-ankéritique et rarement calcitique. Elle est accompagnée de matériel noir interstitiel (planches 1c et 1d) (2 à 5%) (antraxolite) spécialement lorsqu'elle est bréchique. Quelques grains de phlogopite brun-noir, des taches ou fines veinules de pyrite et quelques veinules de barytine (planche 1c) apparaissent occasionnellement. Il y a finalement des traces de magnétite et de chalcoppyrite.

La carbonatite fraîche est caractérisée par sa couleur blanche et sa texture généralement massive granulaire de grains moyens à grossiers.

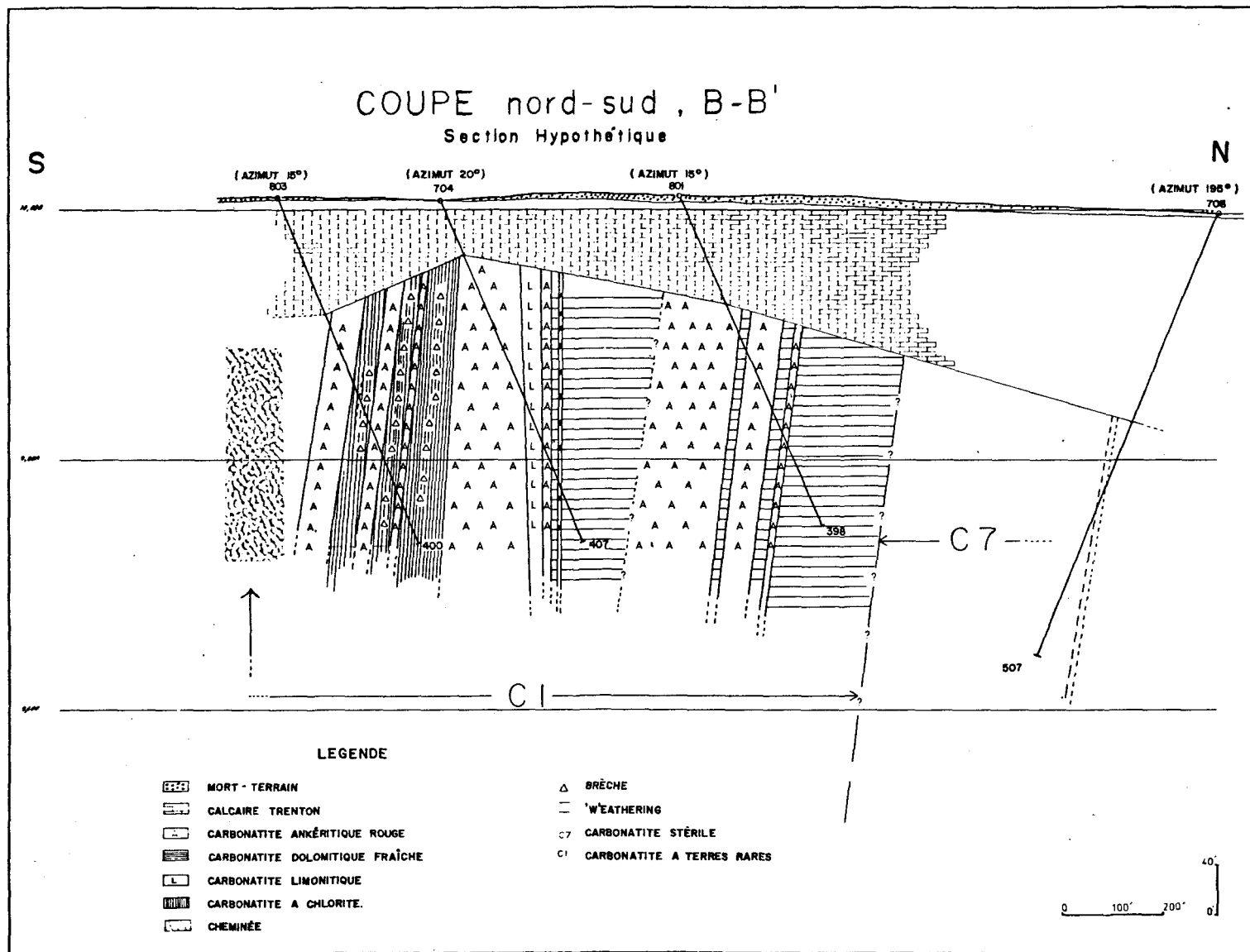


Figure 18. Coupe géologique nord-sud de la zone à terres rares.

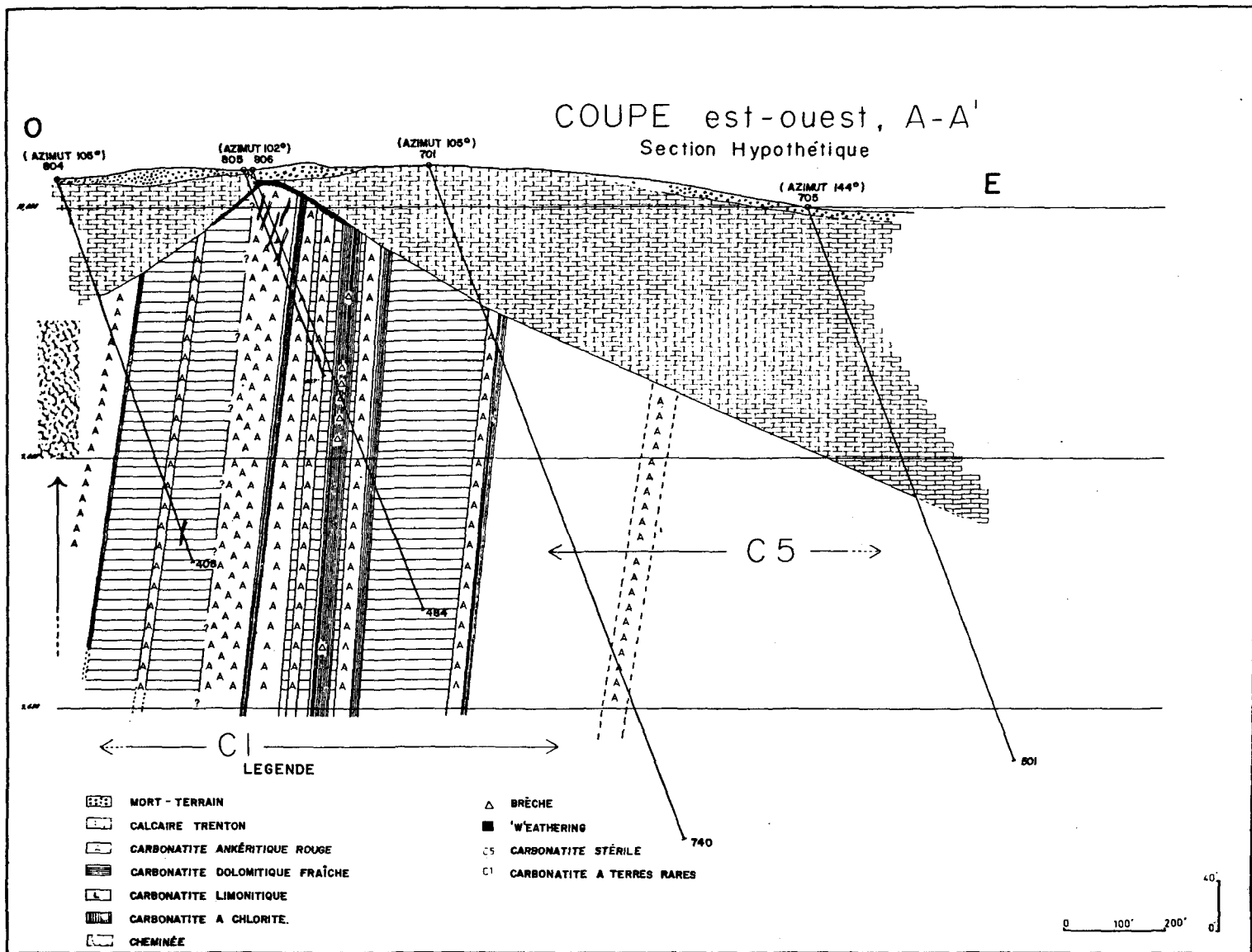


Figure 17. Coupe géologique est-ouest de la zone à terres rares.

Quelques brèches sont présentes (planche 1d) (trous nos. 801, 802, 807 et 704). Il y a une foliation qui se développe occasionnellement (trous nos. 801, 804, 805, 806, 807 et 808) (planche 5).

Des bandes chloritiques vertes et de 5 à 20% de bandes ankéritiques rouges s'intercallent irrégulièrement à l'intérieur de cette carbonatite fraîche.

2. Carbonatite ankéritique rouge

La masse principale de carbonatite ankéritique occupe la partie centrale de la zone à terres rares mais elle se trouve parfois dans des bandes périphériques (trous nos. 801 et 802) (Figures 16 et 17).

La carbonatite ankéritique est caractérisée par sa couleur rouge. Sa texture est principalement massive mais nous retrouvons plusieurs bandes foliées et des horizons bréchiques (planche 6).

Ce faciès est surtout ankéritique et dolomitique mais il y a de la sidérose dans la partie centrale et occasionnellement de la calcite.

Les carbonates sont accompagnés d'antraxolite noire interstitielle (2 à 10%), de bandes vertes de chlorite (planche 7) (5 à 30%) ainsi que de bandes à magnétite (partie nord) (planche 8). Il faut noter un fort degré d'altération hématitique, spécialement au contact ou près du calcaire Trenton. Il y a aussi de la phlogopite, de la pyrite, de la sphalérite et possiblement de l'ilménite disséminés. Finalement, il y a présence occasionnelle de limonite et de veinules calcitiques tardives.

3. Carbonatite limonitique jaune-brun

La bande principale de carbonatite limonitique se trouve dans le trou no. 808 (sud-est). Ailleurs, il y a quelques bandes disséminées seulement.

Outre sa couleur jaune, la carbonatite limonitique est caractérisée par sa texture à grains fins ou grossiers, massive, rarement foliée.

Les carbonates sont des dolomites ankéritiques. Nous retrouvons de l'antraxolite interstitielle ($\leq 2\%$), de fines veinules de sphalérite ainsi que des taches de pyrite dispersées. De fines passées chloritiques vertes et hématitiques rouges s'intercallent. Il y a quelques veinules calcitiques tardives.



Pl. 5

Carbonatite fraîche foliée à chlorite (vert) et antraxolite (noir) fine interstitielle. (807-293.8).



Pl. 6

Carbonatite ankéritique rouge, bréchique; notez la grosseur des fragments.



Pl. 7

Bandes de chlorite (vert) intercallées dans une bande principale de carbonatite ankéritique (rouge) (trou nos 802, 160 à 240).



Pl. 8

Bandes de carbonatite ankéritique (rouge) à magnétite (gris métallique); notez la présence de bandes chloritiques (vert).

4. Carbonatite à chlorite

La masse principale de carbonatite à chlorite occupe, avec la carbonatite ankéritique rouge, le coeur de la zone à terres rares de St-Honoré (Figures 16 et 17). Nous retrouvons aussi plusieurs bandes ou passées disséminées en périphérie ainsi qu'intercallées dans les autres faciès de carbonatite (Figure 17).

La carbonatite chloritique est vert foncé à vert pâle. La texture est bréchique ou massive; les fragments sont fins ou grossiers et les grains varient de fins à moyens. Sergerie (1975) mentionne que ces bandes sont foliées mais nous croyons que ce sont des phénomènes tardifs qui provoqueraient cette foliation, ce ne serait donc pas une véritable foliation. La matrice de la brèche est composée de carbonate dolomitique et de chlorite. Les fragments sont composés de carbonates, de feldspaths potassiques (planche 1b), occasionnellement de phlogopite et parfois de quartz. Il y a aussi de l'antraxolite interstitielle (< 2%) dans les fragments surtout, ainsi que de la barytine, de la pyrite et de la sphalérite (planche 9).

Caractéristiques microscopiques générales et spécifiques des quatre unités lithologiques de la zone à terres rares

1. Structure

Trois textures principales caractérisent les quatre faciès lithologiques précédemment décrits (Tableau V).

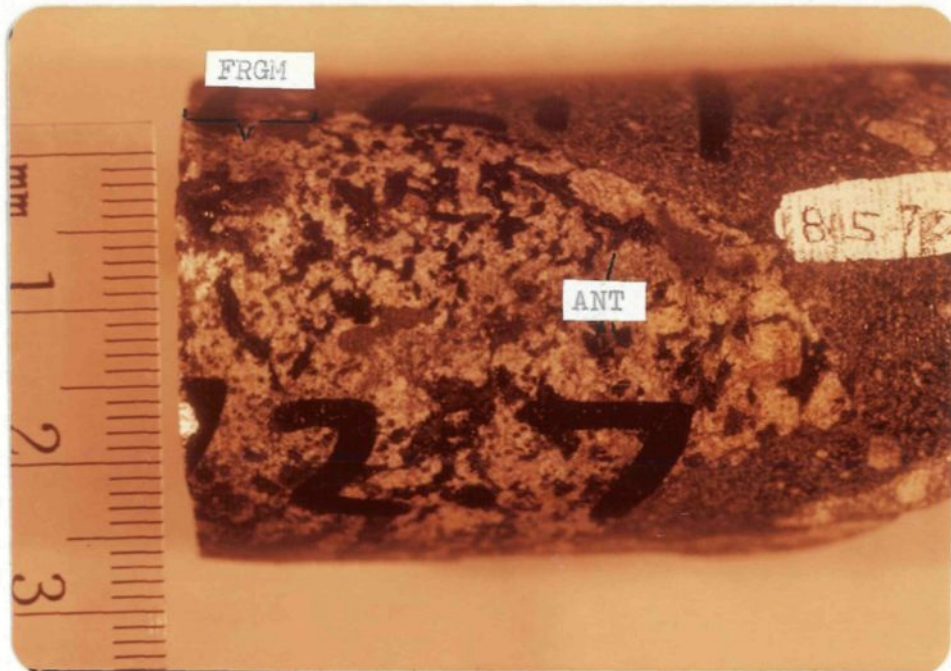
- a) Texture granulaire polygonale ou en mosaïque
- b) Texture granulaire brisée ou bréchiforme
- c) Texture bréchique

La texture granulaire est la texture dominante de la carbonatite fraîche et de la carbonatite limonitique; elle est cependant présente dans les quatre faciès. Les grains ont généralement un arrangement polygonal ou sub-engrené et sont occasionnellement arrondis. Ils ont une grosseur variant de .5 à 2 mm.

La texture bréchique est la texture la plus répandue dans les roches de la zone à terres rares. Les fragments sont généralement anguleux mais ils sont occasionnellement arrondis dans la carbonatite fraîche et la carbonatite limonitique. Leur grosseur varie entre .05 à 2 cm, mais se situe généralement entre 2 et 8 mm. Ces fragments sont monocristallins ou polycristallins et sont composés principalement de carbonates avec une

TABLEAU V
 CARACTERISTIQUES MICROSCOPIQUES GENERALES ET SPECIFIQUES AUX UNITES LITHOLOGIQUES DE LA ZONE A TERRES RARES DE ST-HONORE

CARACTERISTIQUES	CARBONATITE FRAICHE	CARBONATITE ANKERITIQUE	CARBONATITE LIMONITIQUE	CARBONATITE A CHLORITE
<u>Structure</u>	-Texture granulaire polygonale, ou sub-engrenée, 43% (.5-1 mm) -Texture bréchiforme, 15% -Texture bréchique, 41%	-Texture bréchique, 40% -Texture granulaire polygonale, 20%, (.2-2 mm) -Texture granulaire brisée, 12%	-Texture granulaire en mosaïque ou polygonale -Texture bréchiforme -Texture bréchique (peu)	-Texture bréchique, 40% -Texture bréchiforme, 34% -Texture granulaire en mosaïque ou "en mortier", 25%.
Constituant majeur Constituant secondaire	<u>Carbonates</u> -94% de la roche -opaques, semi-opaques, 3.1%	<u>Carbonates</u> -77% de la roche (30-98%) -opaques, semi-opaques, 6%	<u>Carbonates</u> -90.5% de la roche (80-96%) -opaques, semi-opaques, tr - 20%	<u>Carbonates</u> -74% de la roche (32-98%) -chlorite, 15%
<u>Carbonates</u>	4 formes: 1) Gros grains xénomorphes (1-5 mm) dans dolomitite granulaire ou fragments de brèche. 2) Grains moyens xénomorphes (1-2 mm), phénocristaux. 3) Petits grains xénomorphes (< .2 mm). 4) Pâte grise aphanitique, interstitielle. <u>Textures</u> -intercroissance et joints de grains triples (type 1-2). -veinules calcitiques.	1) Gros grains xénomorphes (1-4 mm), hématitisés, dans carbonatite granulaire et fragments de brèche. 2) Grains xénomorphes et hypidiomorphes moyens (.2-.8 mm), hématitisés, phénocristaux, dans carbonatite granulaire et fragments de brèche. 3) Petits grains xénomorphes, etc. (.05-.1 mm), dans la matrice des brèches. 4) Pâte grise aphanitique, matricielle. <u>Textures</u> -altération hématite. -remplacement de plagioclases. -intercroissance avec opaques. -intercroissance avec 2 carbonates -veinules.	1) Gros grains (1-5 mm), dans les fragments ou la dolomitite granulaire. 2) Grains moyens (.2-.6 mm), dans les fragments ou la dolomitite granulaire. 3) Petits grains matriciels (< .1 mm). <u>Textures</u> -joints de grains triples (gros et moyens) -altération limonite. -phénocristaux occasionnels. -forme d'aile déployée. -veinules de calcite.	1) Gros grains xénomorphes (.8-5 mm) dans les fragments ou la dolomitite granulaire. 2) Grains xénomorphes ou hypidiomorphes, moyens (.2-.6 mm) dans les fragments ou la dolomitite granulaire. 3) Petits grains matriciels. 4) Pâte grise aphanitique, interstitielle et matricielle. <u>Textures</u> -altération par hématite, limonite. -remplacement des opaques. -extinction roulante. -remplacement de barytine. -veinules de calcite. -intercroissance carbonate-chlorite.
<u>Minéraux opaques et semi-opaques</u>	3 catégories: 1) Hématite-limonite -altération des carbonates. -pâte brune matricielle. 2) Antraxolite -plages interstitielles 3) Pyrite -grains idiomorphes (.1-.3 mm). -plages interstitielles -veinules (< 1cm) <u>Textures</u> -altération	3 catégories: 1) Hématite-limonite -couvert d'altération sur les carbonates. -clivages-fractures de carbonates (remplacement). -plages aphanitiques matricielles. 2) Antraxolite -plages interstitielles 3) Magnétite-limonite-Pyrite -plages interstitielles -petits grains xénomorphes <u>Textures</u> -remplacement, altération	3 catégories: 1) Hématite-limonite -couvert d'altération sur les carbonates. -reliques des carbonates. -plages aphanitiques matricielles. 2) Antraxolite -plages interstitielles, trouées. 3) Pyrite-Sphalérite-Inconnus. -petits grains (< .3 mm) xénomorphes. <u>Textures</u> -remplacement, altération	3 catégories: 1) Pyrite-Hématite-Magnétite -petits grains xénomorphes (.005-.4 mm). -grains moyens (.02-.2 mm) hypidiomorphes et idiomorphes. 2) Antraxolite -plages interstitielles. 3) Pâte hématitique brune -plages matricielles. <u>Textures</u> -contours de grains déchiquetés. -fantômes -remplissage, inclusions.
<u>Chlorite</u>	-Plages interstitielles -Grains de forme radiée <u>Textures</u> -associée aux opaques -pseudomorphes	-Plages interstitielles matricielles, filamenteuses, associées à opaques. -Grains de forme radiée. -Petits grains xénomorphes (< 1 mm) dans la matrice. <u>Textures</u> -remplacement, association aux opaques.	-Plages interstitielles <u>Textures</u> -associée aux opaques -associée aux bastnaésite. -intercroissance avec des carbonates, inclusion.	4 formes: 1) Plages matricielles, rarement dans des fragments. 2) Petits grains de forme radiée. 3) Petites inclusions. 4) Bâtonnets (.1-.5 mm) <u>Textures</u> -remplacement des carbonates. -remplacement de la phlogopite. -remplacée par opaques (rutile)
<u>Minéraux acci-dentels</u>	-Quartz, feldspaths, barytine, bastnaésite, monazite, apatite, phlogopite, sphalérite, 4 inconnus.	-Bastnaésite, monazite, sphalérite, quartz, phlogopite, apatite, 1 inconnu.	-Bastnaésite et monazite, quartz, 1 minéral inconnu.	-phlogopite, bastnaésite, monazite, sphalérite, quartz, apatite, 3 minéraux inconnus.



Pl. 9

Fragments de carbonatite fraîche (blanc) à antraxolite interstitielle (noir) dans une carbonatite à chlorite (vert-brun) (805-72.7).

texture granulaire, en mosaïque, sub-engrenée ou foliée (planche 1d). Ils sont souvent altérés. La matrice de la brèche est constituée par du matériel généralement aphanitique ou à grains très fins: pâte carbonatée grise, pâte hématitique brunâtre, chlorite, minéraux à terres rares, minéraux opaques, etc. Occasionnellement, dans la carbonatite ankéritique, nous retrouvons une hématitisation plus intense autour des fragments (planche 11).

La texture bréchiforme apparaît dans tous les faciès lithologiques en quantité accessoire. Elle est caractérisée par un assemblage de grains ou fragments très arrondis de carbonates, de grosseur variant entre .5 et 4 mm baignant dans une matrice de même composition que celle des roches bréchiques (planche 12a).

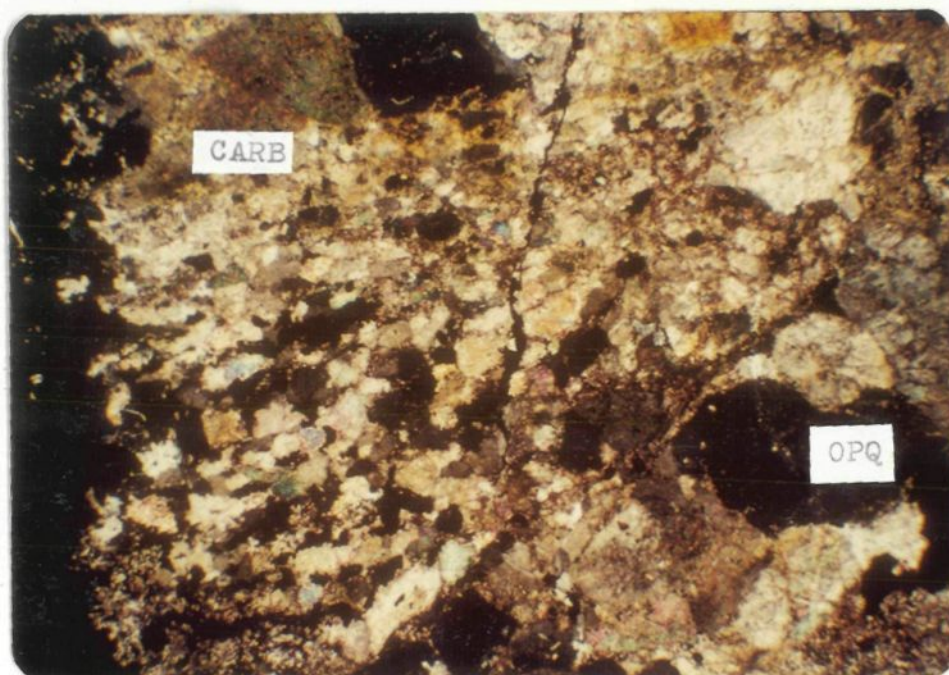
2. Carbonates

Les carbonates sont le constituant majeur de tous les faciès (Tableau V): La carbonatite fraîche est composée de 94% de carbonates, la carbonatite ankéritique contient 77% de carbonates et il y a 74% de carbonates dans la carbonatite à chlorite.

De plus, les carbonates se présentent sous quatre formes distinctes et ce, dans tous les faciès (Tableau V):

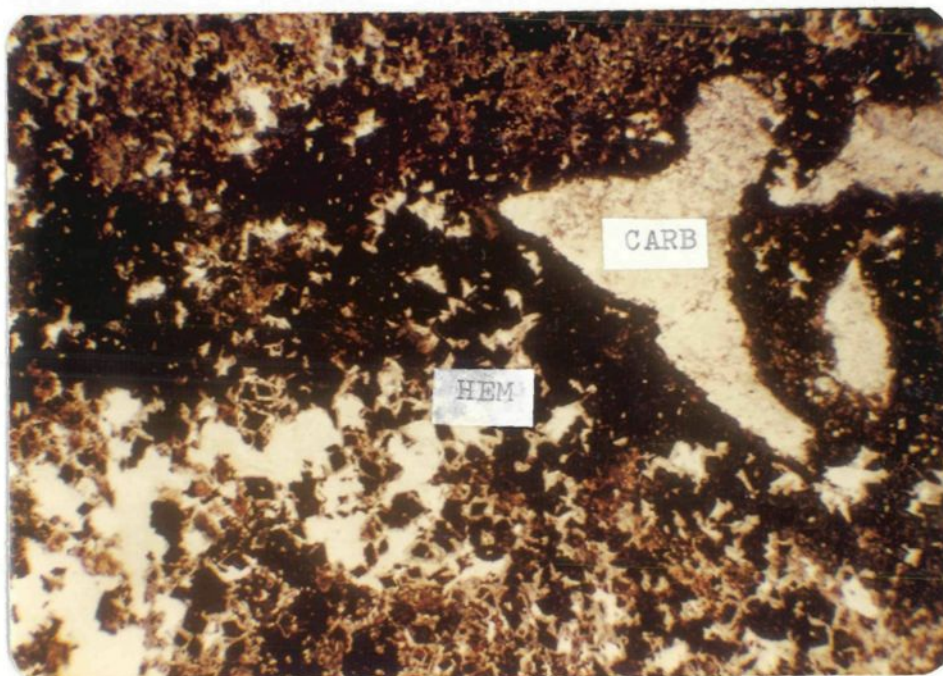
- a) Gros grains xénomorphes (.8 à 5 mm), rarement hypidiomorphes qu'on retrouve dans les carbonatites à texture granulaire ou dans les fragments des carbonates bréchiques.
- b) Grains moyens xénomorphes ou hypidiomorphes variant généralement de .2 à .8 mm sauf dans la carbonatite blanche où ils mesurent 1 à 2 mm. Ces grains sont parfois des phénocristaux idiomorphes. Ils sont regroupés dans les carbonatites à texture granulaire ou dans les fragments des carbonatites bréchiques.
- c) Petits grains xénomorphes (.05-.1 mm) généralement dispersés dans la matrice des carbonatites bréchiques ou bréchiformes.
- d) Pâte grise aphanitique généralement située dans la matrice des carbonatites bréchiques ou bréchiformes (planche 12a) occasionnellement entre les grains des carbonatites granulaires.

Plusieurs textures sont identifiables dans ces grains de carbonates. Nous pouvons observer une intercroissance ou un remplacement de deux ty-



Pl. 10 0 1.2 mm

Foliation des petits grains de carbonates à l'intérieur d'un fragment provenant d'une carbonate ankéritique bréchique (lm. 808-208.5, lumière transmise, nicols croisés).



Pl. 11 0 1.2 mm

Phénomène d'altération hématitique (brun) autour des fragments (blanc) dans la carbonatite ankéritique et hématitique (lm. 801-210.5, lumière transmise, nicol simple).

pes de carbonates (planche 12b) dans la carbonatite blanche et dans la carbonatite ankéritique. Souvent, les joints de grains sont triples lorsque la texture est granulaire. Les grains grossiers ou moyens sont parfois recouverts d'hématite et de limonite; localement, cette altération se fait par les clivages. Dans la carbonatite ankéritique, ce dernier phénomène est intense et systématique ainsi que dans la carbonatite limonitique (planche 12c). Les carbonates peuvent remplacer les minéraux opaques (planche 12d). Il y a aussi quelques veinules tardives qui recourent toutes les autres variétés de carbonates.

La carbonatite ankéritique montre occasionnellement des carbonates qui remplacent des feldspaths plagioclases ou potassiques ainsi qu'une intercroissance entre des carbonates et des minéraux opaques.

La carbonatite limonitique contient des exemples de grains semi-radiolaires, ce qui indiquerait possiblement des contraintes subies par ces carbonates. Cependant aucune référence ne confirme cette interprétation.

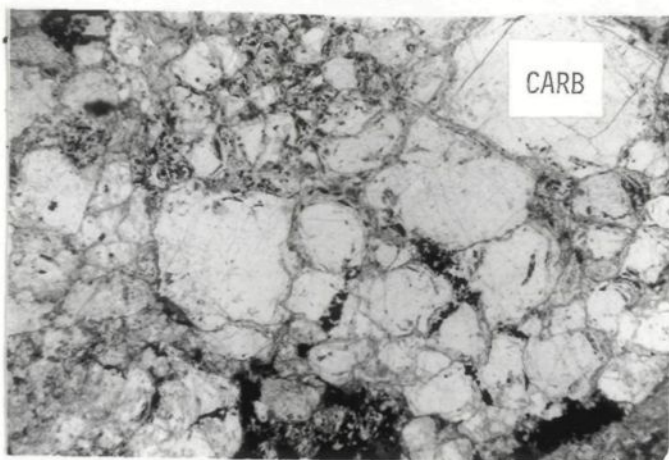
La carbonatite à chlorite est caractérisée par l'apparition de quelques grains à extinction roulante ainsi que par un remplacement occasionnel de la barytine par des carbonates. Il y a de plus quelques exemples d'une intercroissance entre des carbonates et de la chlorite (planche 13).

3. Minéraux opaques et semi-opaques

Les minéraux opaques et semi-opaques sont les seconds constituants majeurs de trois faciès de carbonatites (Tableau V) (carbonatite fraîche, 3.1%; carbonatite ankéritique, 13%; carbonatite limonitique, 6.5%). Ces minéraux sont la caractéristique microscopique principale de la carbonatite ankéritique.

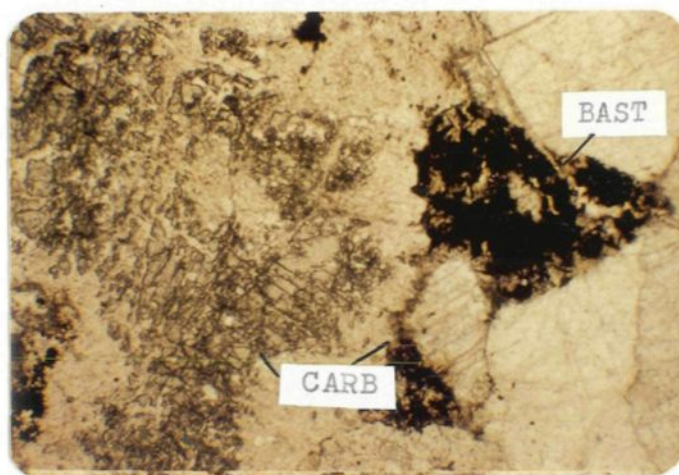
L'hématite est le principal minéral semi-opaque à opaque. Nous la rencontrons dans presque tous les échantillons. Plus de 70% de cette hématite sert de couverture d'altération (planche 14). Une partie de l'hématite remplace les carbonates, soit par les clivages (planche 15), par les fractures ou par les bordures des grains; la carbonatite contient occasionnellement de l'hématite botryoïdale (planche 16). Nous retrouvons aussi l'hématite sous forme de plages interstitielles dans la matrice à grains fins; elle est parfois plus intense autour des

Planche 12



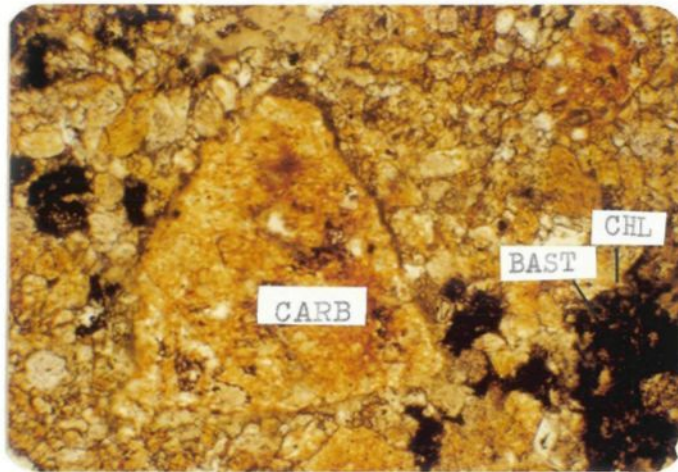
Pl. 12a 0 .37 mm

Texture bréchiforme dans une carbonatite fraîche; notez les grains arrondis et entourés d'un matériel interstitiel (lm. 807-271, lumière transmise, nicol simple)



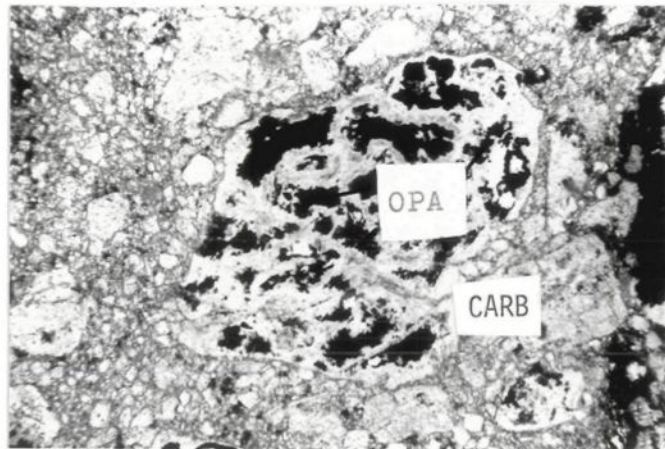
Pl. 12b 0 .95 mm

Remplacement d'un grain de carbonate par un autre carbonate dans une carbonatite fraîche; notez la bastnaesite interstitielle (noir) (lm. 802-403, lumière transmise, nicol simple)



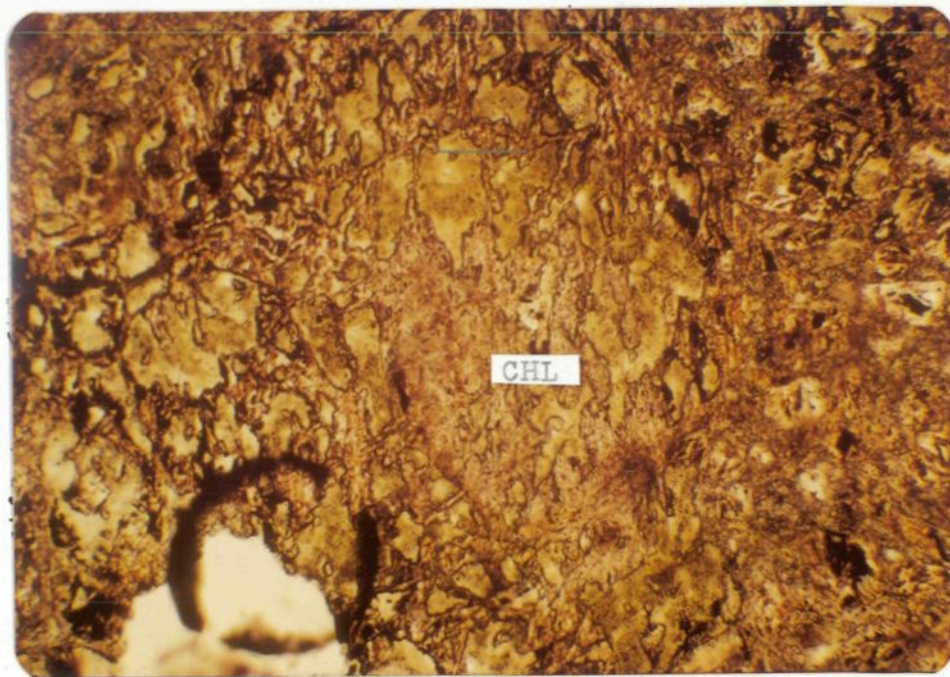
Pl. 12c 0 .95 mm

Carbonatite limonitique à texture bréchique; notez la couverture de limonite et la bastnaesite (noir-brun) associée à la chlorite interstitiellement (lm. 808-202.2, lumière transmise, nicol simple)



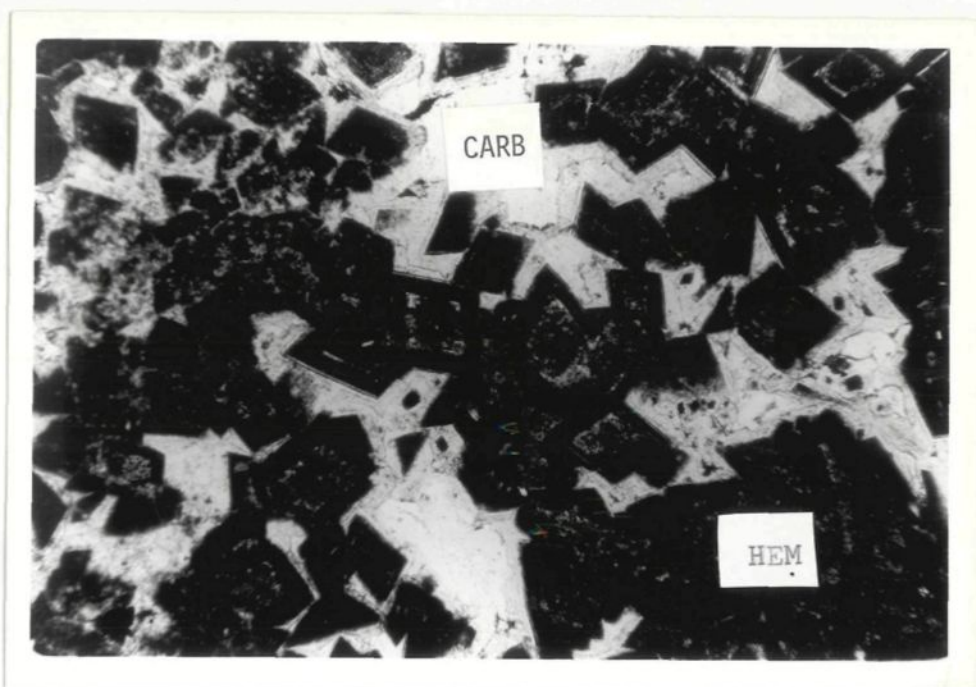
Pl. 12d 0 .37 mm

Reliques de minéraux opaques (foncé) remplacés par les carbonates (pâle) dans une carbonatite ankeroitique; notez la texture bréchiforme (lm. 803-145.5, lumière transmise, nicol simple)



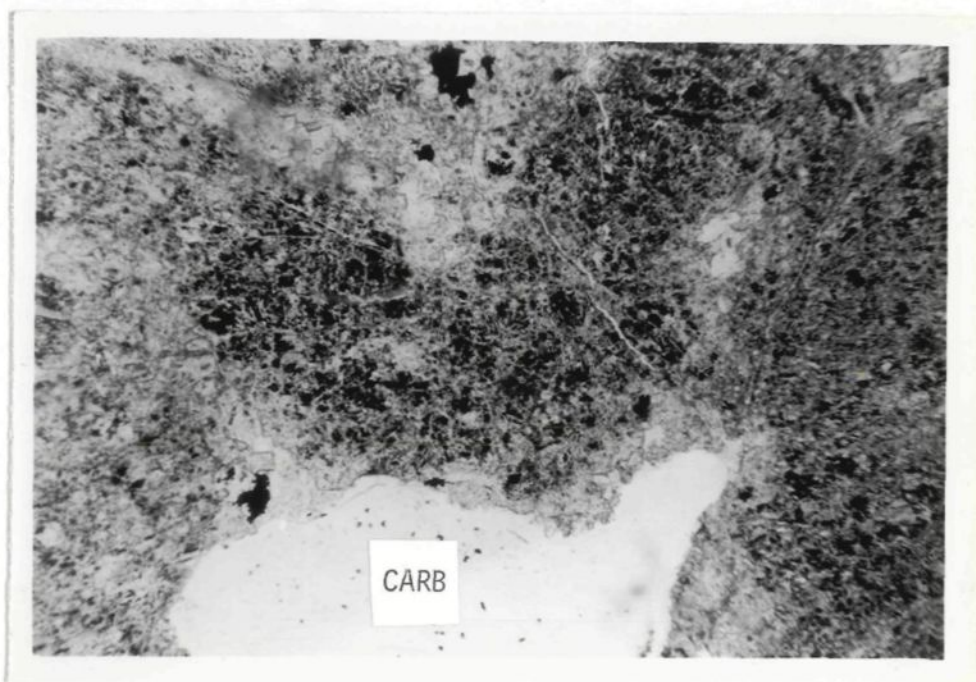
Pl. 13 0 .19 mm

Intercroissance entre les carbonates (blanc) et la chlorite (vert jaune) dans une carbonatite à chlorite (lm. 802-269, lumière transmise, nicol simple).



Pl. 14 0 .19 mm

Hématitisation (foncé) des phénocristaux de carbonates dans une carbonatite ankéritique (blanc) (lm. 801-210.5, lumière transmise, nicol simple).



Pl. 15 0 .19 mm

Couverture d'hématite (foncé) sur des carbonates (pâle), dans une carbonatite ankéritique (lm. 801-210.5, lumière transmise, nicol simple).

HEM

fragments des carbonatites bréchiques (planche 11). Elle est très souvent associée à la bastnaesite (planche 17) et il est possible que certains grains de bastnaesite remplacent certains grains d'hématite (planches 2a, 2b, 2c) ou soit remplacés par cette dernière.

L'antraxolite est le second minéral opaque important et elle est présente dans toutes les unités lithologiques. L'antraxolite présente quelques affinités avec les carbonatites bréchiques où nous la rencontrons en plages interstitielles dans la matrice à grains fins et à l'intérieur des fragments, ainsi qu'associée à la chlorite (occasionnellement parallèle aux clivages). Parfois, elle a une texture "en passoire", en particulier dans la carbonatite limonitique (planche 18). Elle est étroitement liée à la bastnaesite.

Quelques plages interstitielles de magnétite ainsi que quelques petits grains idiomorphes apparaissent principalement dans les carbonatites ankéritiques et limonitiques, mais aussi dans la carbonatite à chlorite. La magnétite est souvent associée à la chlorite, soit parce qu'elle est en filonnets parallèles aux clivages ou soit qu'elle est bordée par la chlorite.

La pyrite se trouve en grains xénomorphes (.1-.3 mm) dispersés ou en plages interstitielles. Quelques lames minces contiennent de petits grains idiomorphes. On retrouve plusieurs phénocristaux corrodés, surtout dans la carbonatite ankéritique. Elle est rarement associée au quartz.

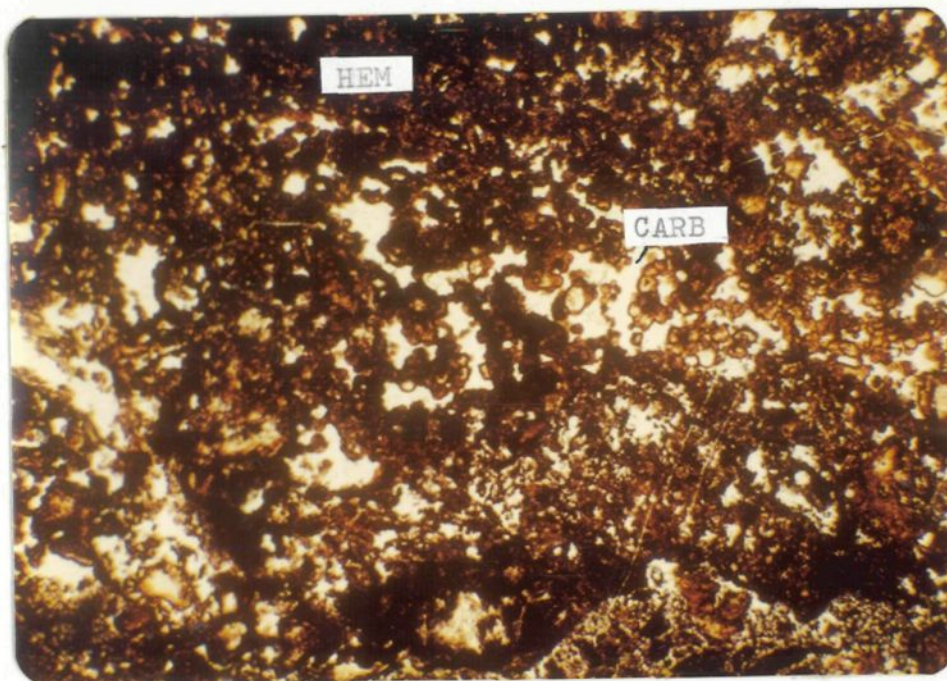
L'ilménite ne fut reconnue que dans un échantillon de carbonatite limonitique où elle est en plages associées à la chlorite et où elle s'agglomère dans un site favorable (planche 19).

Le rutile pourrait se trouver en aiguilles incluses dans les grains de quartz et comme altération ultime de la chlorite après que celle-ci eut déjà remplacé la phlogopite (planche 20).

Les minéraux opaques (non-différenciés) sont souvent remplacés par les carbonates (planche 12d).

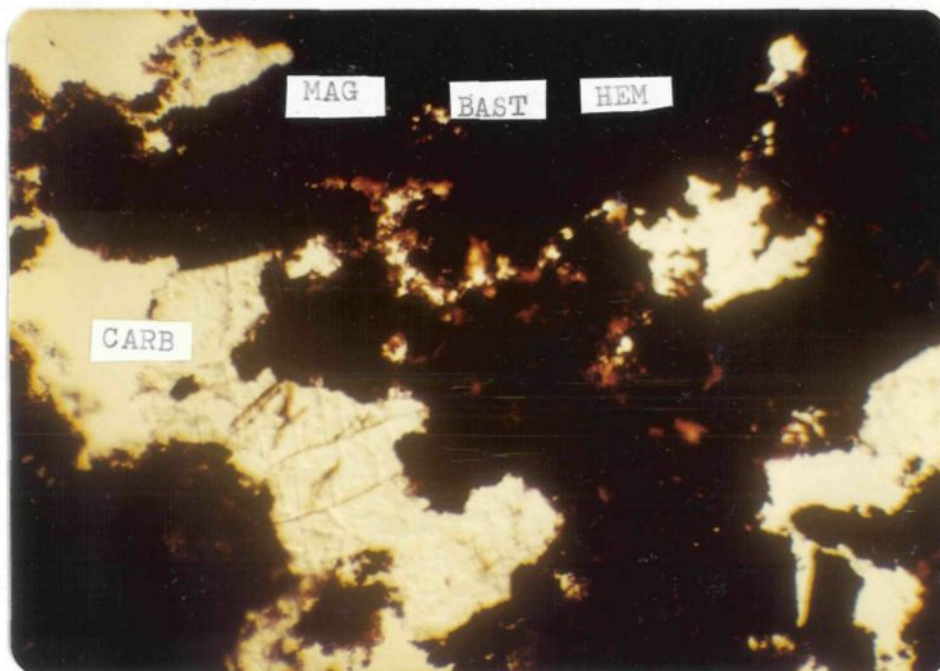
4. Chlorite

La chlorite est le minéral indicateur de la carbonatite à chlorite



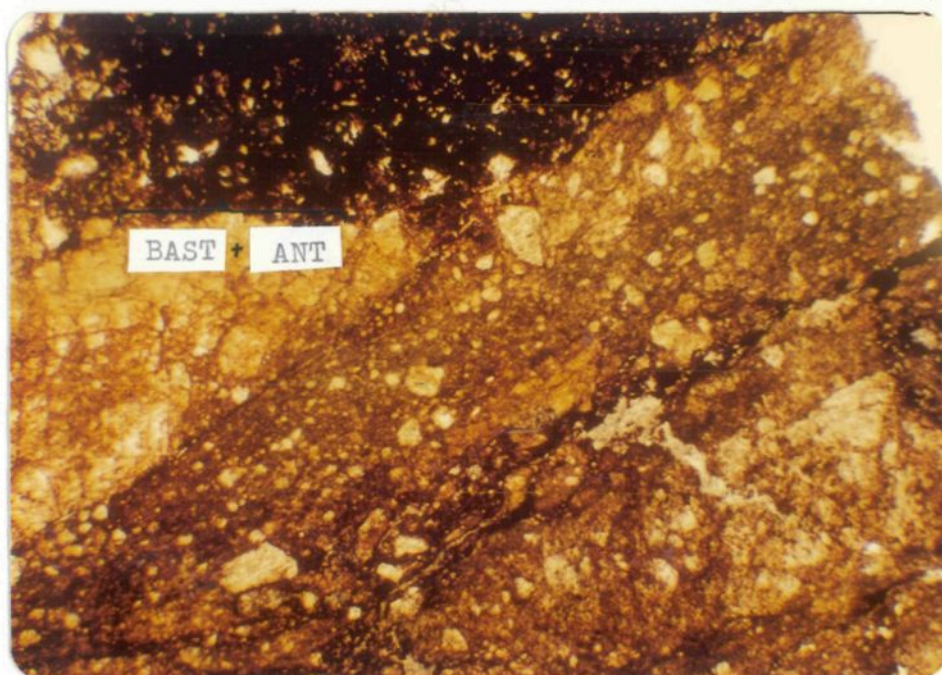
Pl. 16 0 .19 mm

Hématite botryoïdale (foncé) dans la carbonatite limonitique (lm. 805-164, lumière transmise, nicol simple).



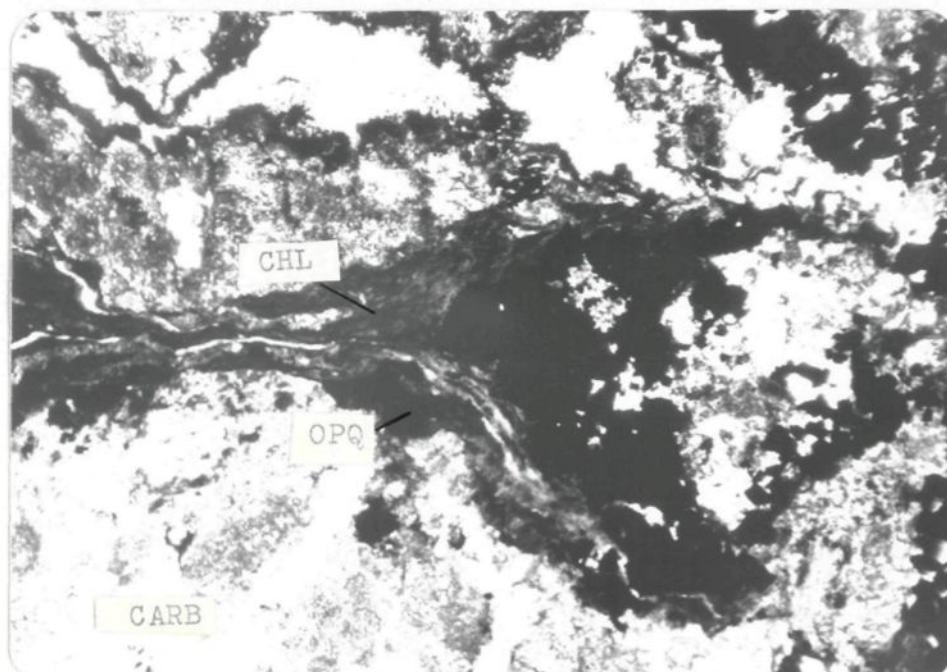
Pl. 17 0 .19 mm

Bâtonnets de bastnaesite (foncé) associés aux minéraux opaques (hématite-magnétite-antraxolite) dans une carbonatite ankéritique (lm. 802-214.5, lumière transmise, nicol simple).



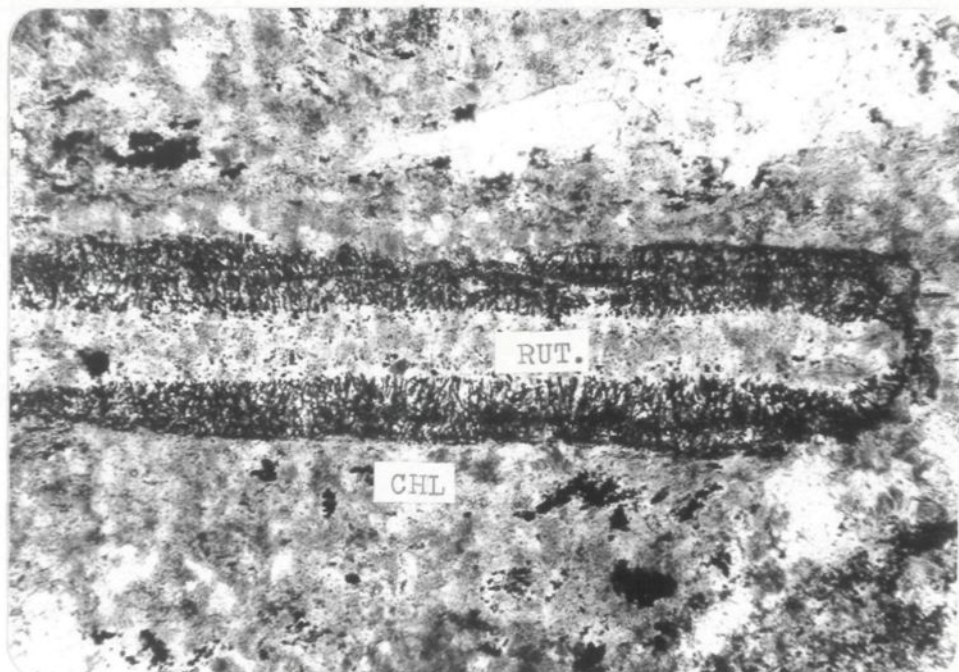
Pl. 18 0 .5 mm

Matériel d'infiltration (brun) dans la carbonatite limonitique; notez la plage d'antraxolite (noir) qui contient de la bastnaesite (lm. 808-305, lumière transmise, nicol simple).



Pl. 19 0 .5 mm.

Filonnets d'ilménite (foncé) qui traversent une carbonatite limonitique jaune-brun (pâle); notez la chlorite associée à l'ilménite (moyen) (lm. 804-329, lumière transmise, nicol simple).



Pl. 20 0 .075 mm

Relique de phlogopite chloritisée devenue opaque (noir)
dans une carbonatite à chlorite (lm. 805-138, lumière
transmise, nicol simple).

(15%, tableaux V et IX) mais nous la trouvons dans toutes les unités lithologiques (Tableaux VI à IX).

Nous la trouvons sous les formes suivantes:

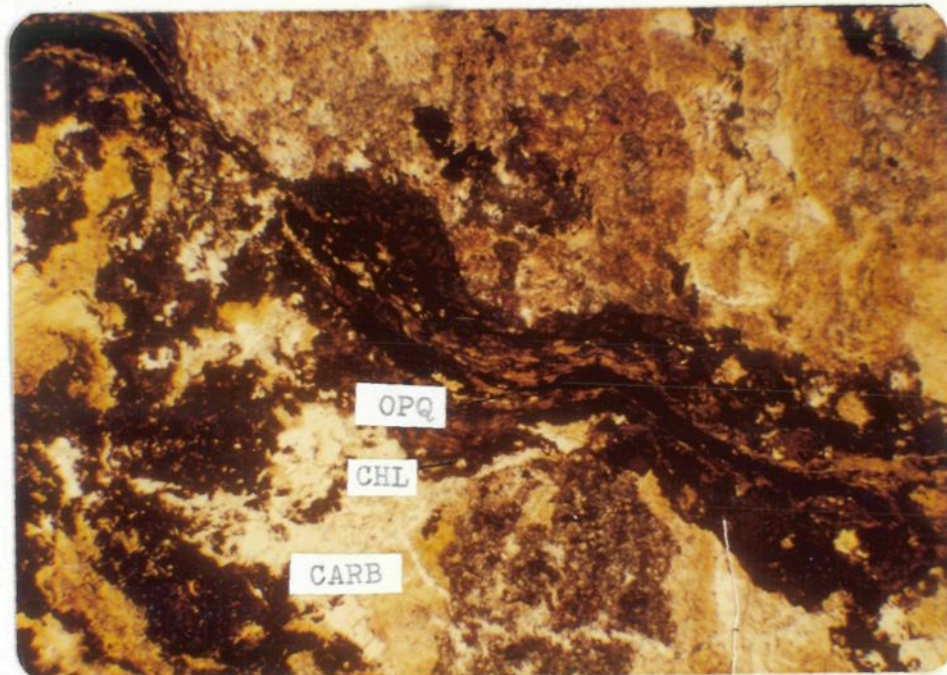
- a) Plus de 90% de la chlorite apparaît en plages interstitielles ou matricielles des carbonatites à texture bréchique ou bréchiforme surtout. Elle s'insère parfois dans des fragments de la brèche. Même si cette relation peut être inexacte dans des roches oxydées, nous dirons que la chlorite est ferrifère (verte) et très rarement elle est magnésienne (brune). Dans la carbonatite fraîche, dans la carbonatite ankéritique et dans la carbonatite limonitique, cette chlorite est parfois filamenteuse et elle est presque toujours associée aux minéraux opaques que l'on retrouve en filaments parallèles aux clivages de la chlorite (planche 2). La bastnaesite lui est aussi souvent associée.
- b) La chlorite se trouve à quelques occasions en bâtonnets (.1-.5 mm) qui sont des pseudomorphes de la phlogopite (planche 22). Cette chlorite s'altère ultérieurement en minéraux opaques (rutile ?), soit en cristaux de forme aciculaire, courts, allongés perpendiculairement aux bâtonnets de la chlorite (planches 22 et 20). Cette forme de chlorite est caractéristique surtout de la carbonatite à chlorite mais elle apparaît également dans quelques échantillons de carbonatite fraîche.
- c) Quelques petits grains de chlorite (< .15 mm) sont de forme radiée. Ces grains sont inclus dans les plages interstitielles ou matricielles de la carbonatite à chlorite ou de la carbonatite fraîche.
- d) Quelques petits grains de chlorite sont en intercroissance avec les carbonates ou bien sont inclus dans ceux-ci (planche 13).

Dans la carbonatite ankéritique, nous pouvons observer de la chlorite en plages remplacée par des minéraux opaques (non-différenciée) (planche 23) ou disposée autour de l'hématite.

La chlorite peut remplacer les feldspaths potassiques dans la carbonatite à chlorite (planche 24).

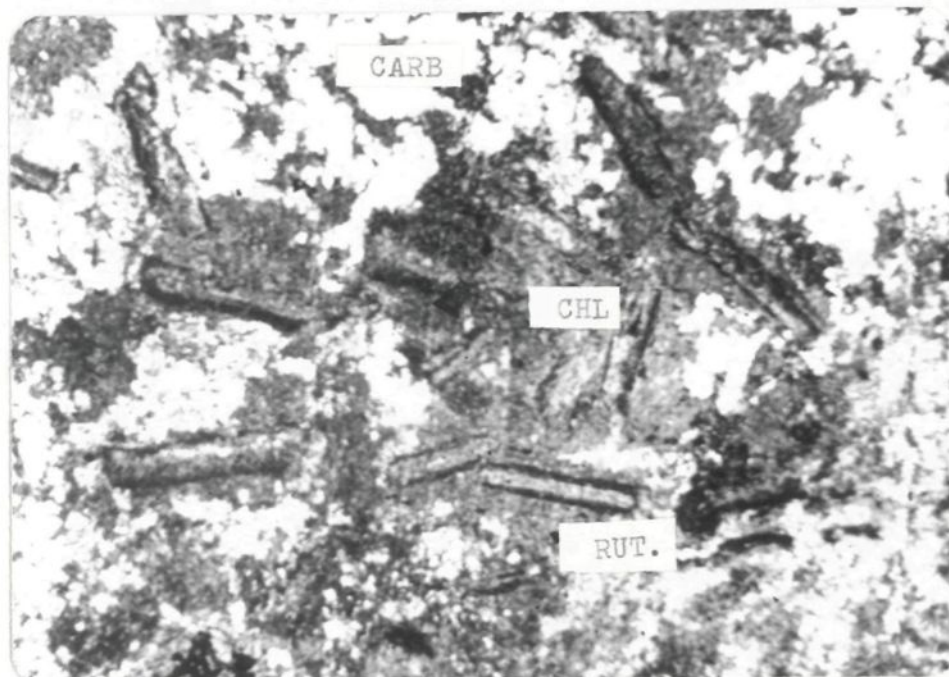
5. Minéraux accessoires

Nous considérons comme minéraux accessoires les minéraux qui sont



Pl. 21 0 .37 mm

Minéraux opaques non-différenciés associés à la chlorite dans une carbonatite ankéritique (lm. 808-116, lumière transmise, nicol simple).



Pl. 22 0 .05 mm

Reliques de bâtonnets de phlogopite devenus des bâtonnets de chlorite eux-mêmes partiellement remplacés par les opaques (foncé) dans une carbonatite à chlorite (lm. 805-138, lumière transmise, nicol simple).

en quantité mineure mais cela n'implique pas qu'ils ne sont pas importants. Voici, dans l'ordre utilisée lors de la description, la liste de ces minéraux: phlogopite, quartz, feldspaths, sphalérite, apatite, barytine et neuf minéraux non-identifiés.

Phlogopite

La quantité de phlogopite dans les différentes unités lithologiques varie de tr. à .5% (Tableaux VII à X); d'après ces tableaux, nous voyons qu'elle est plutôt caractéristique de la carbonatite à chlorite.

Dans la carbonatite à chlorite et dans la carbonatite fraîche, elle se présente sous forme de bâtonnets enchevêtrés (.05-.1 mm) dans la chlorite ou les autres éléments matriciels (carbonates, opaques). Nous la trouvons également dans des fragments de carbonatite bréchique sous forme de bâtonnets qui mesurent .1 à .6 mm; cette phlogopite est généralement chloritisée. Dans la carbonatite fraîche, nous pouvons noter deux variétés de phlogopite, soit une variété à grains grossiers intergranulaires ou inclus dans les carbonates et une variété à grains fins (planche 25a). Elle est souvent remplacée par la chlorite (planche 25b).

Dans la carbonatite ankéritique, les bâtonnets de phlogopite sont chloritisés, plissés, fracturés et occasionnellement rongés par la matrice.

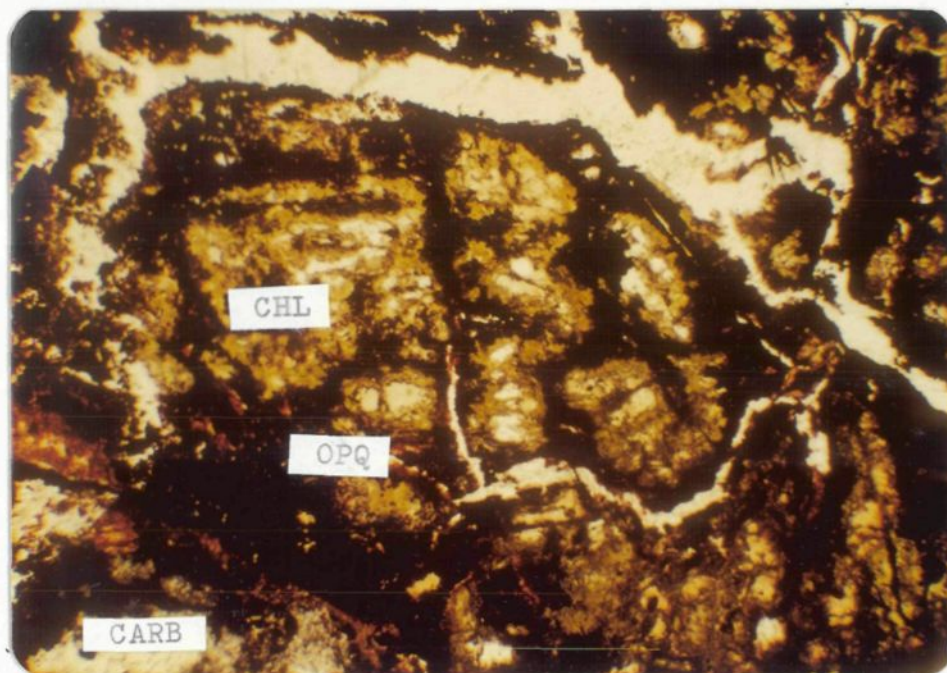
Quartz

Le quartz est un minéral accessoire que l'on retrouve dans toutes les unités lithologiques (Tableaux VI à IX).

Nous le rencontrons généralement en agrégats (.1-.6 mm) de grains xénomorphes (.02-.1 mm) intergranulaires, souvent associé aux minéraux opaques (planche 25c), les remplaçant à l'occasion (carbonatite à chlorite). Nous retrouvons quelques grains plus gros (.1-.3 mm) à texture en mosaïque dans la carbonatite à chlorite. Il y a quelques veines dans la carbonatite fraîche (planche 25d).

Feldspaths

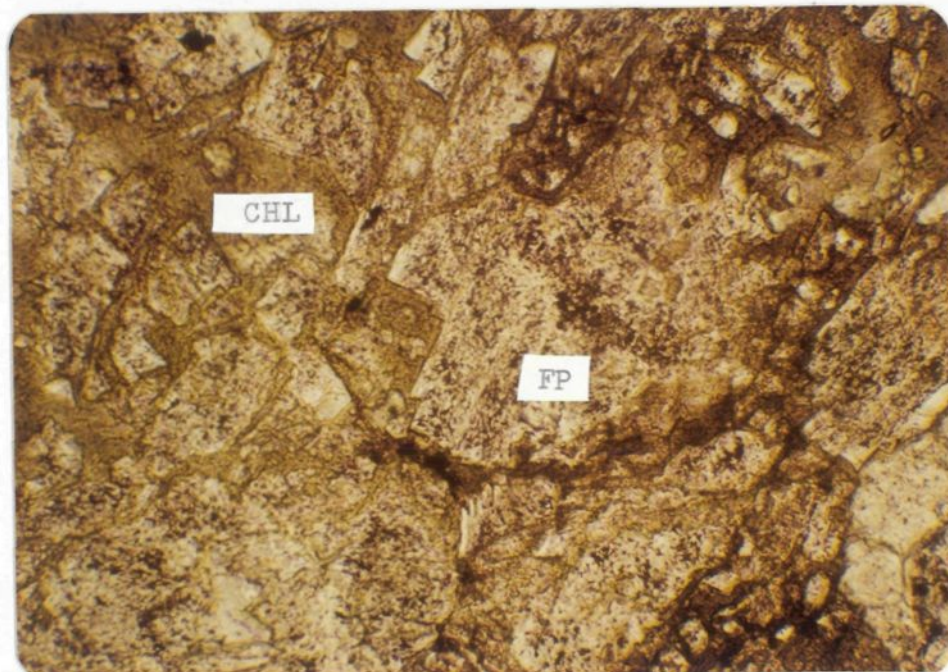
Les feldspaths potassiques sont caractéristiques de la carbonatite à chlorite (Tableau IX) bien qu'il y en aie très peu aussi dans la carbonatite fraîche (Tableau VI).



Pl. 23

0 .5 mm

Reliques de chlorite (vert) remplacées par les minéraux opaques dans une carbonatite ankéritique (lm. 808-146.7, lumière transmise, nicol simple).



Pl. 24

0 .075 mm

Feldspaths alcalins (pâle) coexistant avec les carbonates et remplacés par la chlorite (vert) dans une carbonatite à chlorite (lm. 806-26.2, lumière transmise, nicol simple).

TABLEAU VI
COMPOSITION MINERALOGIQUE
DE LA CARBONATITE FRAICHE (ESTIMEE)

ECHANTILLON	CARBONATE %	OPAQUES %	HEMATITE %	CHLORITE %	BASTNAESITE %	MONAZITE %	QUARTZ %	PHLOGOPITE %	APATITE %	BARYTINE %	FELDSPATH %	SPHALERITE %	RUTILE %	INCONNU 1 %	INCONNU 2 %	INCONNU 3 %
801-164	95	4	1	tr	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-222.5	93	2	↔	3	41	---	---	---	1 g	---	---	1 g	---	1 g	---	---
-273	77	2	10	10	tr	---	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-297	96	2	tr	2	tr	---	10 g	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-303.5	98	tr	2	1	---	tr	---	1 g	---	---	---	---	---	2 g	---	---
-351	98	---	2	---	---	---	10 g	---	---	---	---	---	---	---	tr	---
-368	98.5	.5	---	tr	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	tr	---
-381	97	2	---	1	.5	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-396.5	94	2	1	2	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
802-371.5	92	2	↔	5	tr	tr	---	tr	---	---	---	---	---	---	---	---
-403	94	tr	2	3	1	10 g	tr	2 g	---	---	---	---	---	---	---	---
803-193																
-367	90	6	↔	2	1.5	---	---	---	---	---	---	1 g	---	---	---	---
804-188	96	.5	↔	3	.25	tr	---	tr	tr	---	---	---	---	---	---	---
-255.5	98	1.5	↔	.5	.1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-261.5	95	2	---	2	1	---	---	tr	---	---	---	---	---	---	---	---
-281.5	98	1	---	.5	.5	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-308.5	86	12	---	1	.75	---	---	---	---	---	---	tr	---	---	---	---
-367.5	97	.5	---	.5	2	---	1 g	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-398.5	97.5	1	↔	1	.5	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
805-39.8	94	---	---	4	.2	---	---	1	tr	---	tr	tr	---	---	---	---
-47	99	.5	---	.5	tr	tr	tr	---	1 g	---	---	?	---	---	---	1 g
-97	85	5	5	3	1	---	tr	tr	---	---	---	.5	---	---	---	---
-213	97	1	---	1	.5	---	---	---	---	tr	---	---	---	---	---	tr
-220.7	96	4	↔	tr	tr	3 g	---	---	---	1 g	10 g	---	---	1 g	---	---
806-270																
-160.3	97	2	↔	.5	.25	2 g	---	---	---	---	---	tr	---	---	---	---
-253	95.5	1	---	1	2	---	---	---	---	---	---	---	---	3 g	---	---
-364.5	94	1	---	3	1	---	1	---	---	tr	---	---	---	---	---	---
-382	96.5	tr	2	1	.5	5 g	.5	---	---	---	---	---	---	---	---	tr
-427	98	.5	1.5	tr	.5	tr	---	---	---	tr	---	---	---	---	---	---
-433	97	1	---	.5	.5	---	---	---	---	tr	tr	1 g	---	---	---	---
-442.6	98	2	---	1	tr	1 g	---	---	---	---	1	---	---	---	---	---
-473																
-483	96	1	.5	tr	.2	---	---	---	---	2	.5	---	---	---	---	---
807-251	91	8	---	tr	.5	.5	---	---	---	---	---	2 g	---	---	---	?
-264.7	88	6	↔	3	1	---	---	---	---	tr	---	2	---	---	---	---
-293.8	94	2	1	2	tr	---	3 g	---	?	---	---	---	---	---	---	---
-332	87	2	3	2	tr	1 g	.5	---	---	---	---	---	---	1	---	---
808-162.5	82	15	↔	2	1	---	---	tr	---	---	---	---	---	---	---	---
-281.5	98.5	tr	---	---	1	---	---	---	---	---	---	.5	---	---	---	---

* Estimation visuelle des pourcentages en ayant parcouru systématiquement toute la superficie des lames minces tr = traces g = grains

TABLEAU VII
COMPOSITION MINERALOGIQUE
DE LA CARBONATITE ANKERITIQUE (ESTIMEE)

ECHANTILLON	CARBO- NATE %	OPAQUES %	HEMA- TITE %	CHLO- RITE %	BASTNAE- SITE %	MONA- ZITE %	QUARTZ %	PHLOGO- PITE %	APATITE %	BARY- TINE %	FELDS- PATH %	SPHA- LERITE %	RUTILE %	INCON- NU 1 %	INCON- NU 2 %	INCON- NU 3 %
801-147	33	2	50	10	5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-161																
-210.5	95	3	1	tr	5	---	---	---	tr	---	---	---	---	tr	---	---
-249.5	88	2	3	1	6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	alter)															
-343	98	tr	2	tr	.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-368	95	1	1	tr	1	.5	---	---	tr	---	---	---	---	---	---	---
802-164	77	8	5	2	8	---	---	---	---	---	---	3-4 g	---	---	---	---
-196.5	40	40	15	5	5	---	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---
-214.5	30	5	2	20	10	---	---	---	---	---	---	1	---	?	?	---
-232.5	72	.5	15	8	5	---	---	---	---	---	---	4-5 g	---	---	---	---
-311.5	68	2	15	8	7	---	---	---	---	---	---	tr	---	---	---	---
-355	94	1	---	2	3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-389	70	2	20	3	4	---	---	1 g	---	---	---	---	---	---	---	---
-403	94	1	---	3	3	tr	.5	tr	---	---	---	2 g	---	---	---	---
803-178	50	15	15	15	5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-226	85	4	---	8	3	---	---	---	---	---	---	tr	---	---	---	---
-254	72	3	3	20	3	---	---	---	---	---	---	tr	---	---	---	---
-298	77	7	8	7	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-303	88	2	5	3	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-351.8	72	10	10	15	3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
804-138.5	90	1	2	4	2	.01	---	tr	---	---	---	---	---	---	---	---
-163.5																
-329	67	6+1	22	1	3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
805-115.5	80	5	---	5	9	---	1	---	---	---	---	2 g	---	---	---	---
-191.5	79	8	---	10	3	---	tr	tr	tr	---	---	2 g	---	---	---	---
806-87.6	70	5	8	6	10	2 g	tr	---	3 g	---	---	2 g	---	---	---	---
-129	80	15	---	2	3	---	---	---	---	---	---	.5	---	---	---	---
-111.7																
-151.5	78	7	5	8	2	---	---	---	---	---	---	tr	---	---	---	---
807-183	90	8	←	2	2	---	---	---	---	---	---	tr	---	---	---	---
-307	94	5	---	tr	1	tr	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---
808-116	82	2	2	5	7	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-146.7	65	5	25	2	5	tr	---	---	---	---	---	3 g	---	---	---	---
-208.5	96	3	1	---	2	tr	tr	---	---	---	---	tr	---	---	---	---
-212	80	10	---	4	6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-233	76	8	12	2	4	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-242.3	90	5	---	2	2	---	---	1	---	---	---	---	---	tr	---	---
-271	89	1	3	5	2	3 g	---	tr	1 g	---	---	---	---	---	---	---
-348.5	94	2	3	2	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

* Estimation visuelle des pourcentages en ayant parcouru systématiquement toute la superficie des lames minces tr = trace g = grains

TABLEAU VIII
COMPOSITION MINERALOGIQUE
DE LA CARBONATITE LIMONITIQUE (ESTIMEE)

ECHANTILLON	CARBO- NATE %	OPAQUES %	HEMA- TITE %	CHLO- RITE %	BASTNAE- SITE %	MONA- ZITE %	QUARTZ %	PHLOGO- PITE %	APATITE %	BARY- TINE %	FELDS- PATH %	SPHA- LERITE %	RUTILE %	INCON- NU 1 %	INCON- NU 2 %	INCON- NU 3 %
801-338	97.5	1	↔	.5	1	---	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---
804-158	95	1	↔ 2	1	.20	5 g	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-329	80	20	↔	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-353	94	2		3	30 g	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
805-164	90	.2	7	3	< 1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
806-232	96	4		tr	tr	---	5 g	---	---	---	---	.4	---	tr	---	---
-282.2	96	tr	1	1	2	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
807-136	87	8	5	---	.5	---	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-232	80	20	---	tr	tr-1%	tr	tr	---	tr	---	---	---	---	---	---	---
808-132.5	85	2	4	2	2	1 g	1 g	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-305.5	92	---	4	1	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

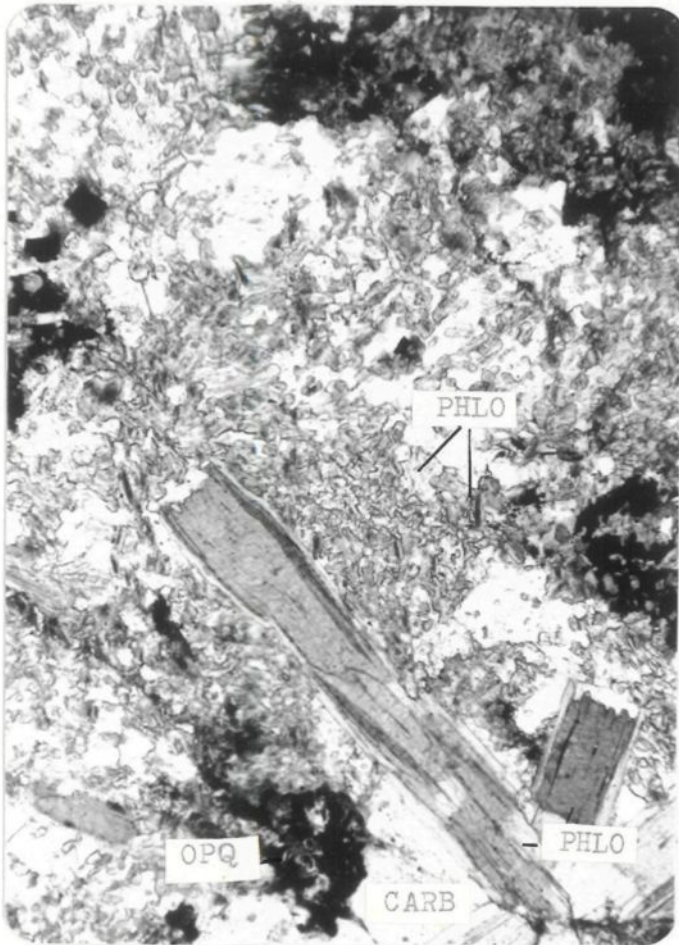
* Estimation visuelle des pourcentages en ayant parcouru systématiquement toute la superficie des lames minces tr = trace g = grains

TABLEAU IX
COMPOSITION MINERALOGIQUE
DE LA CARBONATITE A CHLORITE (ESTIMEE)

ECHANTILLON	CARBO- NATE %	OPAQUES %	HEMA- TITE %	CHLO- RITE %	BASTNAE- SITE %	MONA- ZITE %	QUARTZ %	PHLOGO- PITE %	APATITE %	BARY- TINE %	FELDS- PATH %	SPHA- LERITE %	RUTILE %	INCON- NU 1 %	INCON- NU 2 %	INCON- NU 3 %
802-251.5	56	1	40	3	.5	---	---	---	---	---	---	---	---	?	---	---
-269	73	1	20	5	1	---	tr	.2	---	---	---	---	---	---	---	---
-292	50	10	↔	40	tr	tr	---	---	---	---	---	tr	---	---	---	---
-331	89	3	↔	3	4	.5	---	1	---	---	---	---	---	---	---	---
803-145.5	88	1	tr	10	2	---	---	tr	---	---	---	---	---	---	---	---
-216.5	80	2	7	10	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-261.8	80	2	---	15	2	---	---	1	---	---	---	---	---	---	---	---
-339	80	tr	---	30	3	.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-396.2	75	1	---	20	2	---	1	---	tr	---	tr	tr	---	1	---	---
804-227	70	3	---	18	1	---	---	8	---	---	---	---	---	---	---	---
-259.5	98	1	---	---	1	tr	.5	---	---	---	---	5 g	---	---	2-3 g	---
805-72.7	84	5	3	5	2	---	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---
-138	38	.5	---	60	---	tr	---	1.5	---	---	---	---	---	---	---	---
-155	80	tr	20	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
806-16.8	90	tr	3	5	1	.5	tr	---	tr	---	---	1	---	---	---	---
-26.2	67	3	1	20	2	?	tr	2	---	?	5	---	---	---	---	---
-59	94	1	↔	2	3	---	tr	---	---	---	---	---	---	---	tr	---
-129	80	15	↔	2	3	---	---	---	---	---	---	.5	---	---	---	---
-208	32	5	↔	60	3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-263	90	3	↔	3	1	---	---	---	---	---	---	2	---	---	1	---
-301.5	82	5	↔	3	10	1	tr	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-337.7	92	1	---	6	1.5	---	---	---	---	---	---	tr	---	---	---	---
-353	87	1	---	10	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	tr	tr
807-157.8	93	5	---	---	---	---	tr	---	---	---	---	2	---	---	tr	---
-171	69	4	---	20	5	1.5	---	.5	---	---	---	1	---	---	---	---
-351	91	5	1	2	1	tr	tr	---	---	---	---	---	---	---	tr?	---
-365.7	70	1	---	3	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	(quartz)	---
-383.5																
-406.5	85	2	1	10			2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
808-327.5	72	tr	---	25	2	.5	---	3	---	---	---	tr	---	---	---	---
-367																
-397	90	2	1	5	1	---	---	tr	---	---	---	---	---	---	---	---

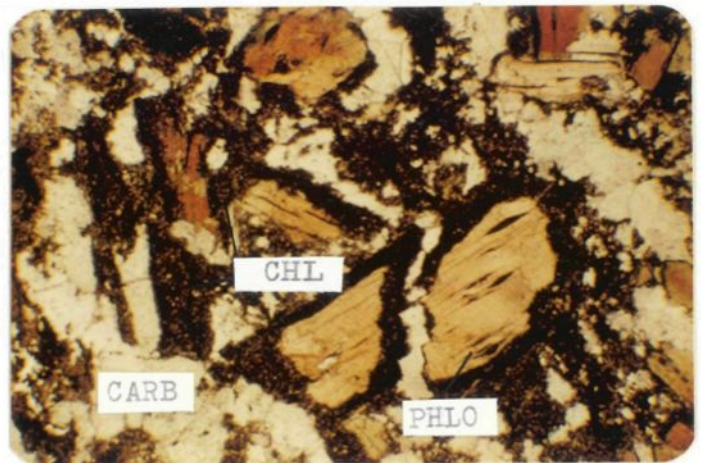
* Estimation visuelle des pourcentages en ayant parcouru systématiquement toute la superficie des lames minces tr = traces g = grains

Planche 25



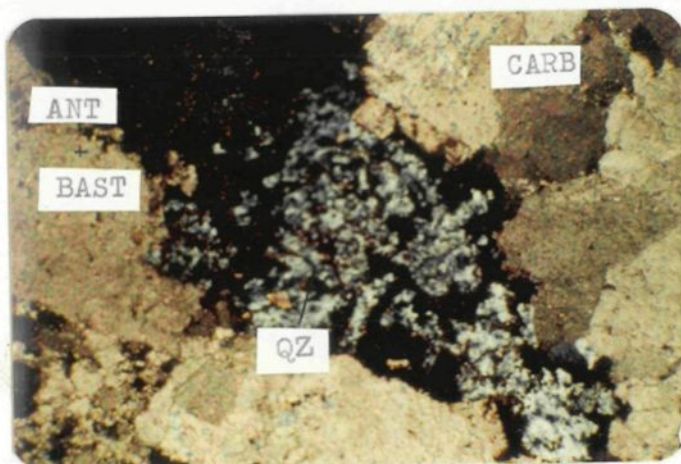
Pl. 25a 0 .37 mm

Deux générations de phlogopite, fine et grossière (moyen) dans une carbonatite fraîche, (lm. 806-308.5, lumière transmise, nicol simple).



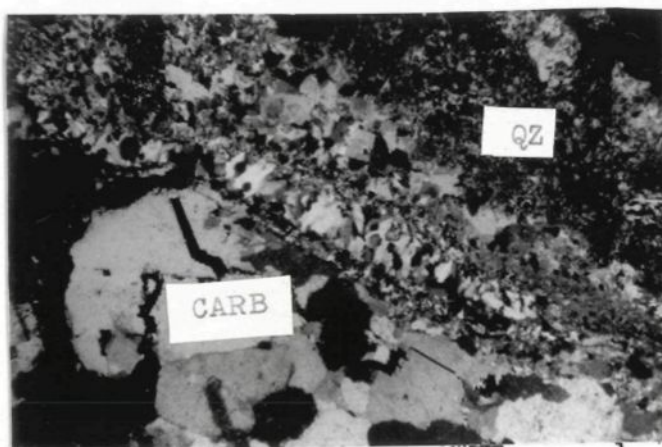
Pl. 25b 0 .37 mm

Phlogopite (brun) remplacée par la chlorite (vert) dans une carbonatite fraîche (blanc), (lm. 808-327.5, lumière transmise, nicol simple).



Pl. 25c 0 .37 mm

Aggrégats de petits grains de quartz (gris) associés à l'antraxolite (noir) et à la bastnaesite (rougeâtre) dans une carbonatite fraîche (beige) (lm. 807-331, lumière transmise, nicol croisé).



Pl. 25d 0 .95 mm

Veinules de quartz (centre) près des opaques (noir) dans une carbonatite fraîche (blanc) (lm. 801-351, lumière transmise, nicol croisé).

Ils se trouvent en grains hypidiomorphes (.6-1.2 mm) intergranulaires, parfois remplacés par la chlorite (planche 24). Un échantillon contient possiblement quelques grains (.1-.2 mm) de plagioclases maclés remplaçant des opaques (non-différenciés).

Sphalérite

La sphalérite est un minéral accessoire important de la zone à terres rares de St-Honoré. Nous observons sa présence dans la carbonatite fraîche, dans la carbonatite ankéritique et la carbonatite à chlorite. (Tableaux VI, VII et IX).

Les grains de sphalérite sont généralement idiomorphes, xénomorphes et hypidiomorphes (.1-5 mm). Ils sont disséminés dans les carbonates, dans la chlorite et associés aux minéraux opaques (non-différenciés). La sphalérite montre occasionnellement une zonation (planche 26).

Dans la carbonatite à chlorite, la sphalérite est parfois entourée d'une auréole de chlorite.

Elle peut se trouver aussi en fine veinule, associée au quartz et incluse dans une veinule calcitique tardive.

Apatite

L'apatite est en quantité très minime dans la zone à terres rares (Tableaux VI à IX). Elle se présente en grains idiomorphes (\leq .2 mm) dans les carbonates.

Barytine

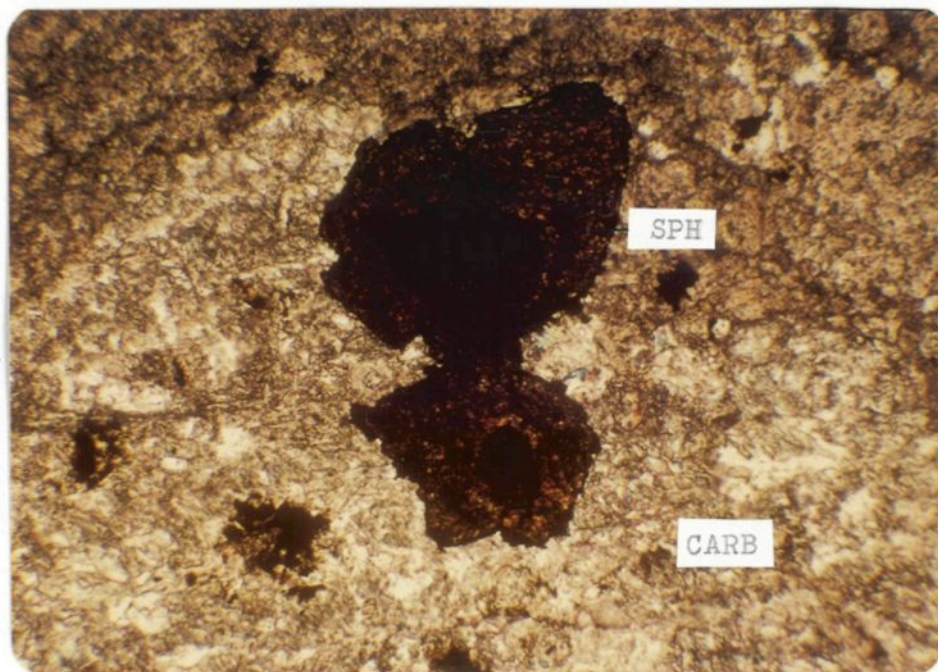
La barytine caractérise principalement la carbonatite fraîche (Tableau VII). Nous la trouvons en grains xénomorphes intergranulaires qui varient de .1 à .8 mm, occasionnellement à extinction roulante.

Minéraux non-identifiés

Nous classerons les minéraux non-identifiés selon l'unité lithologique:

- a) Dans la carbonatite fraîche, quatre minéraux demeurent non-identifiés. Un minéral se trouve en petits grains disséminés et un autre est en petits grains xénomorphes au contact de minéraux opaques.

Planche 26



Pl. 26 0 .19 mm

Grains de sphalérite (brun) zonés dans des carbonates (blanc) provenant d'une carbonatite fraîche (lm. 808-281.5, lumière transmise, nicol simple).

- b) Dans la carbonatite à chlorite, trois minéraux demeurent non-identifiés:
- Un premier minéral est présent dans deux lames minces et est associé aux carbonates.
 - Le second minéral apparaît intergranulairement dans une lame mince.
 - Le troisième minéral est incolore, fortement réfringent, il est biaxe positif et a une faible biréfringence; ça pourrait être la barytine. Nous le rencontrons en grains intergranulaires, occasionnellement entouré de chlorite et de la bastnaesite.
- c) Dans la carbonatite ankéritique, un seul minéral ne fut pas identifié. Nous l'observons en grains xénomorphes dans la matrice des carbonatites bréchiques et bréchiformes.
- d) Dans la carbonatite limonitique, il y a un seul minéral non-identifié. Il se trouve en grains (.1 mm) disséminés.

Distribution de la minéralisation des terres rares dans les quatre unités lithologiques de la zone à terres rares.

Un des buts de ce mémoire est de décrire avec exactitude la minéralisation de la zone de terres rares pour permettre une éventuelle application aux essais métallurgiques.

1. Minéralisation associée à la carbonatite fraîche

a) Bastnaesite

La bastnaesite est le principal minéral contenant les terres ra-

res. Il y a environ .6% de bastnaesite associé à la carbonatite fraîche; elle se trouve sous les formes suivantes (Tableau X):

1. Aiguilles rouges à brun foncé ($< .01$ à $.02-.03$ mm) souvent regroupées en agrégats de $.01$ à $.1$ mm. Elle se présente dans la chlorite associée à l'antraxolite (planche 27) et à l'hématite. Les aiguilles ($\leq .01$ mm) sont occasionnellement en bordure des grains ou des plages de chlorite (planche 28). Parfois, nous trouvons des bâtonnets incolores très biréfringents dans la matrice ($< .02$ mm).
2. Grains xénomorphes disséminés ou regroupés en agrégats dans la chlorite ou dans la matrice à grains fins.

b) Monazite

La monazite plus rare que la bastnaesite, apparaît dans quatorze lames minces (les quantités varient de 1 grain à trace) (Tableau XI).

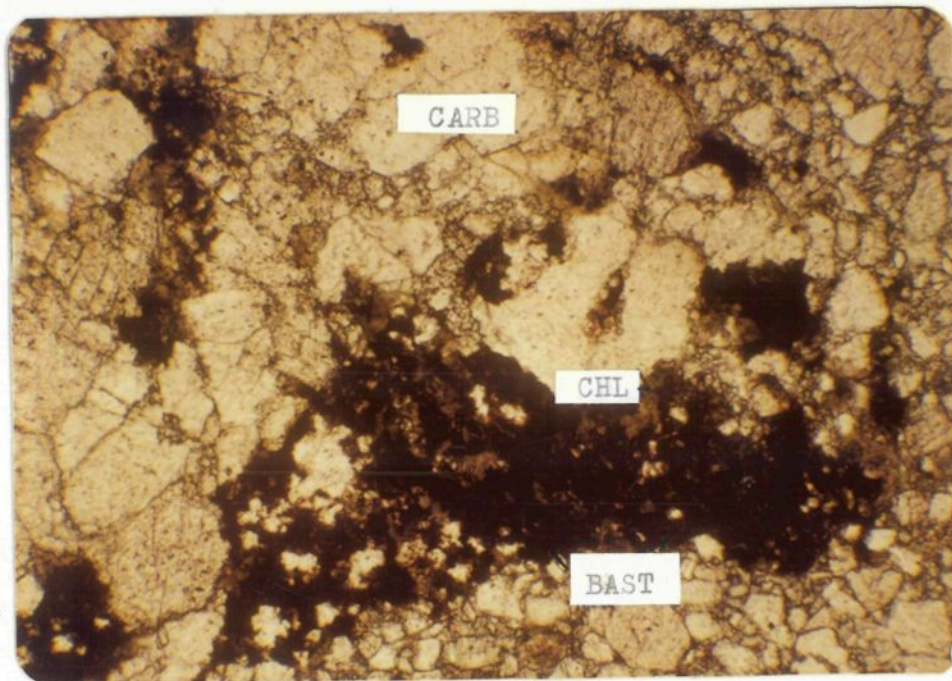
Nous la trouvons en petits grains idiomorphes, hypidiomorphes ou xénomorphes ($\leq .1$ mm) dans les carbonates ou dans la matrice à grains fins (planche 29). Elle est parfois associée au quartz.

2. Minéralisation associée à la carbonatite ankéritique

a) Bastnaesite

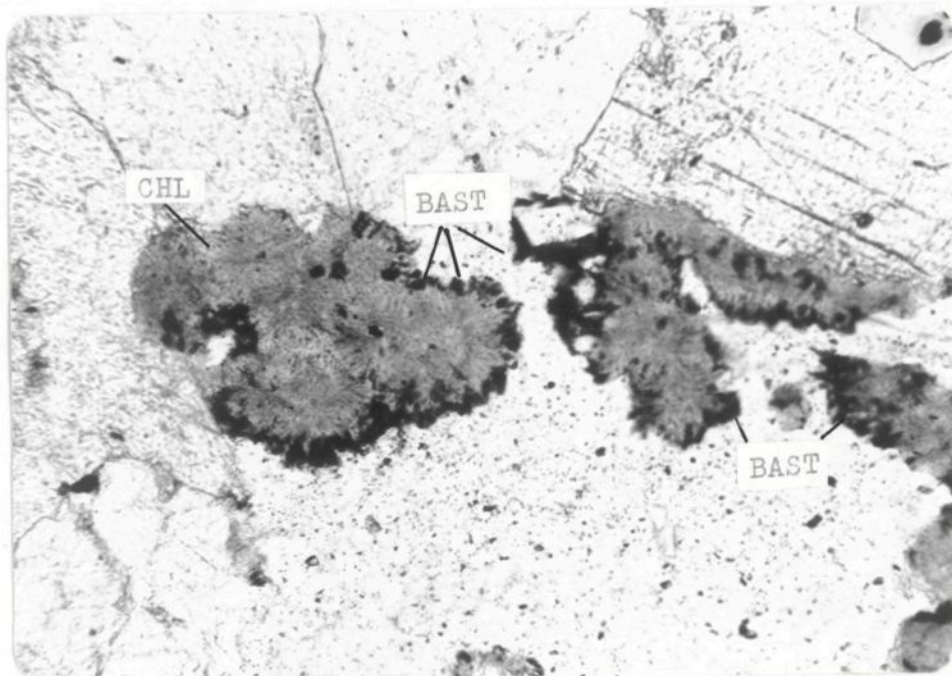
Ce sont les échantillons de carbonatite ankéritique qui contiennent le plus de bastnaesite (Tableaux VII et X) (4%). La bastnaesite se présente sous deux aspects:

1. Aiguilles ou bâtonnets ($.01-.02$ mm \times $< .01$ mm) isolés ou groupés en agrégats qui mesurent en moyenne $.05$ à $.15$ mm. Ces aiguilles ou bâtonnets sont semi-opaques à opaques, très rarement incolores. Cette bastnaesite est étroitement liée à l'antraxolite, l'hématite et la magnétite (planche 17) et elle est aussi incluse dans la chlorite. Elle peut aussi se situer dans les grains de quartz (planche 25c). L'étude microscopique démontre que plus de 95% de ces aiguilles sont localisées dans la matrice à grains fins. Il y a cependant plusieurs exemples d'aiguilles ou agrégats dans les carbonates des fragments.
2. Grains xénomorphes, à l'allure botryoïdale" d'une dimension de



Pl. 27 0 .19 mm

Bastnaesite (brun-noir) associée à la chlorite (jaune-brun) et à l'antraxolite (noir) dans une plage intergranulaire aux carbonates (blanc) provenant d'une carbonatite fraîche (lm. 802-364.5, lumière transmise, nicol simple).



Pl. 28 0 .19 mm

Aiguilles de bastnaesite (foncé) situées en bordure de la chlorite (moyen) dans une carbonatite fraîche (lm. 804-188, lumière transmise, nicol simple).

.01-.02 mm groupés en plages de .07-.15 mm incluses dans la chlorite, associées aux minéraux opaques ou interstitielles (planche 30). Ils sont toujours situés dans la matrice interstitielle à grains fins.

b) Monazite

Dix lames minces contiennent de la monazite en quantité inférieure à .25% (Tableau XI). La majorité des grains sont hypidiomorphes ou xénomorphes (.005-.02 mm) et sont inclus dans les carbonates. La monazite est rarement associée au quartz. Elle est parfois associée à la bastnaesite et les grains sont plus gros (.05-.06 mm) (planche 31).

3. Minéralisation associée à la carbonatite limonitique

a) Bastnaesite

Il y a environ 1% de bastnaesite dans la carbonatite limonitique (Tableau X). Elle se trouve sous les formes suivantes:

1. Aiguilles incolores à opaques (.005-.2 mm, moy \simeq .05 mm) incluses dans la chlorite ou associées à l'antraxolite (planche 18). Elles sont occasionnellement incluses dans les carbonates.
2. Grains xénomorphes brun foncé (\leq .05 mm) associés à la chlorite (planche 12c) et très peu aux minéraux opaques.

b) Monazite

Nous retrouvons des traces de monazite sous forme de cristaux xénomorphes (\leq .1 mm) dispersés dans les carbonates parfois dans la matrice à grains fins.

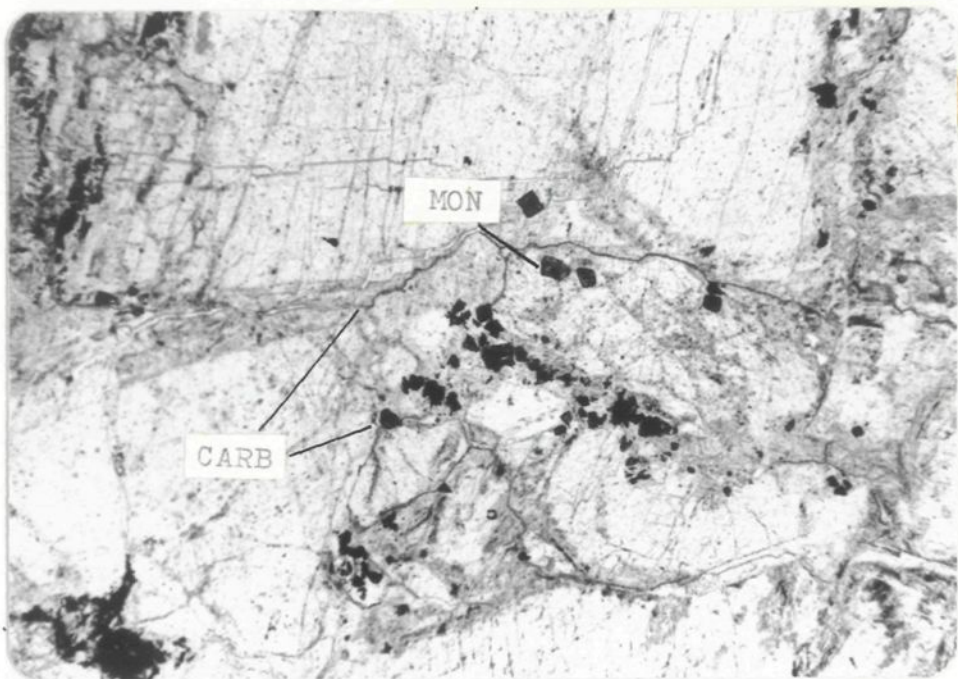
4. Minéralisation associée à la carbonatite à chlorite

a) Bastnaesite

Le pourcentage moyen de bastnaesite dans la carbonatite à chlorite est de 2%.

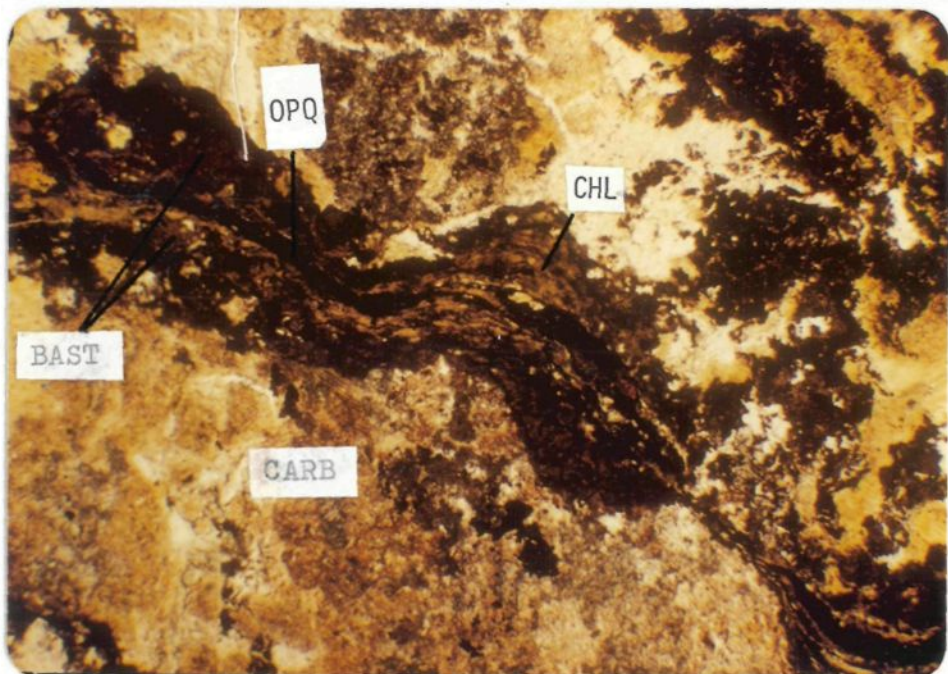
La bastnaesite apparaît sous trois formes principales:

1. Généralement, elle se trouve en petites aiguilles (.05-.8 mm, moyenne \simeq .05-.1 mm) brun rouge rarement incolores. Ces aiguilles



Pl. 29 0 .5 mm

Petits grains de monazite (noir) situés dans les carbonates ou dans la matrice interstitielle provenant d'une carbonatite fraîche (lm. 807-271, lumière transmise, nicol simple).



Pl. 30 0 .5 mm

Bastnaesite (brun-noir) dans la chlorite d'infiltration, associée aux minéraux opaques (noir) dans une carbonatite ankéritique (jaune) (lm. 808-116, lumière transmise, nicol simple).

TABLEAU X
DISTRIBUTION DE LA BASTNAESITE DANS LES QUATRE UNITES LITHOLOGIQUES
DE LA ZONE A TERRES RARES DE ST-HONORE

TYPE DE ROCHES	POURCENTAGE	MORPHOLOGIE DES GRAINS	ASSOCIATION	
Carbonatite fraîche	.6%	1) Aiguilles (.01 - .08 mm X .005 X .01) 2) Agrégats d'aiguilles (.05 - .2 mm) 3) Grains xénomorphes arrondis (.04 - .05 mm)	20% 70% 10%	1. Associée au matériel noir antraxolite ou autres minéraux opaques - semi-opaques 2. Incluse dans la chlorite interstitielle 3. Grains dispersés dans la matrice 4. Rarement associée au quartz
Carbonatite ankéritique	4 %	1) Grains xénomorphes arrondis (.01 - .04 mm); batrachedales 2) Agrégats d'aiguilles (.05 - .4 mm) 3) Aiguilles ou bâtonnets (.01 - .08 X .005 - .01 mm)	45% 45% 10%	1. Incluse dans la chlorite, seule ou associée aux minéraux opaques: matériel noir antraxolite surtout 2. Associée aux minéraux opaques dans la matrice; en intercroissance avec ceux-ci 3. Inclusion dans les carbonates: dans les fragments ou la matrice 4. Grains matriciels
Carbonatite chloritique	2 %	1) Aiguilles (.05 - .8 mm) 2) Agrégats d'aiguilles (.1 - .15 mm) 3) Grains xénomorphes (.01 - .03 mm) 4) Quelques grains radiolaires	60% 30% 10%	1. Incluse dans la chlorite, en grains seuls ou en intercroissance avec les opaques (matériel noir antraxolite) 2. Associée aux minéraux opaques (matériel noir antraxolite surtout) dans la matrice à grains fins 3. Quelques petites plages matricielles 4. Quelques inclusions dans les carbonates
Carbonatite limonitique	1 %	1) Aiguilles 2) Grains xénomorphes 3) Grains radiolaires	80% 20% tr	1. Incluse dans la chlorite, seule et associée aux minéraux opaques 2. Associée aux opaques dans les espaces interstitielles 3. Incluse dans les carbonates ou au contact de ceux-ci 4. Quelques grains matriciels

tr = trace

sont isolées ou sont regroupées en agrégats atteignant .8 mm (planche 32). Dans 80% des échantillons, ces aiguilles sont dans la chlorite (planche 33). Elles se situent aussi avec l'antraxolite et l'hématite ainsi qu'occasionnellement dans les carbonates. Elles entourent un minéral non-identifié en une occasion. Rarement, elles sont disposées concentriquement.

2. Très souvent (60% des échantillons) il y a de petits grains arrondis xénomorphes (.005-.02 mm) qui forment des agrégats (.05-.2 mm) non-poreux. Ces grains sont surtout dans la chlorite mais parfois associés aux opaques. Ils sont très rarement inclus dans les carbonates.
3. Il y a quelquefois de gros grains hypidiomorphes et xénomorphes (.5 et .15 mm).

b) Monazite

Le pourcentage moyen de monazite est de 0.5% (Tableau XI). Elle se trouve en petits grains xénomorphes ou idiomorphes bruns, parfois zonés, dans la chlorite et les carbonates provenant de la matrice ou des fragments de carbonatite bréchiforme. La dimension des grains est inférieure à 0.05 mm. Les grains sont parfois en îlots (planche 34).

Paragénèse des minéraux

L'observation de toutes les données mégascopiques et microscopiques permet d'établir la séquence paragénétique des minéraux de la zone à terres rares (Tableau XII).

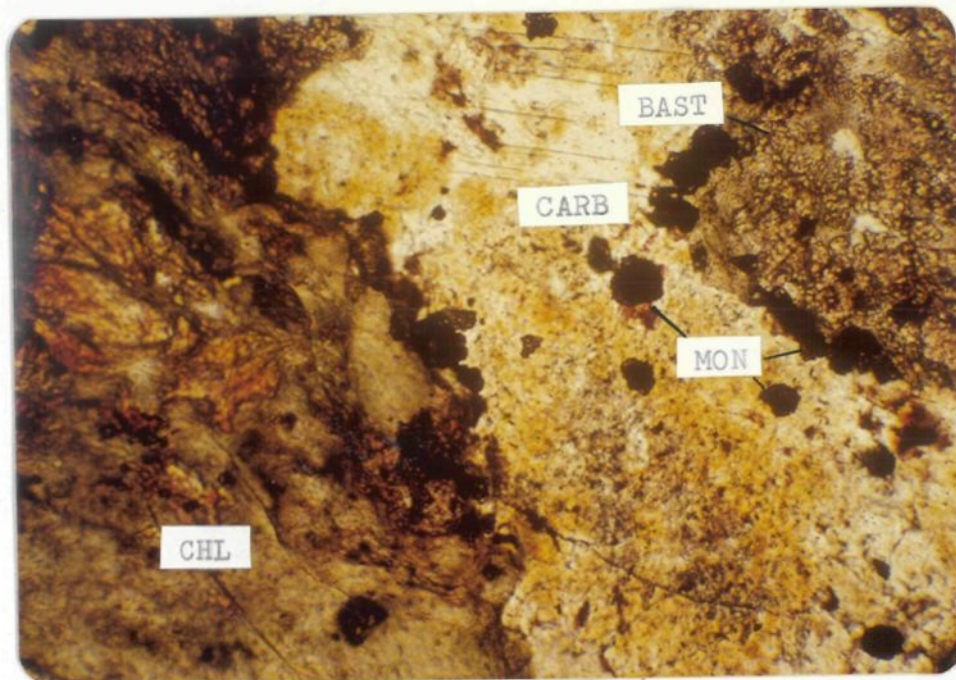
Cette séquence paragénétique contient quelques points probablement discutables mais, néanmoins, elle respecte fidèlement les notions théoriques sur les carbonatites et les observations microscopiques.

Les carbonates sont les premiers minéraux à apparaître. Nous concluons que ces carbonates sont principalement des dolomites ankéritiques car nous les retrouvons associés aux carbonatites à texture massive granulaire et aux fragments des carbonatites bréchiques. Quelques fragments montrent une foliation (planche 10) et nous notons une intercroissance de divers types de carbonates (planche 12d). L'apatite est incluse dans les carbonates et elle aurait donc cristallisé avant les carbonates.

TABLEAU XI
DISTRIBUTION DE LA MONAZITE DANS LES QUATRE UNITES LITHOLOGIQUES
DE LA ZONE A TERRES RARES DE ST-HONORE

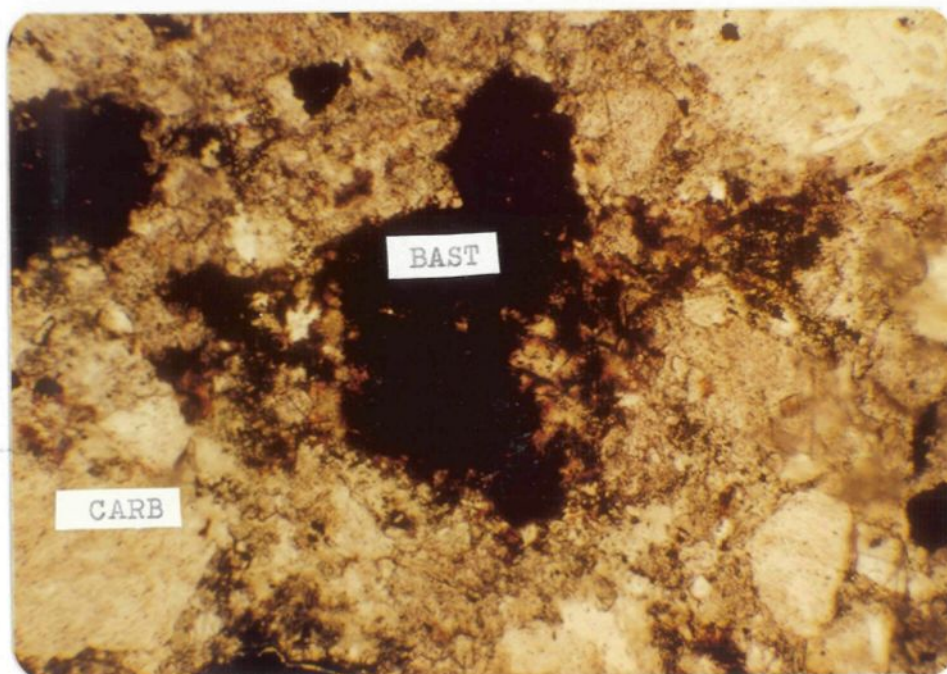
TYPE DE ROCHES	POURCENTAGE	MORPHOLOGIE DES GRAINS	ASSOCIATION
Carbonatite fraîche	tr	1) Grains idiomorphes, hypidiomorphes ou xénomorphes ($\leq .1$ mm)	1. Incluse dans les carbonates 2. Petits grains dispersés dans la matrice, isolés ou associés au quartz
Carbonatite ankéritique	tr (< 2%)	1) Grains hypidiomorphes ou xénomorphes (.005 - .02 mm) (.05 - .06 mm)	1. Incluse dans les carbonates 2. Petits grains associés au quartz; intercroissance
Carbonatite chloritique	.5%	1) Grains xénomorphes ou idiomorphes $\leq .2$ mm - .05 mm, quelques îlots	1. Incluse dans la chlorite 2. Incluse dans les carbonates: fragments et matrice
Carbonatite limonitique	tr	1) Grains xénomorphes	1. Dispersée dans les carbonates 2. Dispersée dans la matrice à grains fins

tr = trace



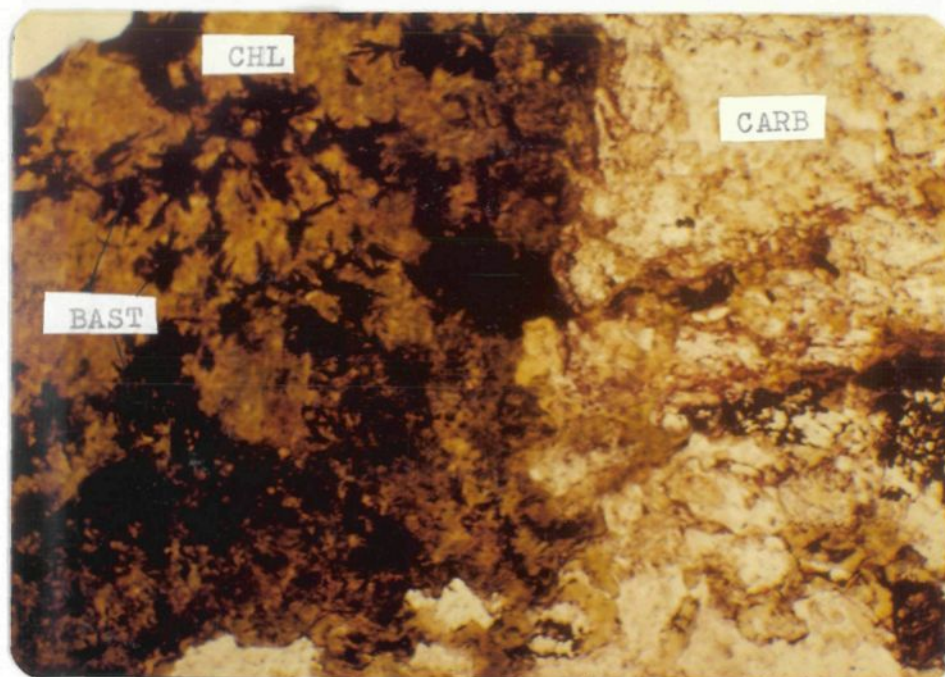
Pl. 31 0 0.075 mm

Bastnaesite (brun) et monazite (noir) associées à la chlorite (vert) dans une carbonatite ankéritique (lm. 808-116, lumière transmise, nicol simple).



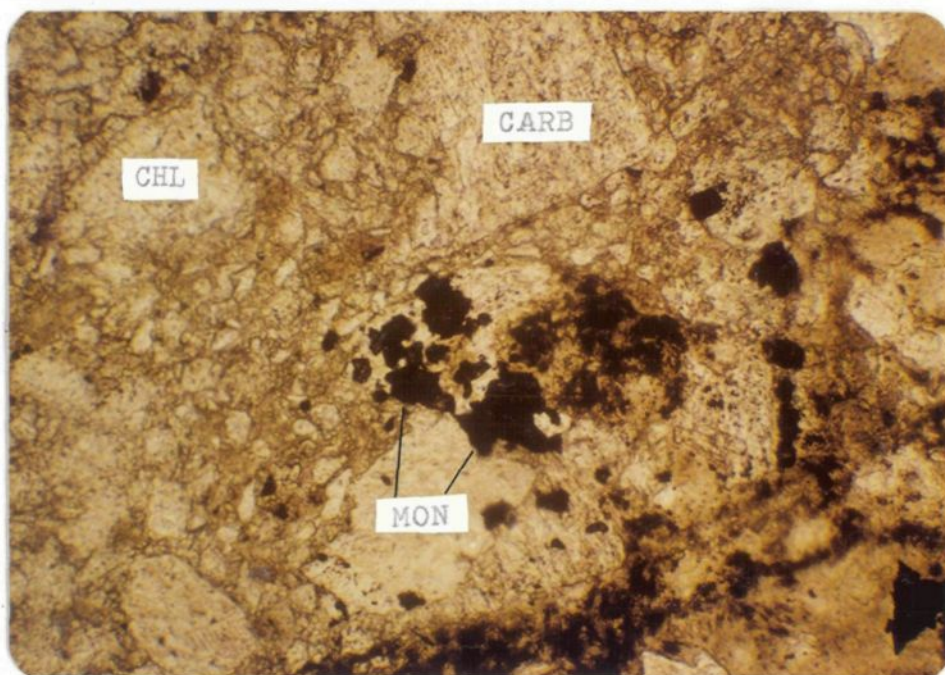
Pl. 32 0 0.19 mm

Aggrégats d'aiguilles de bastnaesite (noir) regroupées en aggrégats non-poreux dans la chlorite (jaune) et les carbonates (blanc) provenant d'une carbonatite à chlorite (lm. 806-16.8, lumière transmise, nicol simple)



Pl. 33 0 .075 mm

Aggrégats d'aiguilles de bastnaesite (noir) incluses dans la chlorite (jaune-brun), près de carbonates (blanc) dans une carbonatite à chlorite (lm. 803-254, lumière transmise, nicol simple).



Pl. 34 0 .19

Monazite (foncé) regroupée en îlots dispersés dans la chlorite (moyen) dans une carbonatite à chlorite (pâle) (lm. 803-145.5, lumière transmise, nicol simple).

Ensuite, des ring-dykes de carbonatites ankéritiques et sidéritiques s'infiltrèrent et créent une roche bréchiforme aux fragments dolomitiques et à la matrice ankéritique (planches 1a et 11). Des feldspaths potassiques et du quartz accompagnent ces injections (planche 25c); les feldspaths potassiques seront ultérieurement altérés par les carbonates ou la chlorite (planche 24).

L'antraxolite et la bastnaesite sont principalement interstitiels et semblent associés surtout à la matrice à grains fins ainsi que dans la carbonatite à texture massive granulaire (planches 1d et 9). Alors, ils seraient tardifs aux premières venues et en même temps que les ring-dykes sidéritiques et ankéritiques.

Quelques "ring-dykes" ou bandes magnétites massives se sont infiltrées par des ouvertures ou des faiblesses du noyau central, une texture fluidale est observable.

Il y a eu ensuite un stade hydrothermal où il y a eu croissance de chlorite avec de la bastnaesite (planches 27 et 28), de monazite, du quartz, de sphalérite et/ou du pyrochlore ainsi que de l'ilménite ainsi que de l'antraxolite. Quelques textures sont fluidiques (planche 19). Ces solutions ont éventuellement permis la formation d'hématite aux dépens de la magnétite de même que quelques carbonates sidéritiques (planche 14).

Des solutions hydrothermales plus tardives ont permis la cristallisation de pyrite, pyrrhotine, sphalérite et la barytine en veinules ou interstitiellement (planche 1c). Des veinules calcitiques tardives apparaissent à ce stade.

L'altération deutéritique est un phénomène commun aux roches de surface et la zone à terres rares a subi cette altération. Cette altération se manifeste dans les parties poreuses de la brèche par la concentration d'hématite autour des fragments. Dans la carbonatite massive granulaire, elle se traduit par une couverture semi-opaque des carbonates (planche 15). Quelques grains xénomorphes de bastnaesite, associés à l'hématite, résultent d'une redéposition des terres rares suite à un lessivage par l'eau de percolation spécialement dans les régions superficielles.

TABLEAU XII
 SEQUENCE PARAGENETIQUE DES MINERAUX
 ZONES A TERRES RARES
 ST-HONORE

MINERAUX	STADES D'EVOLUTION de la zone à TR_2O_3			
	STADE 1	STADE 2	STADE 3	STADE 4
Calcite	----		----	
Dolomite	----			
Dolomite ankéritique	----			
Sidérose		----	----	
Rhodocrosite		----		
Apatite	----			
Quartz		----		
Feldspaths-K		----		
Bastnaesite	----	----	----	----
Pyrolusite		----		
Antraxolite	----	----		
Magnétite			----	
Monazite			----	
Chlorite			----	
Ilménite			----	
Pyrochlore			----	
Hematite			----	----
Pyrite			----	
Pyrrhotine			----	
Sphalerite			----	
Barytine			----	
Limonite				----
Phlogopite	----			----
Rutile				----

Un phénomène de phlogopitisation s'est produit lors d'une réaction feldspathiques potassiques-dolomite. Même si cette réaction n'a pas été retrouvée dans la zone à terres rares, elle existe dans les autres types de carbonatite du complexe (Fortin, 1977). Cette phlogopite s'est ensuite chloritisée (planche 25b) puis possiblement altérée en rutile lors de réactions ultérieures (planche 26). Même si ce modèle satisfait l'ensemble de la zone à terres rares, il y a quelques endroits où la phlogopite est antérieure aux carbonates dits primaires (planche 25a): Alors, il pourrait y avoir deux générations de phlogopite, soit une génération primaire arrivée en même temps que les carbonates et une génération secondaire due à un phénomène de phlogopitisation.

Chapitre V

GEOCHIMIE DE LA ZONE A TERRES RARES

Introduction

Dans ce chapitre, nous étudierons premièrement la distribution spatiale des concentrations de La_2O_3 dans la zone à terres rares et dans la roche encaissante à partir d'analyses chimiques systématiques de lots de 10 pieds provenant de la carotte de douze sondages. Nous étudierons ensuite la distribution relative et le degré de différenciation des terres rares à partir de vingt-huit (28) échantillons provenant d'un regroupement de lots de 10 pieds. Ces regroupements correspondent aux zones de concentration de La_2O_3 établies au cours de la première étape.

Onze de ces vingt-huit échantillons furent analysés pour 44 éléments chimiques et ils serviront à reconstruire une pétrographie théorique et surtout à étudier les corrélations entre les différents oxydes ou éléments chimiques ainsi qu'entre les oxydes de terres rares et les autres oxydes ou éléments.

Distribution spatiale des concentrations de La_2O_3 dans la zone à terres rares

Ce paragraphe définit des regroupements de valeurs de La_2O_3 en zones

de concentration et propose un arrangement spatial de ces zones. Nous essaierons aussi de trouver une relation entre ces zones de concentration de La_2O_3 et les unités lithologiques de la zone à terres rares. Finalement, cet arrangement spatial a-t-il une implication génétique.

1. Regroupement par zones de concentration de La_2O_3 et modèle de zonation géochimique du La_2O_3

Le regroupement par zones de concentration est le résultat de la compilation des analyses systématiques pour le La_2O_3 d'échantillons de carottes mesurant 10' et provenant de douze trous de sondages. Ces échantillons ont aussi été analysés pour le Ce_2O_3 et le ZnS .

Ce regroupement des valeurs de La_2O_3 permet d'établir cinq zones de concentration qui constituent un dépôt d'intérêt économique (Tableau XIII). Chaque zone de concentration est composée d'un ensemble de valeurs distribuées sur un cycle irrégulier (Figure 18) dont la valeur moyenne représente la valeur de la zone de concentration.

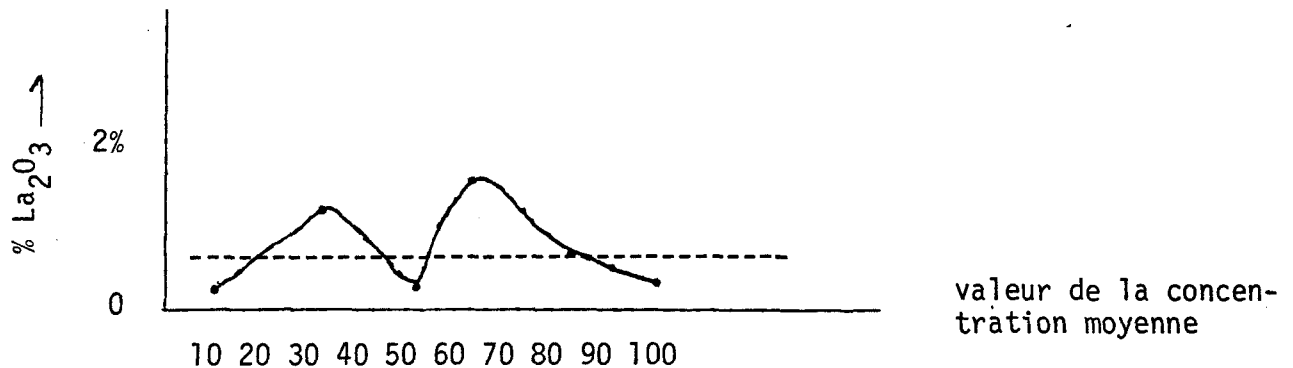


Fig. 18 Variation cyclique irrégulière des valeurs de La_2O_3 des échantillons de 10 pieds formant une zone de concentration "x".

TABLEAU XIII
INTERVALLES DES VALEURS (V) DES ZONES DE CONCENTRATION DE La_2O_3

ZONE DE CONCENTRATION	VALEUR DE La_2O_3 (%)
1	$V \geq 1.00\% \text{ La}_2\text{O}_3$
2	$.65\% \leq V \leq 1.0\% \text{ La}_2\text{O}_3$
3	$.40\% \leq V \leq .65\% \text{ La}_2\text{O}_3$
4	$.15\% \leq V \leq .40\% \text{ La}_2\text{O}_3$
5	$V \leq .15\% \text{ La}_2\text{O}_3$

La projection horizontale des zones de concentration permet de concevoir trois modèles pour ce dépôt. Le premier modèle est une disposition concentrique des zones de concentration de La_2O_3 dont l'épaisseur varie de 100 à 150 pieds (30-50 mètres). Ce dépôt aurait, suivant ce modèle, une superficie de 3,200 X 2,400 pieds² (713,860 mètres²). (Figure 19).

Le second modèle, similaire au premier mais beaucoup plus conservateur, donnerait une demi-structure concentrique, l'épaisseur des zones restant la même. La partie ouest (Figure 19) manquerait entièrement et le volume du dépôt serait donc réduit de moitié. Le troisième modèle pourrait être une disposition en dykes est-nord-est plus ou moins parallèles.

Nous préférons le premier modèle car les cartes radiométriques (Figure 6), aéromagnétiques (Figure 7) et gravimétrique (Figure 8) ainsi que l'arrangement spatial des différentes unités lithologiques semblent indiquer de façon nette une forme ovoïde.

L'inclinaison des zones est incertaine et la profondeur n'est pas déterminée alors le volume demeure indéterminé.

De plus, si nous comparions notre modèle à quelques exemples classiques, nous remarquerions qu'à Mountain pass, il y a des valeurs très hautes dispersées sporadiquement qui sont caractéristiques de veines (Olson, Shawe and Pray, 1954); ce qui n'est pas le cas à St-Honoré. Nous pourrions comparer notre modèle aux dépôts de terres rares d'Afrique associés aux carbonatites (Kangankunde Hill, Chilwa Island, Tundulu, Nyasaland) qui sont similaires à St-Honoré mais rien ne fut publié sur la distribution spatiale des terres rares de ces dépôts.

2. Relation entre les unités lithologiques et les zones de concentration de La_2O_3 de la zone à terres rares de St-Honoré.

L'interprétation géologique est basée sur un patron de ring-dykes de quatre faciès de carbonatite selon les observations pétrographiques. Ce patron ne concorde pas directement avec la zonation géochimique proposée en 1. (Figures 16, 17 et 20, 21).

Cependant si nous étudions de façon détaillée chaque échantillon de 10 pieds, nous constaterions une relation directe entre les valeurs

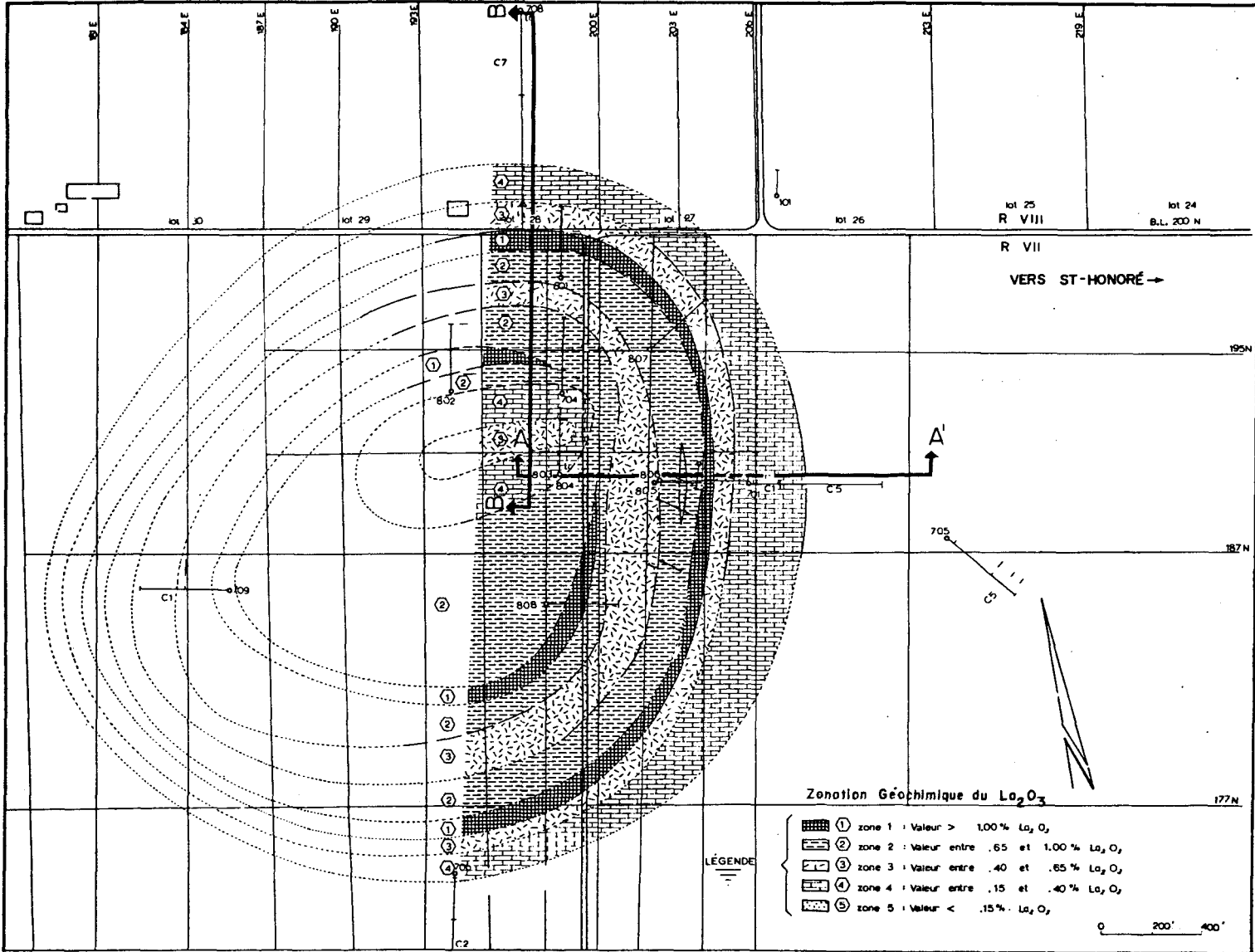


Figure 19. Projection horizontale du modèle de zonation des concentrations de La_2O_3 à l'intérieur de la zone à terres rares.

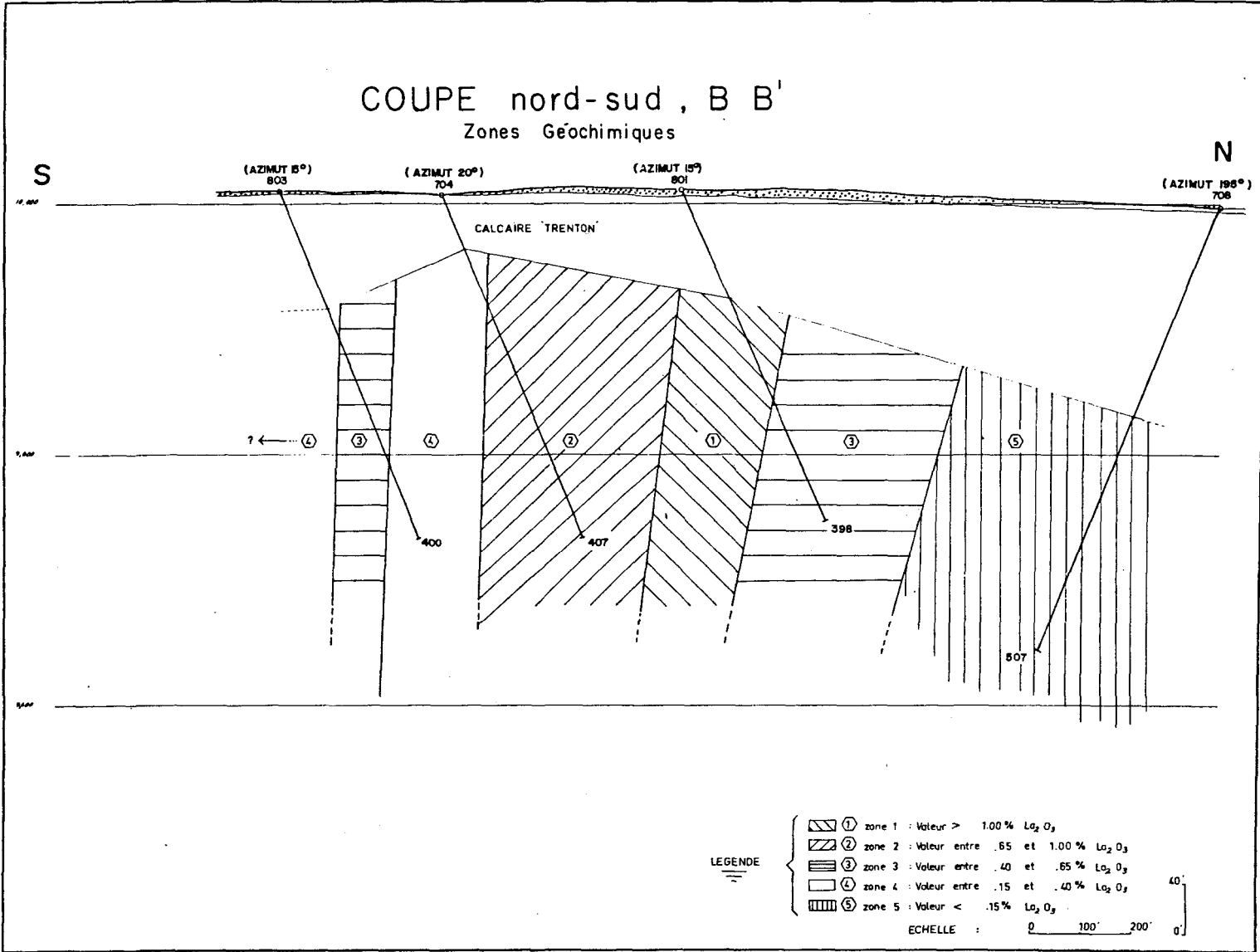


Figure 20. Coupe nord-sud montrant la zonation des concentrations de La_2O_3 à l'intérieur de la zone à terres rares.

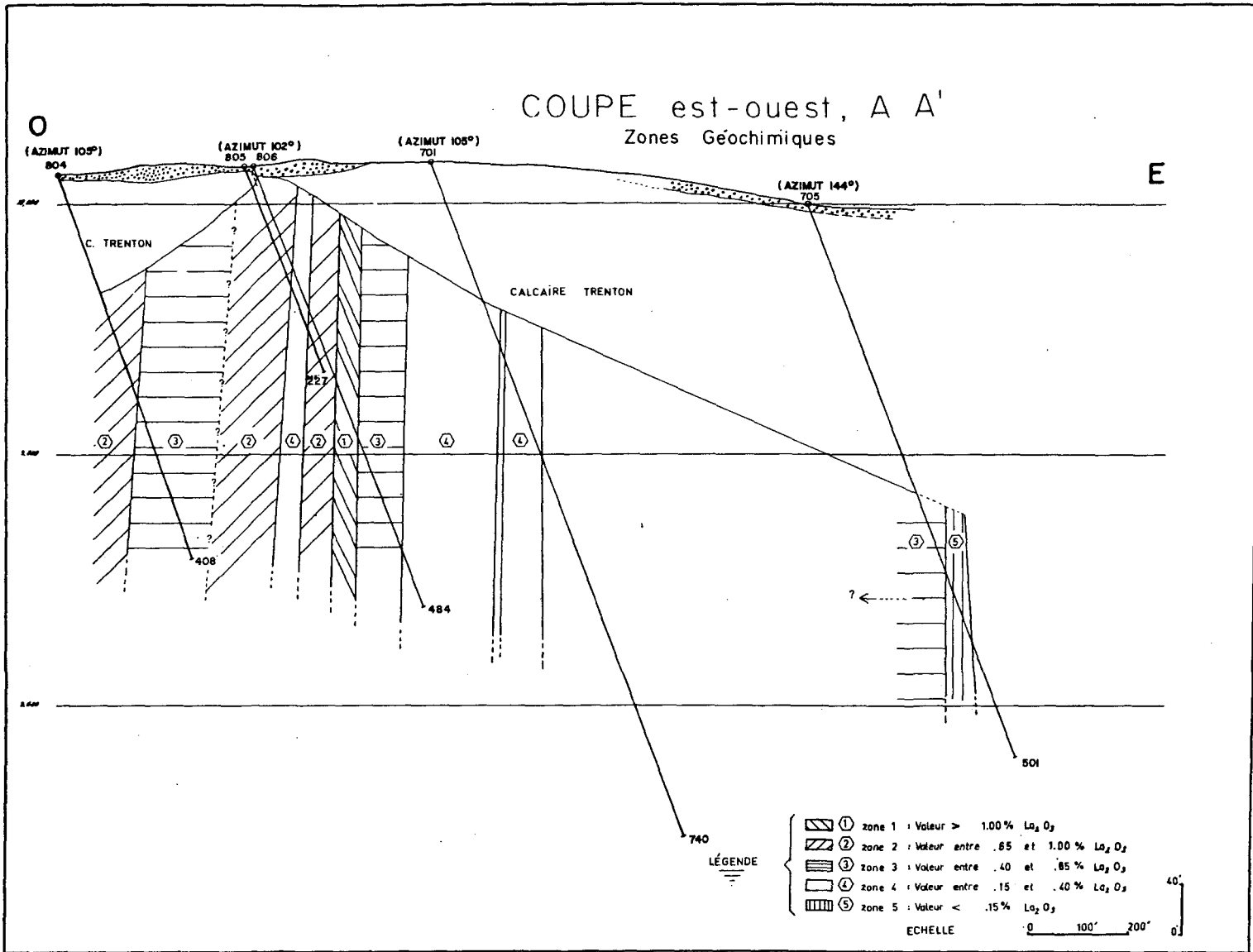


Figure 21. Coupe est-ouest montrant la zonation des concentrations de La_2O_3 à l'intérieur de la zone à terres rares.

de La_2O_3 et le pourcentage de carbonatite ankéritique rouge, de carbonatite jaune-brun ou de carbonatite à chlorite. De plus, il existe une association nette entre la quantité d'altération hématitique ou chloritique et la concentration des zones à terres rares. Ces deux relations ne sont pas valables pour le secteur central (trou no 803).

La variation cyclique des concentrations (Figure 19) peut suggérer une série de dykes où les concentrations seraient plus hautes au centre qu'en bordure. Cependant, l'association très fréquente des terres rares avec le matériel interstitiel rend peu plausible une telle interprétation.

3. Signification génétique de la zonation géochimique du La_2O_3

La zonation concentrique peut être engendrée de plusieurs manières.

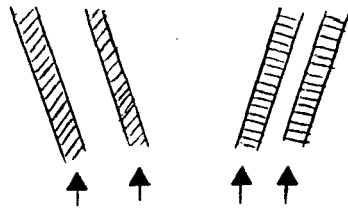
Une série de "ring-dykes" de carbonatites à terres rares presque symétriques pourrait occasionner une telle zonation des concentrations de terres rares. Nous avons expliqué au paragraphe précédent nos réticences envers ce modèle.

Un enrichissement deutéritique, par la percolation de l'eau à l'intérieur, pourrait créer une association hématite-chlorite-bastnaésite, mais un modèle de zonation, concentrique par surcroît, serait une coïncidence sortant de l'ordinaire. De plus, l'association de la bastnaésite à la carbonatite fraîche, interstitiellement avec l'antraxolite, enlève l'exclusivité de ce mode de formation.

Un enrichissement majeur en terres rares résultant de solutions hydrothermales pourrait se disposer selon un modèle concentrique zoné. La zonation dépendrait du patron de fissuration provoquant la venue de ces solutions hydrothermales (Figure 22). Ces solutions seraient syngénétiques avec les dykes de carbonatite ankéritique et tardi-génétique avec la carbonatite à chlorite et la carbonatite ankéritique bréchique car les terres rares sont souvent associées à la matrice interstitielle.

Distribution relative des terres rares

Il est reconnu que chaque minéral qui contient les terres rares a sa distribution relative des terres rares propres (Vlasof, 1962, p. 249, table 191; Neuwman, Jensen et al., 1967; Parker et Baroch, 1971; Adams, 1969,



Association à chlorite - hématite - antraxolite



Réaction solutions et roches encaissantes



Montée des solutions hydrothermales et ramassage d'éléments Tr_2O_3 .

Fig. 22 Schéma d'évolution des solutions hydrothermales pouvant résulter en zones de concentration.

Heinrich, 1966). Si chaque minéral a sa distribution propre, chaque dépôt de terres rares est caractérisé par une distribution relative typique de sa minéralogie. Nous étudierons cette distribution relative des terres rares et nous la comparerons à la minéralogie reconnue pour la zone de terres rares de St-Honoré.

Ensuite, nous présenterons le degré de différenciation ou le patron d'enrichissement des terres rares de nos roches en le normalisant par rapport à des chondrites ordinaires. Les chondrites sont censées représenter le matériel primaire à partir duquel la terre se serait différenciée (Dostal et al., 1976; Phillip et Rankin, 1976; Koljonen, 1975; Nakamura, 1974; Haskin et al., 1966; Jensen et Brunfelt, 1965; Schoefield et Haskin, 1964).

1. Distribution relative des terres rares dans les zones de concentration de La_2O_3 .

A St-Honoré, le patron de distribution relative des terres rares est intermédiaire entre celui de la bastnaesite et celui de la monazite (Figures 23 et 24) (Tableau XIV).

Plus spécifiquement, la distribution relative moyenne est donnée par la relation suivante:

$$\text{Ce} = 1.7 \text{ La}$$

$$\text{Nd} = 4.6 \text{ Pr}$$

$$\text{Sm} = 5. \text{ Eu}$$

Un tel patron de distribution Ce, La, Nd indique que le dépôt est du type "Cerium Earth" (Murata et al., 1957).

Nous pouvons conclure que la distribution relative des terres rares confirme la minéralogie qui consiste en une prédominance de bastnaesite accompagnée d'un peu de monazite et possiblement des traces d'autres fluorocarbonates (Synchisite - Parisite) (Chapitre II).

2. Patron d'enrichissement (différenciation) en terres rares, normalisé.

a) Introduction

Nous utiliserons les valeurs de Nakamura et al. (1974) pour calculer nos rapports mais elles diffèrent peu de celles des autres auteurs (Tableau XV).

Les figures 25 et 26 montrent le logarithme du rapport de la valeur des terres rares (cations) de l'échantillon et la valeur de terres rares des chondrites (Table XVI). Un exemple de calcul est donné à l'appendice C.

De plus, même si les analyses de terres rares sont assez bien calibrées (Perrault, communication personnelle), des essais déterminant l'exactitude ont été effectués sur deux échantillons. Ces deux échantillons ont été analysés dans huit laboratoires différents (appendice D).

b) Discussion des résultats

Pour vérifier si les analyses de terres rares sont bonnes, nous avons comparé la "somme des terres rares que nous avons analysées séparément plus les valeurs de Y_2O_3 " et nous devrions avoir la même valeur que la valeur $\text{Tr}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$ provenant des analyses totales (Tableaux XVII et XVIII).

Seulement onze des vingt-huit analyses pourront être vérifiées

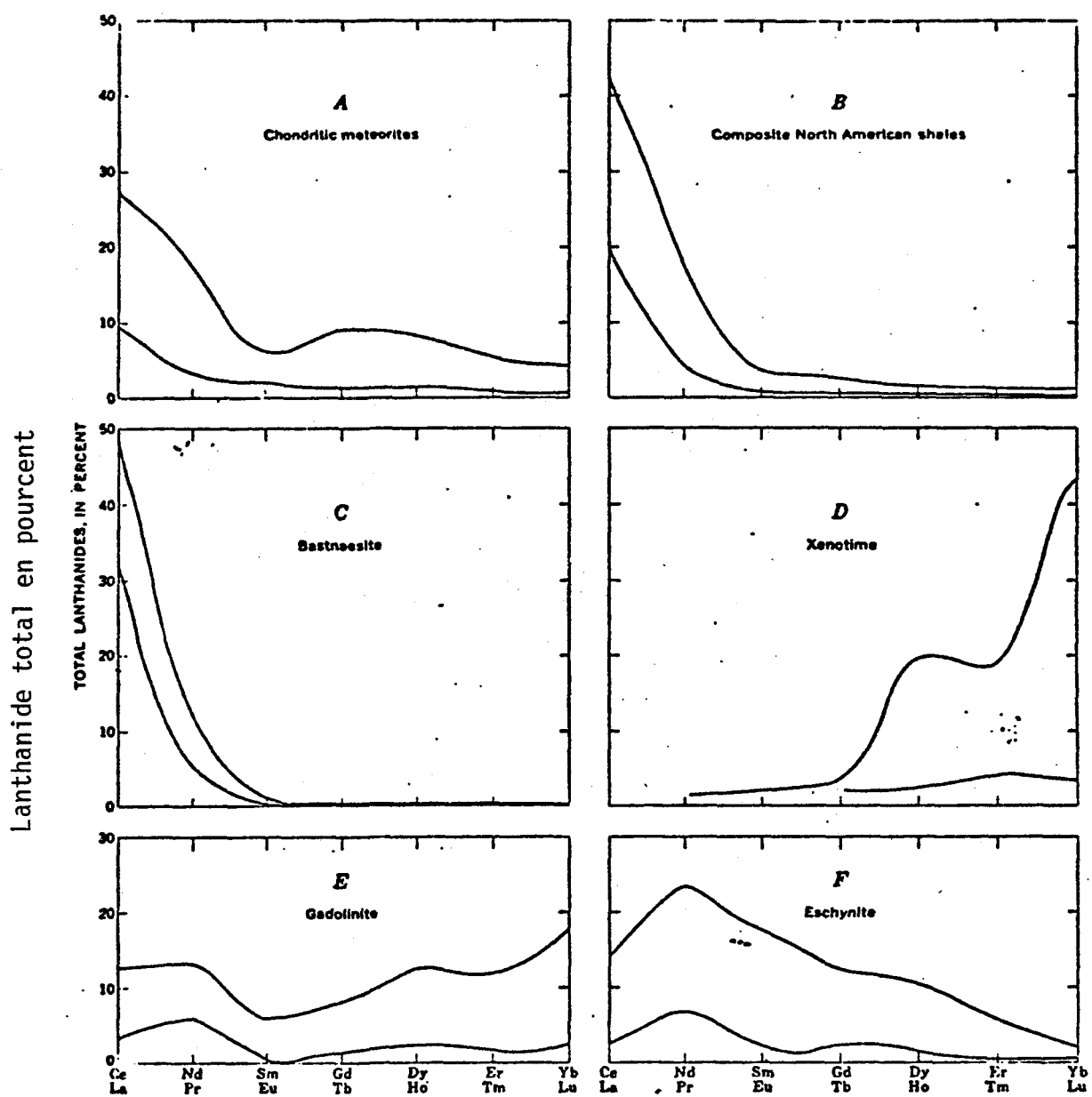
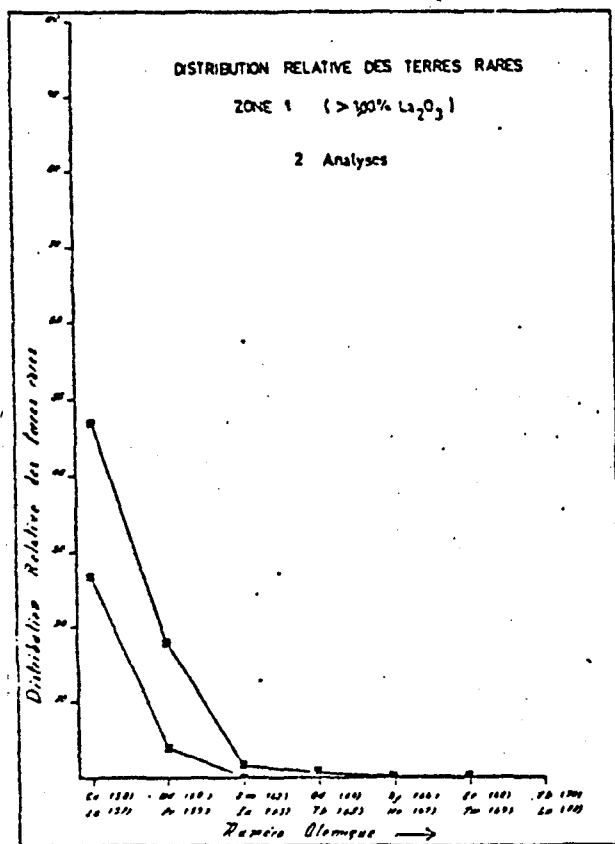
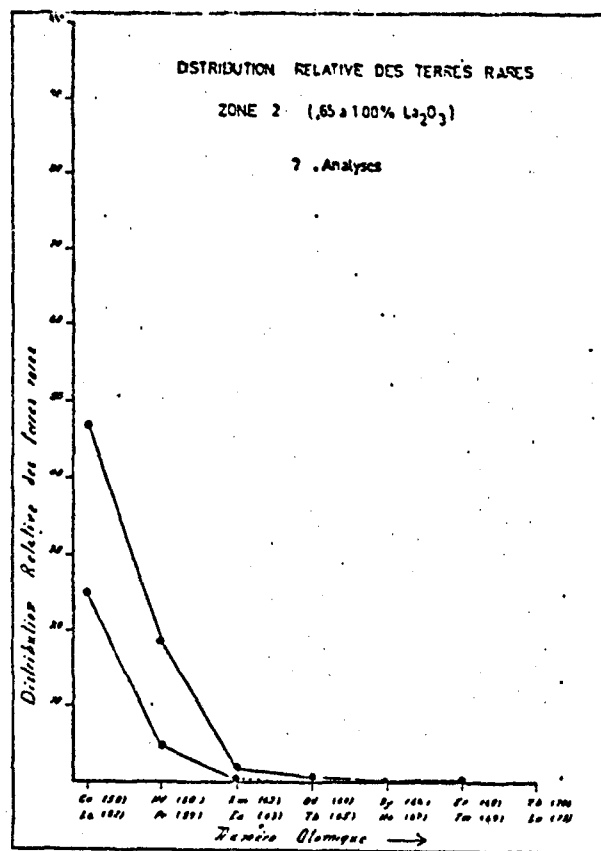


Fig. 23 Distribution relative des terres rares dans six différents minéraux (selon Adams, 1969).

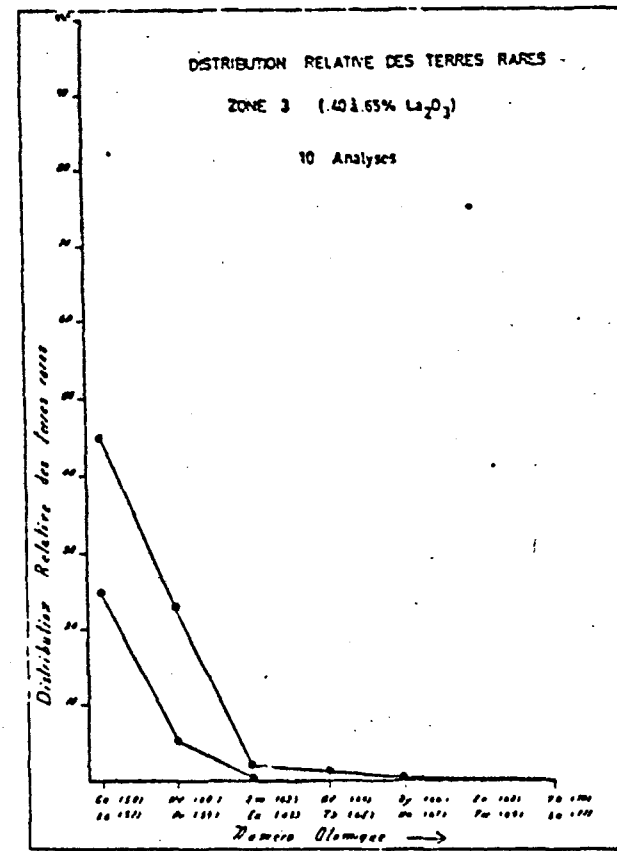
- a) Chondrites (20 analyses) b) Composite de Shales nord-américain
 c) Bastnaesite de Californie d) Xénotime du Nigéria
 e) Gadolonite de Suède f) Eschynite de U.R.S.S.



a)

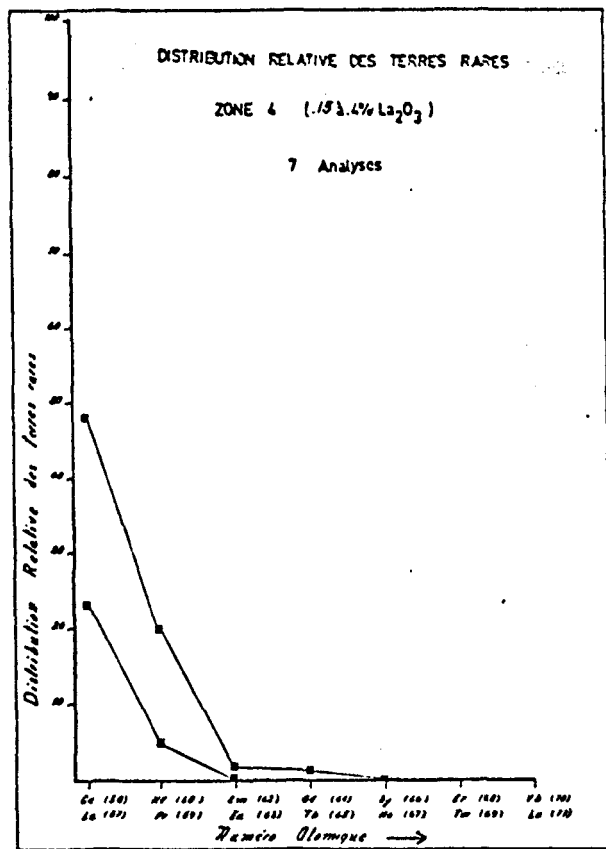


b)

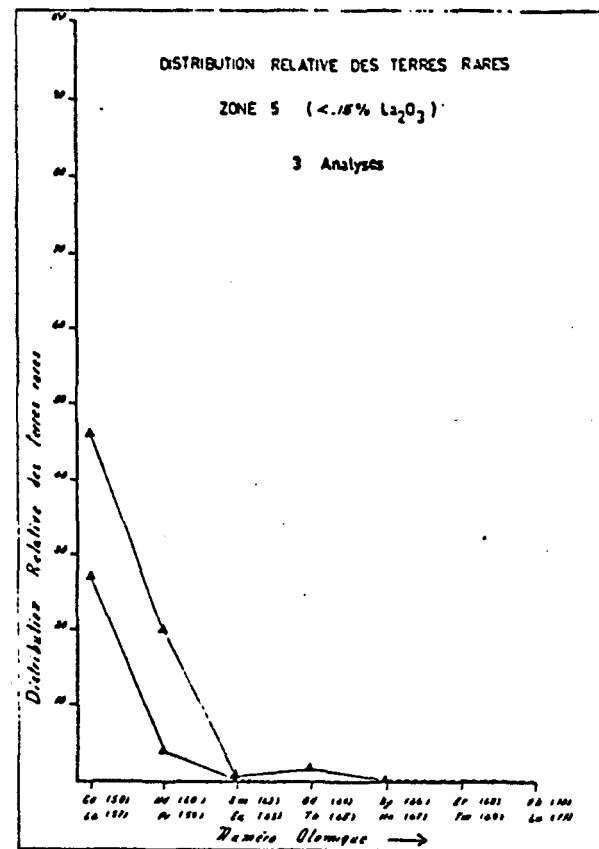


c)

Fig. 24 Distribution relative des terres rares dans les cinq zones de concentration de La₂O₃ rencontrées à St-Honoré.
a) Zone 1, > 1.0% La₂O₃; b) Zone 2, .65-1.0% La₂O₃; c) Zone 3, .40-.65% La₂O₃
d) Zone 4, .2-.4% La₂O₃; e) Zone 5, < .2% La₂O₃.



d)



e)

TABLEAU XIV

DISTRIBUTION RELATIVE DES TERRES RARES (%)

-A- DANS LES CINQ ZONES DE CONCENTRATION DE La_2O_3 DE ST-HONORE

-B- DANS DIFFERENTS MINERAUX PROVENANT DE DIFFERENTES LOCALITES

-A-

	ZONE 1	ZONE 2	ZONE 3	ZONE 4	ZONE 5	MOYENNE
La	27	26	25	23.3	27	25.6
Ce	47	47	45	48	46	46.6
Pr	4	5	5.3	5	4	4.6
Nd	18	18.7	23	20	20	20
Sm	1.6	1.55	2	1.86	.8	1.0
Eu	.4	.4	.4	.5	.2	.4
Gd	.6	.9	1.4	1.37	1.8	1.2
Dy	.4	.4	.4	.2	.2	.3
Er	.4	.4	tr	tr	tr	tr
Yb	tr	tr	tr	tr	tr	tr
Lu	tr	tr	tr	tr	tr	tr

-B-

	MONAZITE GRANITE	RUSSIE MONAZ.	RUSSIE MONAZ.	RUSSIE MONAZ.	RUSSIE BAST.	RUSSIE BAST.	MOLY CORP BAST.	MINERAL INDUSTRIES	BAST. MNT PASS	MONAZ.	MONAZ.	BAST. DE SYENITE	PARISITE	MONAZ.	BAST.	MONAZ. MNT PASS	BAST. MNT PASS	BAST. TENT. QZ	RHALO- NITE
La	24	20	19	31	22	23	34	28.6	32	23	48	39	36	39.5	27	28	42	35	27
Ce	47	52	53	50	49	46	50	55.8	49	48	50	50	51	46.3	54	51	45	53	49
Pr	6	6	4	5	4	5	4	10.5	5	6	14	3.1	3.1	3.5	4.1	4.4	3.5	3.2	5
Sd	20	17	19	14	24	25	11	4.1	14	20	17	7.7	8.5	9.9	14.	11.8	8.4	8	17
Sm	3	2	3.2		1	1	.5		.6	3	2	.2		.8	.3	1.2	.8	.1	1
Eu							.7		.4	.2	3			.8					.1
Gd	2	2.4	1.2				.2	.7	tr	.2	.5			.4					.4
Dy		.4	.4						tr	.2	.2								.2
Er		.1	.1						tr	tr	tr								
Yb		.1	.1				.2	.3	tr	tr	tr								
Lu									tr	tr	tr								

TABLEAU XV
 COMPARAISON DES VALEURS DE TERRES RARES PROVENANT
 DE DIFFERENTES CHONDRITES

	KAY-GAST ¹ 1973	FREY-HASKIN ² 1968	NAKAMURA ³ 1974
La	.325	.330	.329
Ce	.798	.88	.865
Nd	.567	.60	.630
Sm	.186	.181	.203
Eu	.0692	.069	.0770
Gd	.255	.249	.276
Dy	.305	0	.343
Er	.209	.200	.225
Yb	.231	.200	.229
Lu	.0349	.034	.0339
Pr		.112	
Tb		.047	
Ho		.70	
Tm		.030	

1- Chondrites ordinaires

2- Chondrites ordinaires

3- Moyenne de 10 chondrites "ordinaires"

de cette manière car les dix-sept autres n'ont que des analyses de terres rares séparées.

Quatre échantillons (801(140-250); 801(260-298); 802(160-240); 804(280-408)) montrent le même patron de différenciation des terres rares, même si l'enrichissement n'est pas le même (Figure 25). La somme La+Ce+Nd est égale à 90.5%, le rapport La/Yb est égal à 50-173 (Tableau XVIII). Ces échantillons représentent des valeurs provenant des zones de concentration de La_2O_3 nos. 1 et 2 (Figure 19). Ils proviennent du noyau proprement dit.

Trois échantillons ne diffèrent pas beaucoup des quatre premiers (804(127-180); 705(314-374)) (Figure 25). La seule différence est un rapport La/Nd plus élevé que ceux du premier groupe. La somme La+Ce+Nd égale 90.5%, le rapport La/Yb est de 150-310 (Tableau XVIII).

Un échantillon (806(12.5-230)) a un comportement intermédiaire aux deux premiers groupes (Figure 25). La somme La-Ce-Nd égale 85% et le rapport La/Yb équivaut à 143 (Tableau XVIII).

L'échantillon 709(253-504) a un patron de différenciation très différent des autres en ce qui concerne la somme des La-Ce-Nd qui égale 89% et un rapport La/Yb de 179. Le rapport La/Gd est très grand, le "La" semble plus bas que les autres échantillons mais le "Gd" est beaucoup plus élevé que les autres (Tableau XVIII). Dans le patron de zonation proposé au paragraphe 1. (Distribution relative des terres rares dans les zones de concentration de La_2O_3), cette grande différence de patron de différenciation peut signifier que le secteur 709 est complètement différent de la zone centrale. Par contre, l'échantillon 705(314-374) a un comportement similaire aux valeurs du secteur central bien qu'il soit considéré à l'extérieur de la zone à terres rares.

Finalement, les échantillons 706 et 708 montrent un très faible enrichissement en terres rares et pour l'échantillon 706, la différenciation des terres rares lourdes est beaucoup plus faible que les autres valeurs. La somme La-Ce-Nd égale 98%, le rapport La/Lu est de 111 (Tableau XVIII).

TABLEAU XVI
DISTRIBUTION DES TERRES RARES DANS ONZE ECHANTILLONS
DE LA ZONE A TERRES RARES DE ST-HONORE

# FORAGE LOCALISATION	801 140-260	801 260-348	802 160-240	802 240-398	804 127-280	804 280-408	806 125-230	705 314-374	706 268-501	708 380-408 258-290 501-507	709 253-504
La ₂ O ₃ %	0.59	0.307	0.98	0.248	0.479	0.38	0.622	0.371	0.022	0.215	0.296
CeO ₂ %	1.13	0.542	1.78	0.942	0.835	0.76	0.986	0.558	0.049	0.355	0.880
Nd ₂ O ₃ %	0.52	0.222	0.77	0.263	0.289	0.36	0.475	0.170	0.028	0.136	0.409
Sm ₂ O ₃ ppm	430	211	500	261	245	--3	493	122	39	111	390
Eu ₂ O ₃ ppm	108	44.9	108	45.8	60.0	121	102	24.8	8.9	25.9	75.1
Gd ₂ O ₃ ppm	<600	217 ^{±170}	<600	<250	<500	180	<1200	<180	≈60	≈265	377 ^{±190}
Dy ₂ O ₃ ppm	45	28	64	38	24	31	49	17	10	27	42
Yb ₂ O ₃ ppm		<17		<50	<30	<60	≤42	<12	<20	<9	<16
Lu ₂ O ₃ ppm	<5	0.43	<5	0.60	≤1	<1	≤0.8	≈0.8	≈1.98	0.75	<0.8
Sc ₂ O ₃ ppm	57	43.9	119	69.8	47.4	54.9	56.6	30.3	37.0	25.8	79.7
Tb ₂ O ₃ ppm	55	10.5	50	10.7	8.4	14.6	20.7	≈6.3	2.3	6.9	13.8
ThO ₂ %	.09	0.031	700	0.042	0.040	0.07	0.101	0.009	0.009	0.013	0.052
Pr ₂ O ₃ %	0.20	0.060	0.20	0.065	0.085	0.07	0.129	0.055	0.006	0.032	0.092
Ho ₂ O ₃ ppm	<200	<25	<200	<200	<210		<400	<400	<5	<25	<70
U ₂ O ₃ ppm		<80		-	-	-	-	-	≈1.2	≈39	≈115
TOTAL:	2.58	1.19	3.87	1.60	1.77	1.72	2.38	1.18	0.12	0.77	1.79

* Analyses par activation neutronique à l'école Polytechnique de Montréal

TABLEAU XVII

VERIFICATION DE LA SOMME DES TERRES RARES MAJEURS (La_2O_3 , CeO_2 , etc.)
PLUS Y_2O_3 ET DE LA SOMME DES TERRES RARES (Tr_2O_3) PLUS Y_2O_3

ECHANTILLON	TERRES RARES MAJEURS+ Y_2O_3 (La_2O_3 , CeO_2 , etc., + Y_2O_3)	TERRES RARES+ Y_2O_3 (Tr_2O_3 + Y_2O_3)
801 (140 à 260)	2.44%	2.58%
801 (260 à 398)	1.19%	1.23%
802 (160 à 240)	3.72%	3.87%
802 (240 à 398)	1.60%	1.51%
804 (127 à 280)	1.77%	1.77%
804 (280 à 408)	1.72%	1.75%
806 (125 à 230)	2.38%	2.39%
706 (268 à 501)	.12%	.13%
708 (tout)	.77%	.81%
705 (314 à 374)	1.18%	1.19%
709 (253 à 504)	1.79%	1.84%

TABLEAU XVIII
 RAPPORTS DE DIFFERENCIATION DES TERRES RARES
 DES ECHANTILLONS DE LA ZONE A TERRES RARES DE ST-HONORE

ECHANTILLON	TERRES RARES (Tr_2O_3 - Y_2O_3)	La-Ce-Nd	La/Lu	La/Yb
801 (140 à 260)	2.58	88%	1,250	---
801 (260 à 398)	1.23	90%	6,842	173
802 (160 à 240)	3.87	91%	1,886	---
802 (240 à 398)	1.51	92%	3,793	50
804 (127 à 280)	1.77	89%	4,545	154
804 (280 à 408)	1.75	91%	3,750	62
806 (12.5 à 230)	2.39	85%	7,571	143
706 (268 à 501)	.13	98%	1,176	111
708	.89	89%	2,727	225
705 (314 à 374)	1.19	92%	4,428	310
709 (253 à 504)	1.84	89%	3,571	179

c) Intreprétation des résultats

L'appendice E. donne une brève description géologique des échantillons analysés par activation neutronique.

Le patron de différenciation des terres rares est utilisé pour étudier la chronologie des injections de roches dans les complexes alcalins (Mitchell et Brunfelt, 1975; Loubet 1972).

Le patron de différenciation des terres rares dans la zone à terres rares de St-Honoré montre un léger enrichissement des terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes. Ces patrons sont caractéristiques des carbonatites les plus jeunes dans une intrusion.

Même si les types de roches sont semblables, le patron d'enrichissement des terres rares de St-Honoré est différent de celui d'Iron Hill (Nash, 1972) qui montre une anomalie négative en "La". L'échantillon 709(254-504) a la même distribution que les rauhaugites sidéritiques d'Iron Hill (Figures 25 et 28).

Le patron d'enrichissement en terres rares légères de l'échantillon 706 ressemble au patron d'enrichissement des terres rares légères des carbonatites de Mbya, Tanganika (Schoefield et Haskin, 1964) (Figures 25 et 27). Celles-ci sont considérées comme des carbonatites de type intrusif.

La zone à terres rares de St-Honoré aurait un patron d'enrichissement semblable à celui de Mountain Pass sauf l'anomalie négative très forte en Samarium (Sm) (Figures 25, 26 et 27).

La différenciation semble plus prononcée dans la zone à terres rares de St-Honoré que dans la majorité des autres carbonatites qui contiennent ou non des dépôts de terres rares (Figure 28), ceci confirme que la zone à terres rares est une phase très jeune du complexe alcalin de St-Honoré.

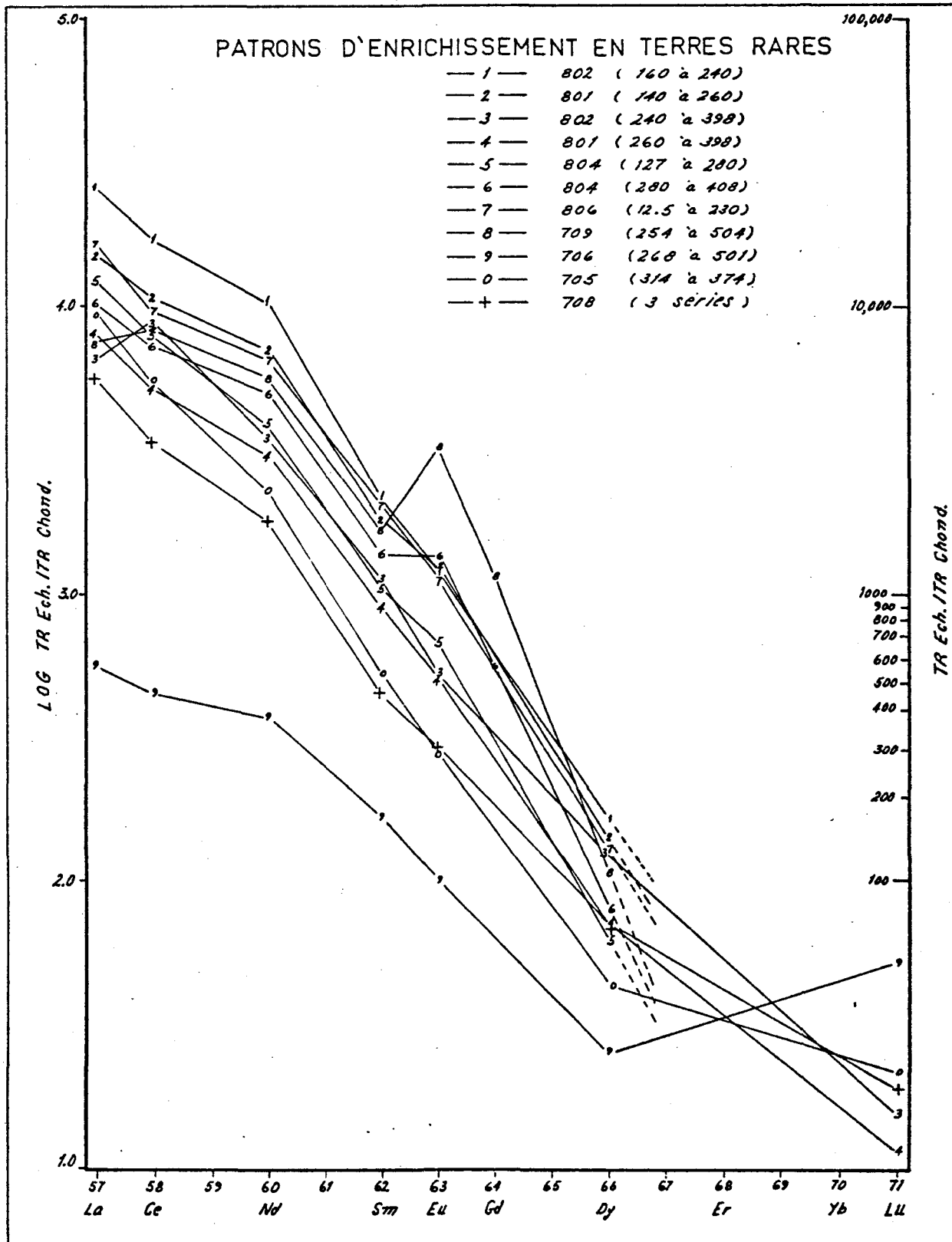
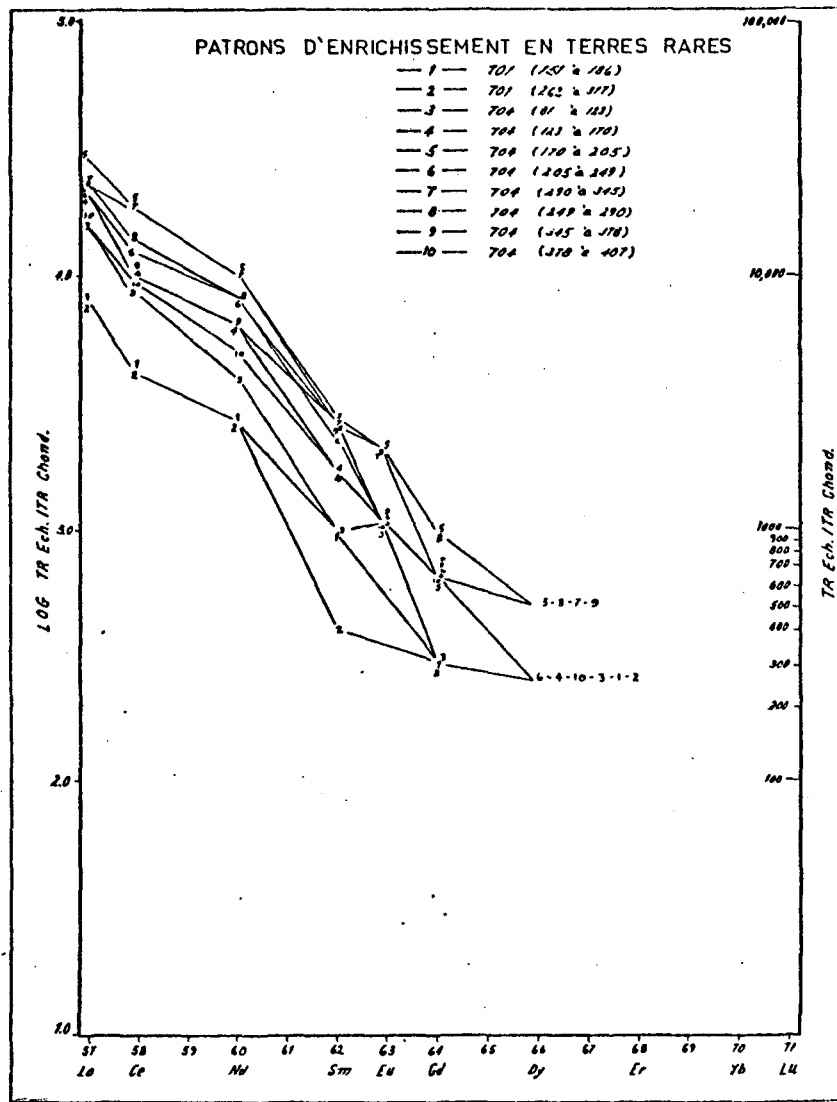
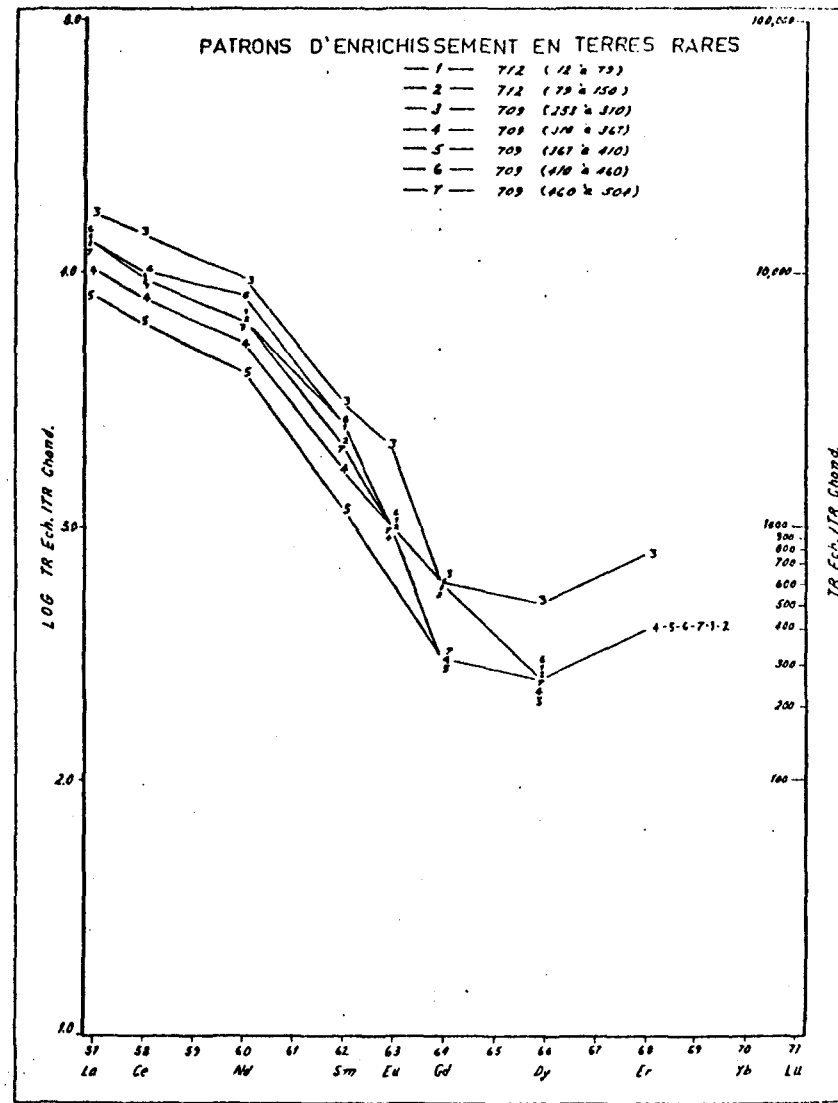


Fig. 25 Patron d'enrichissement en terres rares, normalisé par rapport aux chondrites, de onze échantillons "composite" de la zone à terres rares de St-Honoré. Analyses faites par activation neutronique, Ecole Polytechnique, Montréal.



a)



b)

Fig. 26 a) Patrons d'enrichissement en terres rares, normalisés par rapport aux chondrites de sept échantillons "composite" de la zone à terres rares de St-Honoré. Analyses obtenues par fluorescence-x, X-Ray Laboratories, Toronto.

b) Patrons d'enrichissement en terres rares, normalisés par rapport aux chondrites de dix échantillons "composite" de la zone à terres rares de St-Honoré. Analyses obtenues par fluorescence-x, X-Ray Laboratories, Toronto.

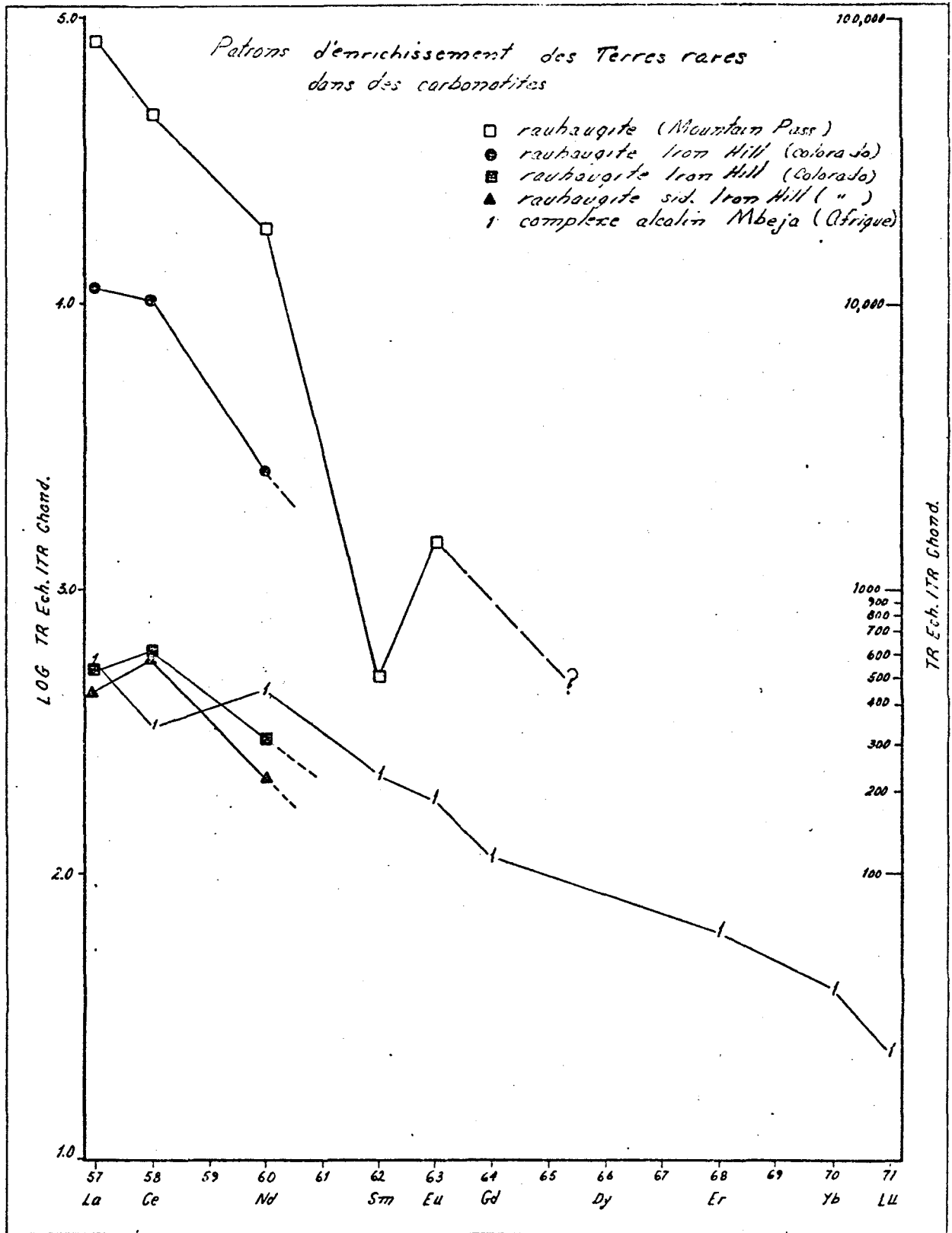


Fig. 27 Patterns d'enrichissement en terres rares, normalisés par rapport aux chondrites, de différents complexes de carbonatites du monde (Californie, Colorado, Afrique).

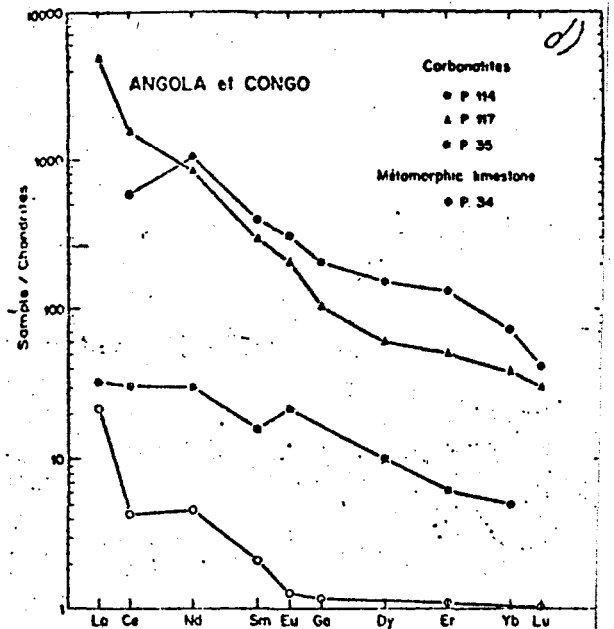
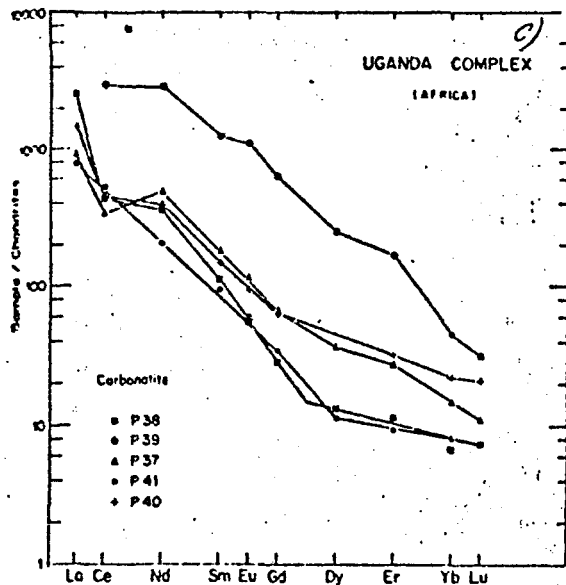
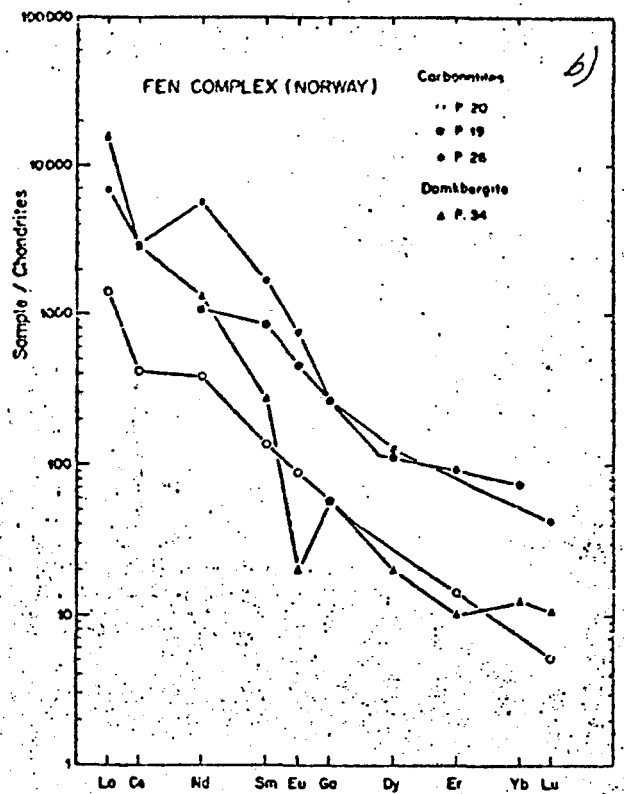
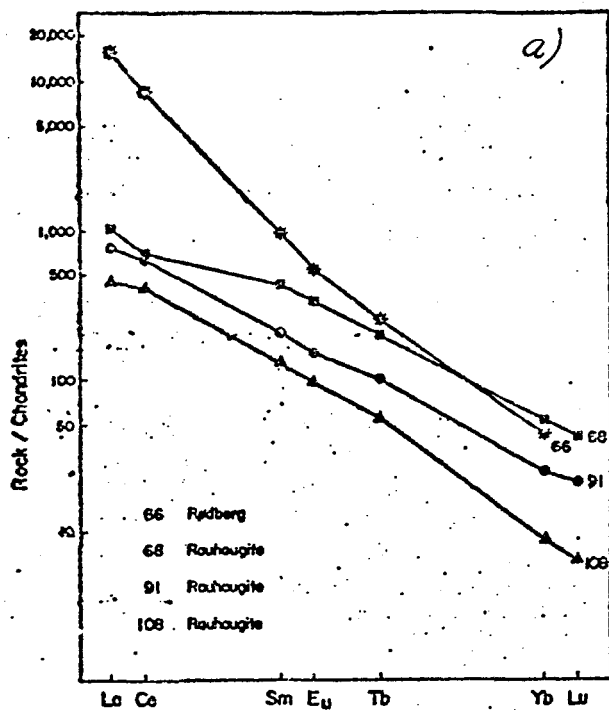


Fig. 28 Patrons d'enrichissement en terres rares, normalisés par rapport aux chondrites: a) Rauhaugite et Rodberg de Fen, Norvège (Mitchell et al.); b) Rauhaugite et Rodberg de Fen, Norvège (Loubet et al., 1972); c) Carbonatites d'Uganda (Loubet, 1972); d) Carbonatites d'Angola et du Congo (Loubet et al., 1972)

Reconstitution minéralogique

La carbonatite de la zone de terres rares de St-Honoré est très enrichie en minéraux riches en eau et le calcul de la norme CIPW donne une minéralogie qui n'est pas représentative de la roche.

En tenant compte de la minéralogie établie au chapitre III, nous avons calculé une minéralogie virtuelle à partir des analyses chimiques des éléments majeurs et mineurs (Tableau XIX). Les résultats de la reconstitution sont résumés sur le tableau XX.

1. Discussion des résultats

Le principal carbonate est une dolomite ferrifère (généralement > 35%). Le pourcentage de calcite varie de 7 à 17%; il peut se rendre jusqu'à 31%. La sidérose est rare et elle est présente dans trois échantillons seulement ($\leq 7\%$). Le pourcentage de rhodocrosite varierait de 1.9 à 3.15%.

La chlorite est une composante majeure et sa quantité dans chaque échantillon dépasse 5%. L'augite est en quantité mineure dans les échantillons situés en périphérie de la zone à terres rares. L'apatite est en très faible quantité ($\leq 3.2\%$) dans la zone à terres rares. Il y a du quartz dans des proportions inférieures à 3%. La quantité de pyrite est plus importante dans la zone à terres rares (1.7-4.3%) qu'à l'extérieur (.03-1.42%). Le pyrochlore est en très faible quantité (.14-.34%) de même que la barytine (.04-.34%). La quantité d'hématite est importante mais elle semble diminuer avec la profondeur. Le pourcentage de sphalérite et d'ilménite est plus élevé dans la zone à terres rares qu'à l'extérieur. Un échantillon contiendrait du grenat (2.4%).

La bastnaesite a un pourcentage élevé dans les échantillons de la zone à terres rares 1.53% à 5% et elle est accompagnée de monazite (.67 à 1.80%).

2. Conclusion de la reconstitution minéralogique

Nous pouvons supposer que la reconstitution minéralogique à partir d'analyses chimiques est valable pour les minéraux suivants:

-Le contenu en fluorine se situe autour de .30%, cependant, les faibles teneurs en F pourraient être contenues dans l'apatite.

TABLEAU XIX
ELEMENTS MAJEURS ET MINEURS DES ECHANTILLONS ANALYSES
POUR LES TERRES RARES PAR ACTIVATION NEUTRONIQUE

# FORAGE LOCALISATION	801 140-260	801 260-348	802 160-240	802 240-398	804 127-280	804 280-408	806 125-230	705 314-374	706 268-501	708 380-408 258-290 501-507	709 253-504
SiO ₂	3.91	2.63	4.22	5.42	2.32	2.52	4.85	5.48	1.15	7.45	14.90
TiO ₂	0.40	0.67	0.29	0.22	0.18	0.37	0.60	0.30	0.02	0.08	0.48
Al ₂ O ₃	1.51	1.80	.90	1.20	1.05	1.10	1.75	2.15	0.30	2.36	4.95
CaO	26.41	29.10	19.20	24.20	26.60	31.20	24.45	26.55	30.60	25.25	15.90
K ₂ O	0.07	0.01	0.17	0.11	0.14	0.02	0.025	0.49	0.02	1.35	1.44
MgO	11.80	14.10	8.45	12.35	13.40	9.26	12.20	19.10	17.80	14.25	7.60
(Fe(T))	(8.45)	(5.70)	(21.80)	(10.22)	(7.10)	(8.50)	(9.42)	(5.20)	(2.75)	(5.40)	(14.75)
FeO	8.60	5.40	13.47	9.46	7.40	7.98	9.07	4.82	3.41	5.87	12.63
Fe ₂ O ₃	2.56	2.14	16.18	4.09	1.92	3.25	3.38	2.07	0.14	1.19	7.05
H ₂ O+	1.32	0.53	1.53	1.33	0.64	0.57	1.87	0.24	.01	0.14	3.17
H ₂ O-	0.12	0.03	0.17	0.01	0.04	0.05	0.06	0.01	.01	0.02	0.05
S	1.76	1.99	2.40	1.17	0.99	1.82	1.44	0.94	0.31	0.80	1.34
P ₂ O ₅	1.10	1.52	0.16	0.20	0.37	0.26	0.54	1.77	1.34	2.19	0.28
CO ₂	35.37	37.27	26.97	36.37	39.80	37.85	35.15	30.65	42.85	36.12	26.88
Na ₂ O	0.043	0.050	0.056	0.045	0.057	0.03	0.046	0.065	0.069	0.202	0.075
T.R.	2.44	1.19	3.72	1.60	1.77	1.72	2.38	1.18	0.12	0.77	1.79
MnO	1.71	1.460	1.35	2.011	1.712	1.30	1.869	1.310	1.116	1.357	1.089
Nb ₂ O ₅	0.162	0.154	0.161	0.136	0.125	0.09	0.183	0.120	0.167	0.084	0.128
SrO	0.214	0.330	0.122	0.195	0.320	0.20	0.180	0.560	0.800	0.570	0.150
F	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
TOTAL	100.05%	100.27%	99.92%	100.43%	100.15%	99.85%	100.35%	98.18%	100.38%	100.4%	100.18%

TABLEAU XX
RECONSTITUTION MINÉRALOGIQUE

	804 121-180	804 280-408	806 12-230	801 140-260	801 260-398	802 160-240	802 240-398	709 253-504	706 468-501	705 314-374	708
Dolomite ankéritique	67.62	46.78	52.33	55.	73.94	35.11	56.61	---	80.45	63.57	58.83
Calcite	11.82	33.35	16.23	17.71	4.41	15.65	13.65	31.02	8.92		7.75
Sidérose	1.56	1.11	.70	1.43		5.50	5.43	7.11	3.11		1.39
Rhodocrosite	2.90	2.19	3.15	2.9	2.47	2.29	3.41	1.83	1.89	2.22	2.30
Chlorite	5.45	5.09	16.96	11.9	4.82	12.3	11.82	24.05	.09	.79	---
Phlogopite	1.35	.10	.16	.6		.7	1.04	14.76		4.99	13.51
Augite	---							2.00			3.06
Apatite	.43		.12	1.33	3.2	.38		.07	3.10	4.12	5.07
Quartz	3.73	1.04	.12	.10	.34	.15	1.70	1.32			---
Bastnaesite	1.78	1.53	1.76	1.88	1.73	5.	1.54	1.64	.03	1.42	.84
Pyrite	1.77	3.30	2.47	3.15	3.64	4.34	2.11	2.51	.53	1.70	1.45
Pyrochlore	.21	.16	.31	.32	.25	.27	.23	.21	.28	.20	.14
Hématite	.79		1.44	.60		6.24	2.56	3.73			
Limonite								.46			
Magnétite		2.60			1.60	10.87		---			
Sphalérite	.10	.19	.36	.20	.19	.22	.09	.20	.07	.07	.02
Pyrrhotine											
Ilménite	.34	.72	1.16	.76	.52	.51	.42	.96	.02	.58	.16
Barytine	.13	.04	.07	.14		.34	.08	.04	.06	.08	.14
Strontianite	.49	.31	.28	.33	.51	.17	.30	.23	1.23	.86	.88
Nepheline	.28	.16	.21	.25					.40	.32	1.16
Fluorine	.38	.23	.35				.42		.06	.21	.13
Monazite	.67	.90	1.68	1.80			.69	.87	.15		.22
Pyrolusite					2.40						
Grenat (?)											
Total %	101.20 %	99.80%	99.80%	100.40%	100.56%	100.04%	102.10%	93.01%	100.39%	81.11%	97.05%

-Le contenu en strontianite varie autour de .3%, celui de l'ilménite autour de .5-.75%. Le contenu en pyrite varie entre 2 et 4%.

Les minéraux suivants présentent des résultats discutables:

- Le pourcentage de chlorite est juste (5 à 24%) en autant que tout l' H_2O sert à sa formation.
- Le pourcentage de néphéline est juste en autant que Na_2O ne sert à former que celle-ci.
- La monazite n'est probablement pas présente en aussi grande quantité que ne l'indique l'interprétation minéralogique. Le thorium est peut-être contenu dans quelques autres minéraux (goethite, pyrochlore, ...). Cette diminution de monazite aura pour conséquence d'augmenter la concentration de bastnaesite ou autres fluorocarbonates. De même le pourcentage d'apatite augmentera légèrement avec cette diminution de la monazite.
- L'absence d'augite peut être anormale mais le fait de pouvoir distribuer tous les éléments de façon logique et possible donne crédit à cette absence. Cependant, les échantillons 709 et 706 en contiennent plus que sur le tableau; quelques éléments chimiques manquent cependant à la formation de celle-ci.
- La rhodocrosite peut être de la pyrolusite et par le fait même il y aura plus de sidérose formée ou de C (antraxolite) s'il y a manque de Fe (t).
- La répartition des carbonates est très aléatoires car il n'y a aucune analyse chimique des carbonates. Le fait d'avoir pris pour base une dolomite ankéritique, ceci explique le peu de sidérose formée comparativement à la teneur en FeO.

Diagrammes de corrélation des éléments chimiques majeurs, mineurs et traces par rapport aux terres rares.

Plusieurs éléments majeurs, mineurs et traces varient en fonction de la teneur en Tr_2O_3 .

1. Comportement des éléments chimiques par rapport aux terres rares.

L'étude des courbes de corrélation démontre que le MnO (Figure 29a), $H_2O^{(1)}$, le TiO_2 , le ThO_2 (Figures 30c et 30d) et le FeO (Figure 31) ont une

(1) H_2O^{+105}

nette corrélation positive avec les valeurs de Tr_2O_3 . L' Al_2O_3 , le MgO , le CaO , le CO_2 (Figures 29a, 29b, 29c et 29d), le P_2O_5 (Figure 30a) ont une nette corrélation négative avec les valeurs de Tr_2O_3 . Le SrO a une corrélation négative douteuse (Figure 30b).

Un autre mode de représentations des éléments chimiques majeurs, mineurs et traces (Figure 32) montre que les courbes de $\text{H}_2\text{O}^{+105}$, Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO , SiO_2 , Zn et Cr suivent la courbe des Tr_2O_3 . Les courbes de CaO , Al_2O_3 , FeO et MgO varient de façon contraire à la courbe de Tr_2O_3 (Figure 32).

La teneur des éléments suivants est légèrement supérieure (.2-.4%) dans la zone à terres rares qu'à l'extérieur: MgO , K_2O , TiO_2 , Zn (Figure 32). Les éléments suivants subissent une forte augmentation (.4-1.0%) dans la zone à terres rares: Tr_2O_3 , S , H_2O^+ . Le SrO subit un appauvrissement dans la zone à terres rares; le Na_2O et le F restent stables ou varient aléatoirement.

De plus, le SiO_2 et le MnO semblent coïncider et le CaO , le MgO et le FeO varient de façon similaire.

Au niveau des éléments traces (Tableau XXI), la zone à terres rares est sujette à un enrichissement majeur en Mo , Cr (20-100 ppm) ainsi qu'un léger enrichissement en Cu , Ni , Pb et V (Figure 32).

2. Interprétation du comportement des éléments chimiques majeurs, mineurs et traces.

Les relations géochimiques sont significatives.

L'augmentation proportionnelle de H_2O^+ avec le Tr_2O_3 montre l'association probable entre le chlorite et les minéraux des terres rares car c'est le seul minéral qui contient un fort pourcentage d'eau.

L'enrichissement proportionnelle de ThO_2 par rapport aux Tr_2O_3 peut signifier une augmentation du pourcentage de monazite. Cependant, le pourcentage de monazite formé par le ThO_2 et les observations minéralogiques ne coïncident pas, alors le ThO_2 doit se trouver à l'intérieur de d'autres minéraux tels que la goethite, la bastnaesite et même les carbonates.

L'augmentation de FeO et Fe_2O_3 proportionnellement aux terres rares

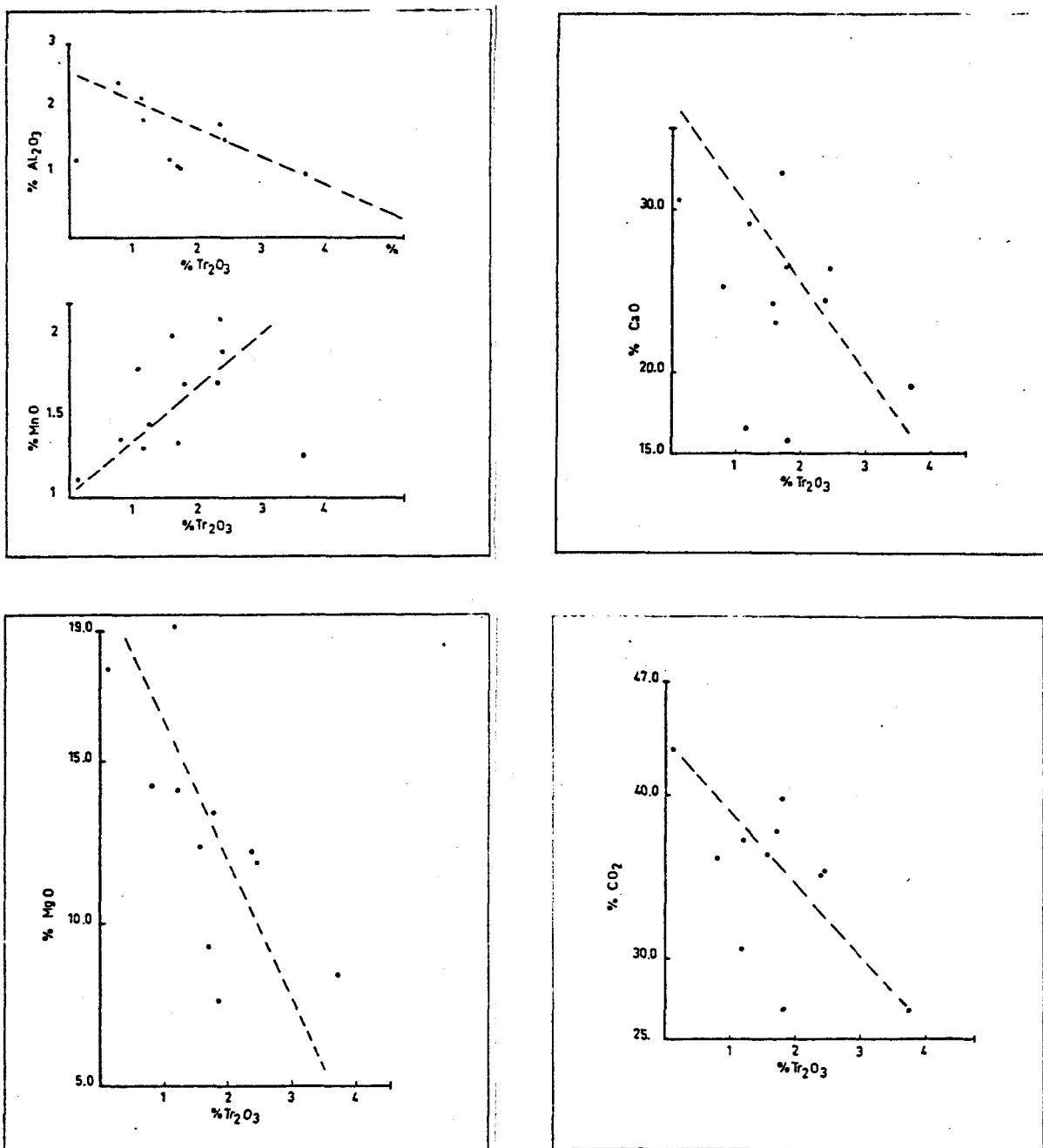


Fig. 29 Diagrammes de corrélation d'éléments chimiques par rapport aux terres rares.

- a) Corrélation Al_2O_3 - Tr_2O_3 et MnO - Tr_2O_3
- b) Corrélation CaO - Tr_2O_3
- c) Corrélation MgO - Tr_2O_3
- d) Corrélation CO_2 - Tr_2O_3

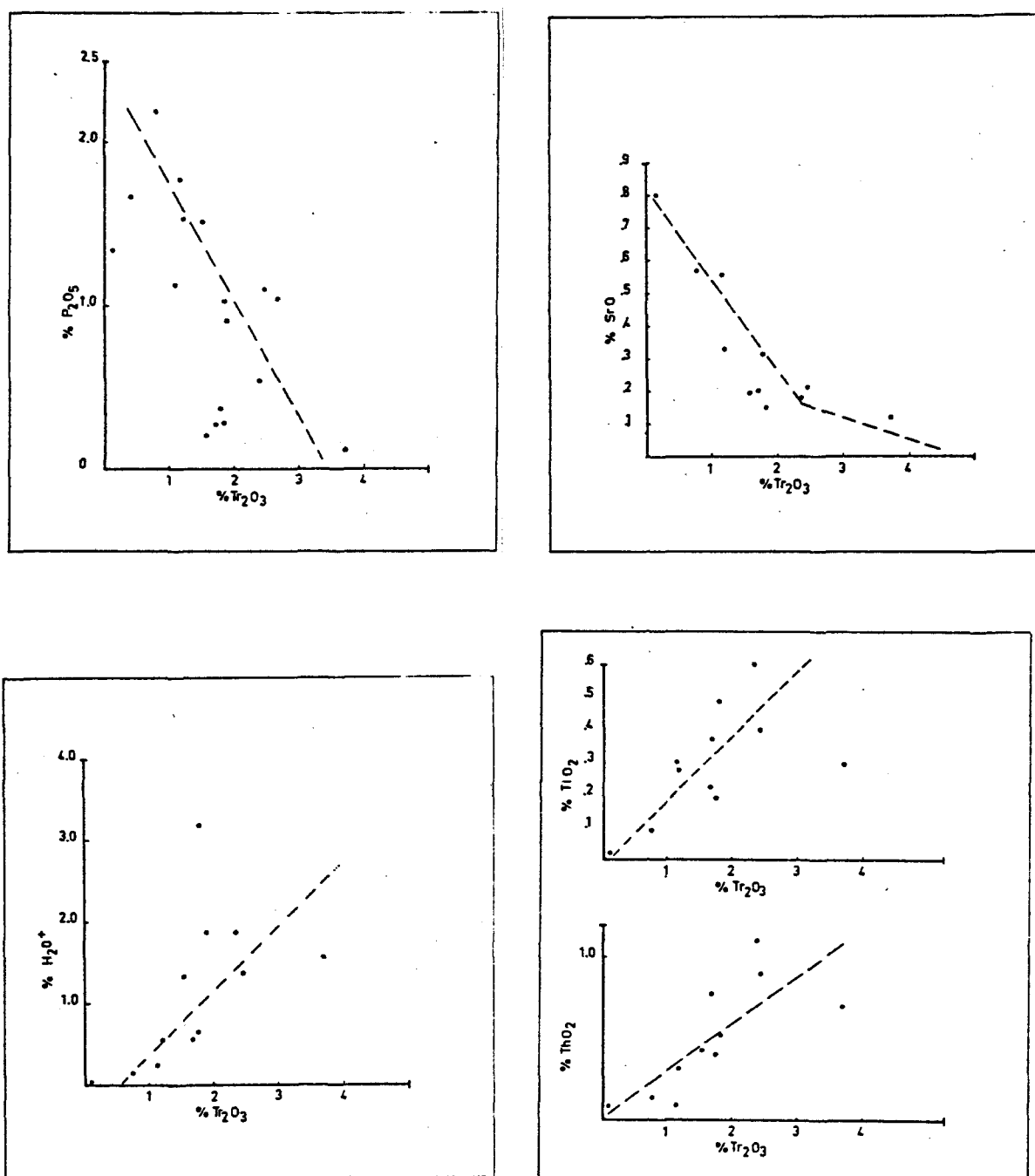


Fig. 30 Diagrammes de corrélation d'éléments chimiques par rapport aux terres rares

- Corrélation P_2O_5 - Tr_2O_3
- Corrélation SrO - Tr_2O_3
- Corrélation H_2O^+ - Tr_2O_3
- Corrélation ThO_2 - Tr_2O_3 et TiO_2 - Tr_2O_3

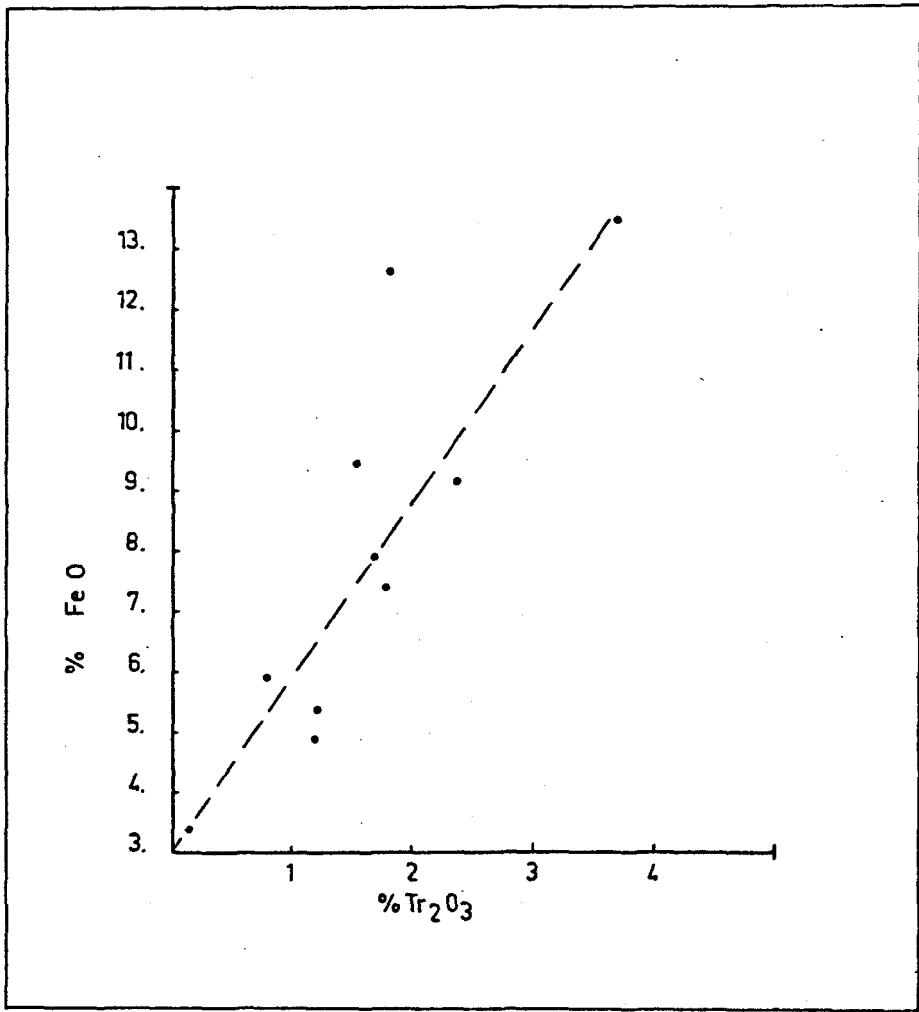
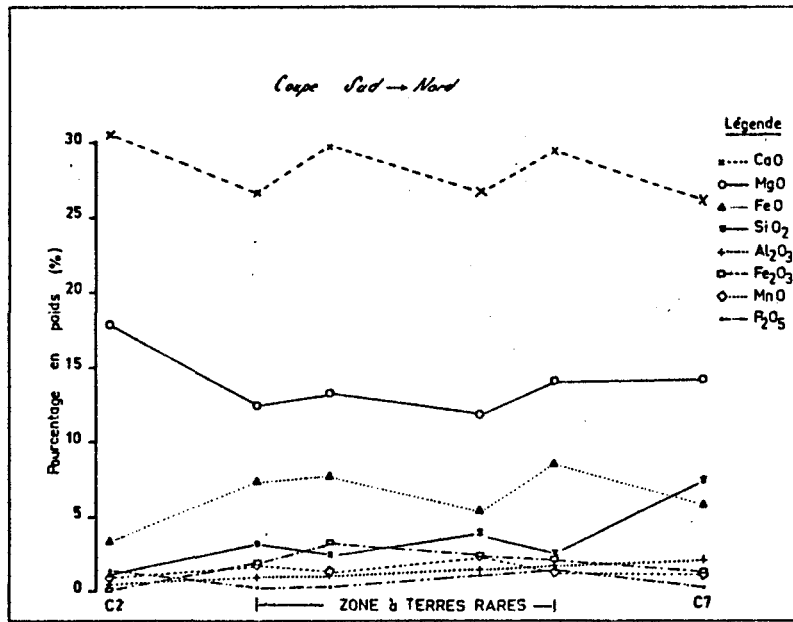


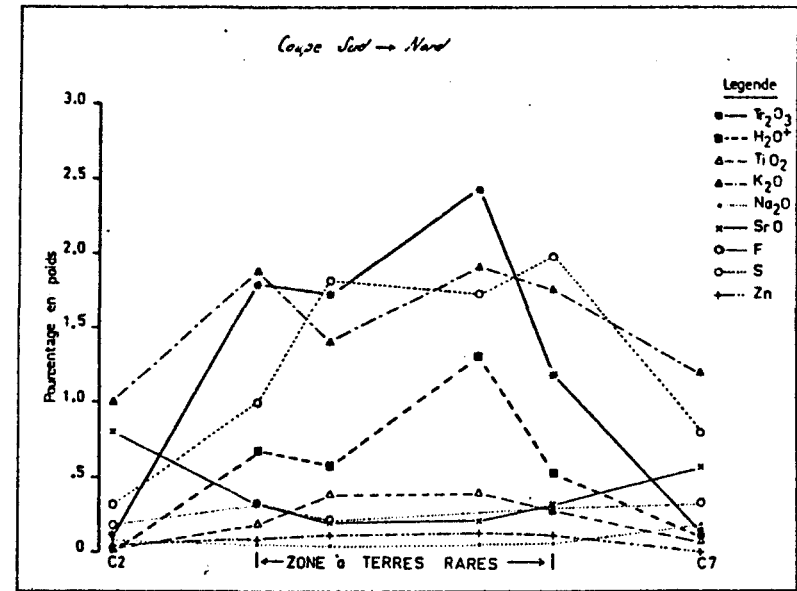
Fig. 31 Diagramme de corrélation entre FeO et Tr₂O₃

TABLEAU XXI
ELEMENTS TRACES DES ECHANTILLONS ANALYSES
POUR LES TERRES RARES PAR ACTIVATION NEUTRONIQUE

# FORAGE LOCALISATION	801 140-260	801 260-348	802 160-240	802 240-398	804 127-280	804 280-408	E S 806 12.5-230	705 314-374	706 268-501	708 380-408 258-290 501-507	709 253-504
Cu (ppm)	18	20	20	12	10	22	13	10	7	8	11
Ni (ppm)	60	64	50	58	60	65	65	46	45	39	44
Pb (ppm)	113	65	127	78	74	126	124	48	100	44	78
Cr (ppm)	60	50	60	30	50	8	51	20	<2	4	24
Zn (ppm)	1200	1125	1300	555	607	1129	2097	435	441	102	1207
Mo (ppm)	64	51	83	93	115	123	93	23	12	20	116
V (ppm)	78	68	90	65	57	64	76	44	38	43	70
Rb (ppm)	1	1	1	3	1	<1	1	4	2	1	14
Er (ppm)	900		2200	470	720	210	390	460	350	830	250



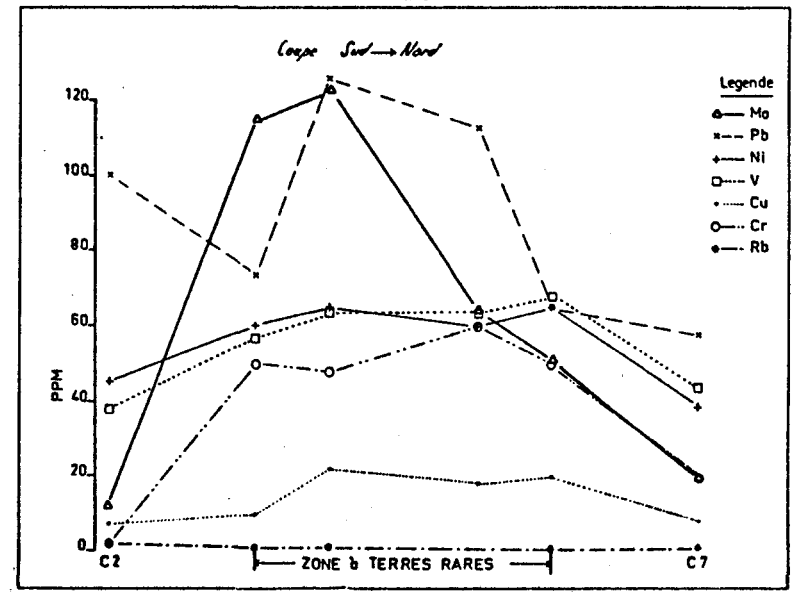
a)



b)

Fig. 32 Coupe schématique sud-nord à travers la zone à terres rares montrant le comportement des:

- a) éléments majeurs (CaO, MgO, FeO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, P₂O₅)
- b) éléments mineurs (Tr₂O₃, H₂O⁺, TiO₂, K₂O, Na₂O, SrO, F, S, Zn).
- c) éléments traces (Mo, Pb, Ni, V, Cu, Cr, V).



c)

montre que l'enrichissement en terres rares est accompagné par une augmentation de minéraux ferrifères: chlorite, ankérite, sidérose, magnétite et hématite. Les observations minéralogiques confirment cette relation géochimique.

L'augmentation du MnO avec les terres rares peut signifier une augmentation de minéraux manganifères (rhodocrosite, pyrolusite), ce qui est commun dans les derniers stages des carbonatites (Heinrich, 1966). Cependant, le MnO peut être inclu dans la dolomite ou dans un autre minéral car les observations minéralogiques n'indiquent ni de rhodocrosite, ni de pyrolusite.

L'augmentation de S dans la zone à terres rares ainsi que l'augmentation de Fe (t), Zn, Ni, Cu, Mo signifie une élévation du pourcentage du sulfures de Fe (pyrite, pyrrhotine, chalcoppyrite, sphalérite, molybdénite). Les observations minéralogique confirment la présence de pyrite, pyrrhotine et de sphalérite et Sergerie (1975) a observé la chalcoppyrite et la molybdénite.

Les diminutions du pourcentage de SrO et de P_2O_5 dans la zone à terres rares signifient une baisse de strontianite, de barytine et d'apatite.

La corrélation négative de CaO, MgO et CO_2 avec les valeurs de Tr_2O_3 signifie possiblement une baisse de carbonates au profit d'un enrichissement en chlorite.

L'appauvrissement en Al_2O_3 avec les terres rares résulte probablement d'une diminution de pyroxène, de feldspaths ou de néphéline.

Il peut être intéressant de constater que nos caractéristiques chimiques observent très bien la règle citée par Vlasof (1962) où les terres rares peuvent être corréllées de façon positive avec les alcalins, le Fe^{3+} , F, Si et de façon négative avec le Mg, Ca et Fe^{2+} . La seule anomalie est la corrélation positive des terres rares avec le Fe^{2+} .

Chapitre VI

ORIGINE DE LA CARBONATITE DE LA ZONE A TERRES RARES DE ST-HONORE ET MODELE D'ORIGINE DE LA MINERALISATION DES TERRES RARES

L'intégration de toutes les observations minéralogiques, pétrographiques (mégascopiques et microscopiques) et géochimiques nous permet d'émettre une hypothèse d'origine pour la carbonatite de la zone à terres rares ainsi qu'un modèle d'origine de la minéralisation de terres rares. De plus, nous pouvons comparer le dépôt de terres rares de St-Honoré à d'autres dépôts de terres rares, économiques ou non.

Bien sûr, l'hypothèse d'origine proposée est sans doute incomplète, mais elle tient compte de toutes les données disponibles sur le complexe alcalin de St-Honoré ainsi que des différents travaux effectués sur d'autres carbonatites et d'autres dépôts de terres rares.

Origine de la carbonatite de la zone à terres rares de St-Honoré

Fortin (1977, p. 197) suggère l'ordre de mise en place suivant pour la formation de la carbonatite de St-Honoré: 1-Sôvite (calcite) -- rauhaugite (dolomite) des zones économiques en Nb_2O_5 et les rauhaugites à faible teneur en Nb_2O_5 et Tr_2O_3 -- rauhaugite de la partie centrale -- dykes de carbonatite ankéritique (trou # 709) -- carbonates à terres rares dans des cavités des

rauhaugites à basse teneur en Tr_2O_3 -- les minéraux d'origine hydrothermales (calcite, barytine, quartz, fluorine) fréquemment en remplissage des veinules et cavités de la roche.

Les carbonatites qui possèdent de fortes concentrations de terres rares montrent des séquences d'intrusion très variées, dont quelques-unes sont indiquées au tableau XXII.

A St-Honoré, nous pouvons interpréter le coeur du complexe de carbonatite comme une injection tardive de dolomitite et de dolomitite ankéritique.

De ce magma carbonaté ont d'abord cristallisé de l'apatite suivies de carbonates qui montrent divers phénomènes d'intercroissance de leur cristallisation. Des tensions provoquées par le refroidissement de cette masse ignée ont créé des fractures subverticales et une bréchification du noyau central.

Dans ces ouvertures se sont injectées et infiltrées des magmas de carbonatite de composition sidéritique et ankéritique. Ces injections ont pu entraîner des fragments de carbonatite fraîche de l'encaissant et ont créé une matrice de carbonatite ankéritique avec des fragments de carbonatite fraîche. Des feldspaths potassiques, frais ou altérés par les carbonates, ainsi que du quartz accompagnent ces injections.

Des infiltrations interstitielles de carbonatite à MnO et Tr_2O_3 suivirent de près les injections ferrifères. Ce phénomène d'association des minéraux à terres rares aux injections manganifères a déjà été observé à Chilwa Island (Garson et Schmidt, 1958).

La présence de bastnaesite et de monazite indique que la température de ces intrusions se situe autour de 300°C ($250\text{--}350^\circ\text{C}$) (Balashov et Pozharitzkaya, 1968).

Il y a quelques exemples où la bastnaesite est associée à des veines tardives d'hématite et/ou de sidérose.

Des "ring dykes" ou des bandes de magnétite à texture fluidale ou massive se sont infiltrées par certaines ouvertures dans les zones de faiblesses du noyau central. Cependant, la magnétite peut aussi provenir du remplacement des carbonates de fer par celle-ci.

Un premier stade d'infiltration de solutions hydrothermales riches en

TABLEAU XXII

SEQUENCES D'INTRUSION DE CARBONATITE QUI POSSEDENT DES DEPOTS DE TERRES RARES

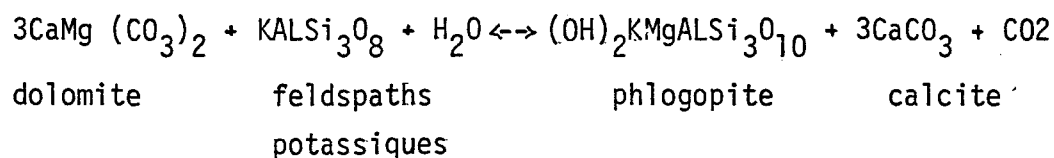
MOUNTAIN PASS CALIFORNIE	RAVALLI COUNTY IDAHO	CHILWA ISLAND NYASALAND
<ol style="list-style-type: none"> 1. Rauhaugite ferrifère 2. Sovite à bastnaesite et barytine 3. Sovite à quartz 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rauhaugite 2. Sovite avec barytine et monazite 3. Sovite et carbonates à terres rares 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sovite 2. Rauhaugite ankéritique 3. Rauhaugite sidéritique 4. Carbonatite à MnO 5. Carbonatite à Tr_2O_3
TUNDULU NYASALAND	LEMHI PASS IDAHO	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Sovite 2. Carbonatite ankéritique 3. Carbonatite à Tr_2O_3 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calcite 2. Dolomie 3. Ankérite 4. Sidérose 	

H_2O^+ , F, Tr_2O_3 , Fe, C ou CO_2 , ThO_2 , Zn, S, Ti a permis le développement de carbonatite à chlorite. La chlorite est accompagnée de la bastnaesite, de la monazite, du quartz, de la sphalérite, du pyrochlore (?) et de l'antraxolite. Il y a aussi formation d'hématite aux dépens de la magnétite ainsi que quelques carbonates sidéritiques. Ces solutions hydrothermales ne se présentent pas très longtemps après la mise en place des carbonatites car le patron d'enrichissement en terres rares est similaire à plusieurs complexes où l'enrichissement est syngénétique.

Un second stade hydrothermal avec des solutions riches en Ba, Fe, Zn, SO_4 a occasionné la formation de pyrite, de pyrrhotine ou de barytine. Des veinules de calcite ($CaCO_3$) seraient les dernières veinules.

La formation de la carbonatite de la zone à terres rares est résumée sur la figure 33. Le chemin principal que ces injections de carbonatites et de solutions hydrothermales ont emprunté est la partie plus ou moins centrale de la zone à terres rares soit la région des trous numéros 803 et 704.

La phlogopite peut provenir d'une injection de carbonatite à phlogopite située près du centre de la zone à terres rares. Elle peut aussi être reliée à une réaction du type:



(Deer, Howie et Zussman, 1967, V3, p. 51).

Ce type de phlogopite correspond aux cristaux que nous retrouvons autour des feldspaths potassiques au contact des carbonates dolomitiques.

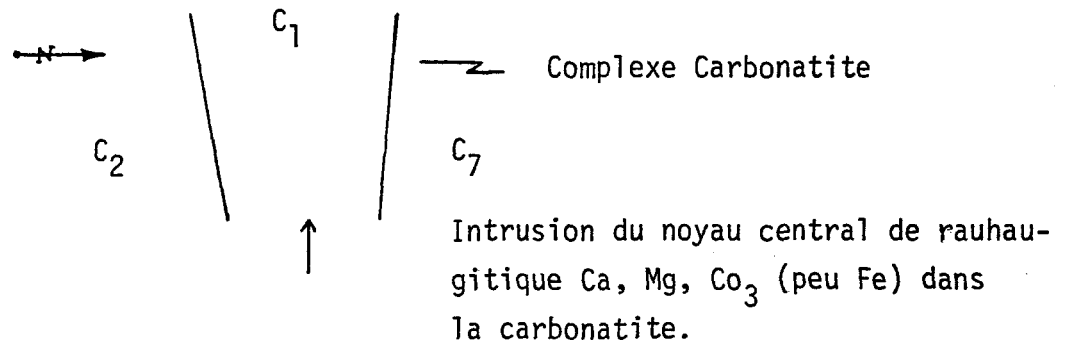
La phlogopite est souvent altérée en chlorite et cette chlorite devient elle-même opaque et le rutile est le minéral opaque provenant de l'altération de la phlogopite (Deer, Howie et Zussman, 1967, V5, p. 38).

Le dernier phénomène géologique qui a touché la carbonatite est une altération deutéritique. Cette altération s'est manifestée par la circulation d' H_2O^+ pouvant former surtout de l'hématite et de la chlorite. Ce phénomène affecte surtout les roches de surface mais il peut s'infiltrer profondément le long des fractures.

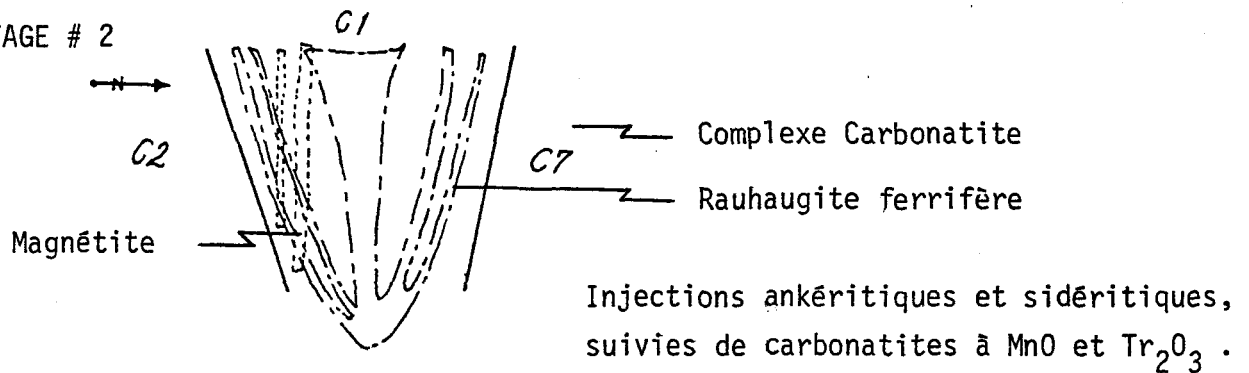
Nous sommes certains que la carbonatite de la zone à terres rares est une phase jeune du complexe de carbonatite si nous nous basons sur les valeurs

ORIGINE DU DEPOT DE TERRES RARES
DE ST-HONORE

STAGE # 1



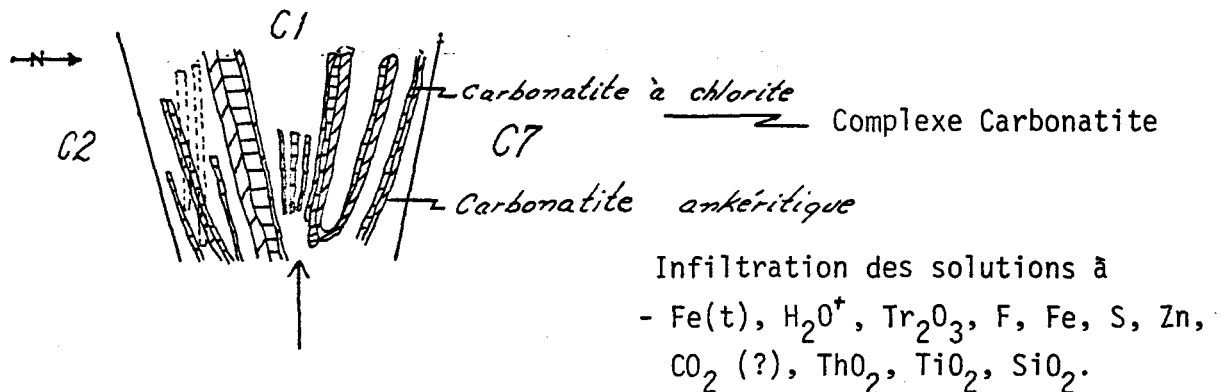
STAGE # 2



- Le quartz et les feldspaths potassiques accompagnent ces intrusions.
- De plus les injections de carbonatites à MnO et Tr_2O_3 suivirent ces injections ankéritiques et sidéritiques.
- Ces intrusions sont accompagnées d'intrusions plus tardives de magnétite et de carbonate.

STAGE # 3

- Stage hydrothermal I.



STAGE # 4

Stage hydrothermal II où il y a formation des veinules de pyrite, sphalérite et barytine.

STAGE # 5

Finalement, un stage final d'altération deutéritique qui s'est manifesté par la circulation d' H_2O pouvant former de l'hématite et/ou de la chlorite en petits filonnets interstitiels. Possiblement que quelques grains de bastnaesite se sont formés de cette manière.

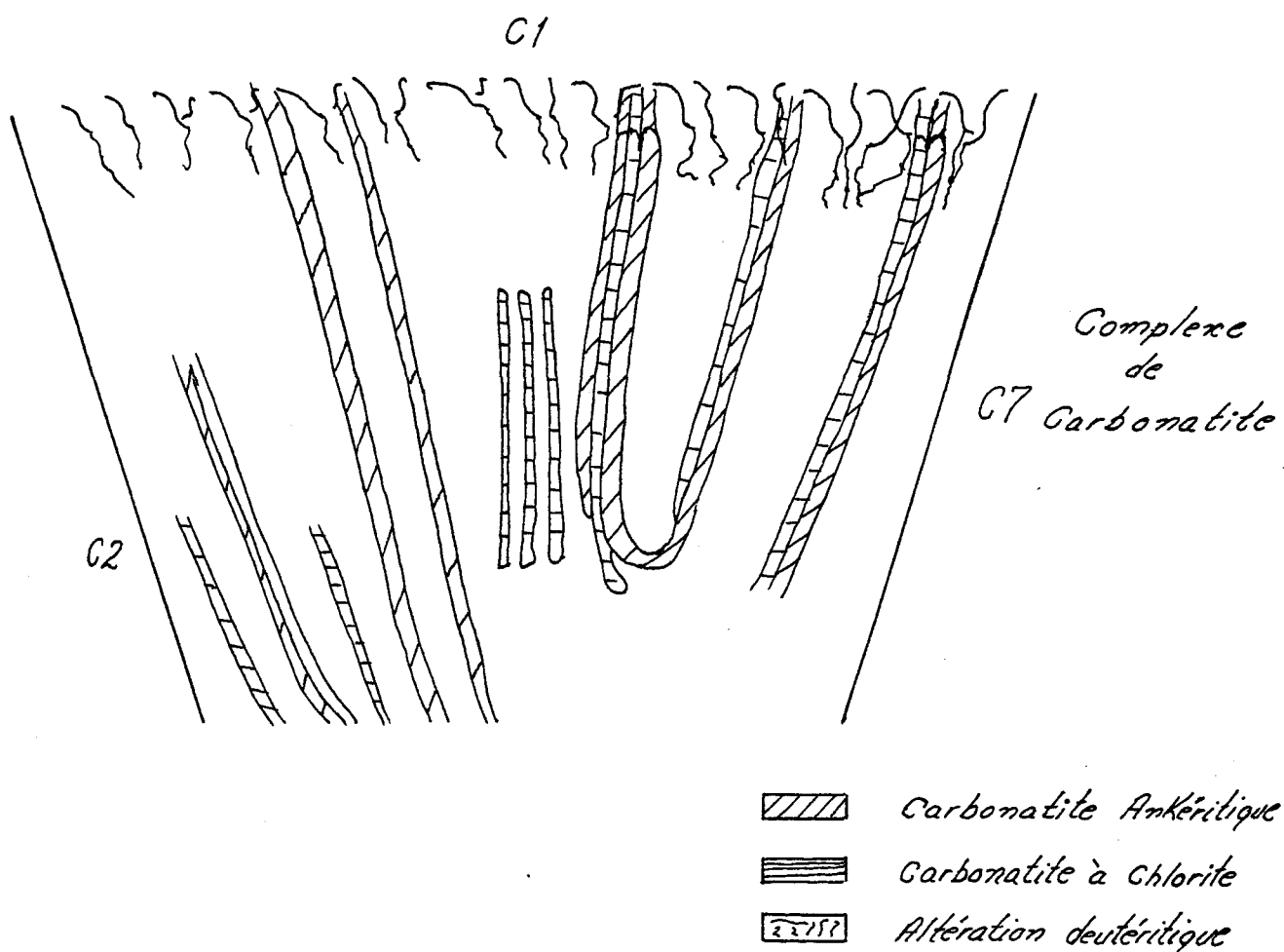


Fig. 33 Origine du dépôt de terres rares de St-Honoré (C1 = carbonatite à terres rares, C2-C7 = dolomitites stériles en terres rares).

en MnO et Tr_2O_3 (Heinrich, 1966, p. 236).

Modèle d'origine de la minéralisation de terres rares

Il est reconnu que la bastnaesite et la monazite sont les deux minéraux à terres rares principaux. Les patrons d'enrichissement des terres rares montrant une nette différenciation des terres rares lourdes par rapport aux terres rares légères indiquent que ces minéraux sont propres au cycle final d'injection de carbonatites (Kapustin, 1966).

Nous mentionnions, au paragraphe précédent, l'association des Tr_2O_3 avec le MnO lors d'infiltrations tardives avec des injections majeures de carbonatites ferrifères. Balashov et Pozharitzkaya, (1968) ont démontré que la cristallisation de fluorocarbonates à terres rares est favorisée lorsqu'il y a une baisse de température et que le calcium, par le fait même, devient plus soluble.

Les minéraux contenant des proportions importantes de Ca tels que la calcite et l'apatite sont alors remplacés par d'autres carbonates comme l'ankérite et la dolomite. Ces deux derniers captent mal les terres rares comparé à la calcite et l'apatite. Alors, les terres rares s'associent eux-mêmes avec le CO_2 et le F pour former des fluorocarbonates. Cependant, ce processus entraînent une nette différenciation des terres rares et les terres rares lourdes demeurent avec la calcite et l'apatite qui n'auront pas été remplacés.

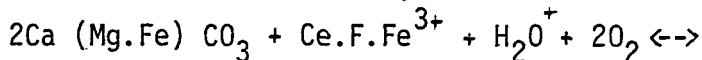
Etant donné notre minéralogie qui est déficiente en calcite et apatite comparativement aux autres carbonatites du complexe, étant donné la prédominance de dolomite et d'ankérite et étant donné le pourcentage élevé de bastnaesite, nous soupçonnons que ce phénomène puisse intervenir à St-Honoré et notre température, après les injections, se situeraient donc autour de $300^{\circ}C$ (Balashov et Pozharitzkaya, 1968).

Même si la bastnaesite fut le seul fluorocarbonate identifié positivement il est reconnu que les fluorocarbonates sont souvent en intercroissance et très difficile à identifier séparément (Cheang, 1977, Garson, 1958). Alors à St-Honoré, nous pouvons très bien avoir la synchisite ($Ca.Ce.CO_2.F$) et la parisite ($Ca_2.Ce.CO_3.F$) ce qui cadre très bien avec le mode de formation expliqué plus haut.

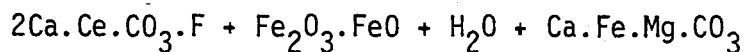
La relation positive entre le TiO_2 , le Fe (t), le MnO et les Tr_2O_3 appuie cette hypothèse et démontre de plus une association de la bastnaesite avec l'hématite et la magnétite telle qu'observée microscopiquement.

La bastnaesite peut aussi s'être formée par la cristallisation normale de $Ce-CO_2-F-O_2$. La déficience en monazite est confirmée par le peu de P_2O_5 présent lors des injections.

La relation positive entre le H_2O^+ et les Tr_2O_3 confirment qu'une bonne partie de la bastnaesite est associée à la chlorite et elle a cristallisé avant celle-ci. Nous prenons pour acquis que l' H_2O^+ sert surtout à former la chlorite tandis que les Tr_2O_3 forment surtout la bastnaesite; la quantité de P_2O_5 étant trop faible pour la formation d'un pourcentage significatif de monazite. Dans ce cas, le problème de la source du CO_2 intervient. Vient-il du lessivage des carbonates encaissants lors de la montée des solutions ou est-il juvénile? Nous favorisons la première supposition premièrement à cause de la petite quantité de CO_2 nécessaire pour former de la bastnaesite. Si on exclut la chlorite, la réaction suivante pourrait exister:



dolomite solutions hydrothermales



bastnaesite magnetite eau ankérite-dolomite

Nous expliquons l'absence de fluorine dans le dépôt de terres rares par l'utilisation quasi-totale du fluor pour la formation des fluorocarbonates.

Il est surprenant cependant de constater la baisse de SrO avec l'augmentation de terres rares car le SrO se concentre en général dans les dernières injections de carbonatite (Heinrich, 1966).

La seule association que nous ne pouvons expliquer chimiquement est celle de la bastnaesite avec l'antraxolite qu'on retrouve dans les quatre faciès de carbonatite. Cependant, nous savons que les hydrocarbures sont communs aux complexes de carbonatite, alors l'association atraxolite-bastnaesite est plausible.

Ces différentes hypothèses prévalent dans le dépôt de terres rares de St-Honoré, il ne faut pas oublier qu'il peut y avoir autant de Tr_2O_3 dans l'eau percolante que dans le dépôt lui-même (Vlasov, 1966) alors il est su-

rement possible de former de la chlorite et de l'hématite à partir de cet eau percolante. Avec ces deux derniers minéraux présents, il suffit de lessiver légèrement le fluor des roches encaissantes et nous cristalliserons de la bastnaesite contemporaine à la chlorite et à l'hématite. Une partie de la bastnaesite, surtout les gros grains xénomorphes associés à la chlorite et à l'hématite peut provenir de ce processus.

Les quelques grains de monazite associés aux carbonates sont syngénétiques avec les injections dolomitiques initiales et ils ont cristallisé avant ceux-ci.

Maintenant que nous avons cerné le problème du mode de formation des minéraux de terres rares, il nous reste à traiter l'état physique des terres rares lors de leur transport.

Dans une de ses études, Fleischer (1969) conclut par les mots suivants: "Therefore, we propose as a working hypothesis that in the gaseous or supercritical fluid solutions in contact with a basaltic magma there are complexes which are responsible for the enrichment in alkali metals and REE elements in kimberlites and carbonatites".

L'existence de gaz est très importante car nous avons la cristallisation de fluorocarbonates. D'ailleurs, Loubet et als. (1972), Michell et Brunfelt (1975) et Balashof et Turanskayia (1960) s'accordent pour affirmer que les gaz sont très importants dans le processus des carbonatites.

Nous déduisons donc que les terres rares ont possiblement voyagé sous forme de complexes avec le fluor.

Type de dépôt de terres rares

Tout travail de description d'un dépôt minéralisé, quel qu'il soit, se doit de situer ce dépôt par rapport aux autres dépôts du même type.

Si nous utilisons la classification d'Heinrich (1966, p. 252) les caractéristiques du dépôt de terres rares de St-Honoré en font un dépôt de carbonatite tardif à terres rares et thorium. Ces dépôts sont constitués par des injections tardives ankéritiques, sidéritiques et manganifères avec des fluorocarbonates de terres rares (Tableau XXI II). C'est le type de dépôt rencontré à Iron Hill (Colorado), Kangankunde, Chilwa Island et Tundulu (Afrique). Deux points sont peu concordants avec cette classification: premièrement, la bastnaesite est le seul fluorocarbonate identifié avec certitude dans le

dépôt de terres rares de St-Honoré; deuxièmement, Heinrich ne mentionne rien en ce qui concerne les carbonatites à chlorite qui contiennent des terres rares et du fluor et qui semblent d'origine hydrothermale.

Si nous utilisons la terminologie de Vlasof, (1966, pp. 269 à 271), l'enrichissement en terres rares légères confirme l'observation élémentaire de l'association du "La" avec les dépôts hydrothermaux associés aux complexes alcalins avec néphéline et syenite alcaline. Les russes sont cependant orientés vers une origine hydrothermale pour tous les gisements.

La formation de la carbonatite de la zone à terres rares et de la minéralisation contenant les terres rares peut se résumer par les quelques lignes suivantes:

1. Intrusion du noyau central de rauhaugite.
2. Injections de carbonatites ankéritiques et sidéritiques suivis de carbonatite riche en MnO et Tr_2O_3 .
3. Infiltrations de solutions hydrothermales riches en Fe(t), H_2O^+ , Tr_2O_3 , F, Fe, S, Zn, CO_2 , ThO_2 , TiO_2 , SiO_2 et formation de minéraux de terres rares.
4. Infiltration d'un second stage hydrothermal formant des veinules de pyrite, sphalérite et barytine.
5. Finalement un stage d'altération deutéritique a pu aider à former de l'hématite et/ou de la chlorite en filonnets interstitiels ainsi qu'à reconcentrer certains minéraux contenant des terres rares.

La présence de fluorocarbonates (bastnaesite, synchisite) s'expliquerait par le fait que la carbonatite de la zone à terres rares est caractérisée par un assemblage ankérite-dolomite, carbonates qui captent mal les terres rares. De plus, la bastnaesite peut provenir d'une cristallisation normale de $\text{Ce}^- \text{CO}_2 - \text{F}$

Nous favorisons l'hypothèse que le CO_2 vient du lessivage des carbonates encaissants lors de la montée des solutions hydrothermales et nous déduisons que les terres rares ont possiblement voyagé sous forme de complexes avec le Fluor.

TABLEAU XXIII

DEPOTS MINERALISES ASSOCIES AUX COMPLEXES DE CARBONATITES

SITUATION CHRONOLOGIQUE DES DEPOTS	ASSOCIATION DU DEPOT, TYPE DE DEPOT, MINERALISATION	
Dépôts pré-carbonatites	<p>a) Dans ou associés à des roches ultramafiques ou mafiques</p> <p>b) Associés aux roches felsiques ou dans celles-ci</p> <p>c) Dans des fénites ou autres roches de contact</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Masses ilménite-magnétite 2. Lentilles et masses de magnétite-pérovskite (Iron Hill, Gunnison, Jacupiranga, Ipamina, Vuarojarvi) 3. Disséminations de pérovskites dans une pyroxénite (Africanda) 4. Pyrochlore-apatite-magnétite (Lackner lake, Ont.); cônes emboutés de magnétite-apatite (Sukulu Hill, Uganda) 5. Dissémination de pyrochlore <ol style="list-style-type: none"> 1. Pyrochlore (Némégosenda lake, Ont.)
Dépôts syn-carbonatites	<p>a) Jeunes</p> <p>b) Intermédiaires</p> <p>c) Tardifs</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Roche carbonatée 2. Apatite: Dissémination et lentilles dans des calcitites et des dolomitites (Araxa, Jacupirangan (Brésil), Alno (Suède), Sukulu Hills (Ouganda)) 3. Magnétite: Bandes dans des calcites (Budusu) 4. Baddleyite-thorianite: Dissémination dans des calcites (Phalabora, Afrique du sud) 5. Terres rares: Carbonatite à calcite-barytine-bastnaesite (Sulphide queen bady, Californie) <ol style="list-style-type: none"> 1. Pyrochlore: Zones, dissémination, surtout dans des calcites montrant schistosité, fracturation et altération deutéritique (Iron Hill, Araxa, Oka Fen, St-Honoré) <ol style="list-style-type: none"> 1. Terres rares et thorium: remplacement tardif ou injections ankéritiques, sidéritique, manganifère 2. Fer: Carbonatite à hématite ou carbonatite à sidérose 3. Cu: Corps de sulfures de Cu venus par remplacement
Dépôts post-carbonatites et remplacement, veines		<ol style="list-style-type: none"> 1. Titane: Rutilite et brookite dans des veines et corps de remplacement. Il y a du lithium comme taeniolite (mica) 2. Terres rares et thorium: Veines à minéralisation complexe; quelques veines hématitiques; dans les fractures, surtout à l'extérieur du complexe 3. Barium: Veines de barytine, à l'intérieur ou l'extérieur du complexe 4. Fluor: Veines de fluorine 5. Apatite: Veines distribuées dans le complexe (Magnet Cove) 6. Niobium: Columbite quartzone (Iron Hill) 7. Strontium: Strontianite (Kangankunde)
Dépôts post-carbonatites et remplacement, veines		<ol style="list-style-type: none"> 1. Titane: Rutilite et brookite dans des veines et corps de remplacement. Il y a du lithium comme taeniolite (mica) 2. Terres rares et thorium: Veines à minéralisation complexe; quelques veines hématitiques; dans les fractures, surtout à l'extérieur du complexe 3. Barium: Veines de barytine, à l'intérieur ou l'extérieur du complexe 4. Fluor: Veines de fluorine 5. Apatite: Veines distribuées dans le complexe (Magnet Cove) 6. Niobium: Columbite quartzone (Iron Hill) 7. Strontium: Strontianite (Kangankunde)
Dépôts supergènes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tufa, travertine, source de CO₂ 2. Latérites <ol style="list-style-type: none"> a) Fer b) Manganèse c) Phosphate 3. Accumulations résiduelles 4. Eaux souterraines 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apatite 2. Pyrochlore 3. Barytine 4. Magnétite 5. Fluorine 6. Zircon et baddleyite 7. Rutilite, brookite, anatase, leucoxène <ol style="list-style-type: none"> 1. Vermiculite

A P P E N D I C E A
TRAVAUX EFFECTUES SUR CHAQUE ECHANTILLON

Tableau 1a
 TRAVAIL FAIT SUR CHAQUE ECHANTILLON
Trou #801

ECHANTILLON	LAME MINCE	LAME MINCE POLIE	MICROSONDE	RAYONS-X	COLORATION Fp	COLORATION Carb.	ATD-ATG	PHOTOS
801-147	X r	X	X	--		--		
-161	X r	X	X	--		--		
-186.7	X b	--	--	2		X		
-209.5	--	--	--	1		--		
-210.5	X r	--	--	2		--		
-222.5	X	--	--	--		--		
-249.5	X r	--	--	3		--		
-273.0	X	--	--	--		--		
-297.0	X	--	--	3		X	X	
-303.5	X b	--	--	2		X		
-338	X	--	--	--		--		
-343	X r	--	--	1		X		
-351	X b	--	--	1		X		
-368	X r+b	--	--	1		X		
-381	X b	--	--	--		X		
-396.5	X b	--	--	2		X		

Tableau 1-b
 TRAVAIL FAIT SUR CHAQUE ECHANTILLON
 Trou #802

ECHANTILLON	LAME MINCE	LAME MINCE POLIE	MICROSONDE	RAYONS-X	COLORATION Fp	COLORATION Carb.	ATD-ATG	PHOTOS
802-164	X r	X	X	2		--		
-196.5	X r	--	--	2		--		
-214.5	X r	X	X	4		--		
-232.5	X r	X	X	--		--		
-251.5	X	--	--	--		--		
-269	X	--	--	--		--		
-292	X	--	--	--		--		
-311.5	X r	--	--	--		--		
-331.0	X	--	--	2		X		
-355	X r	--	--	--		--	X	
-371.5	X b	--	--	--		X		
-389	X r	--	--	1		X		
-403	X r+b	--	--	1		--		

Tableau 1-c
 TRAVAIL FAIT SUR CHAQUE ECHANTILLON
 Trou #803

ECHANTILLON	LAME MINCE	LAME MINCE POLIE	MICROSONDE	RAYONS-X	COLORATION Fp	COLORATION Carb.	ATD-ATG	PHOTOS
803-145.5	X	X	X	--		--		
-178	X	--	--	--		--		
-193	X	--	--	2		X		
-216.5	X v	--	--	1		--		
-226.0	X r	--	--	--		--		
-254.0	X r	--	--	1		--		
-261.8	X	--	--	--		--		
-298	X r	X	X	2		--		
-303	X	--	--	--		--		
-339	X	--	--	--		--		
-351.8	X	--	--	2		--		
-367.0	X b	--	--	--		X		
-393.2	X	--	--	--		--		

Tableau 1-d
 TRAVAIL FAIT SUR CHAQUE ECHANTILLON
Trou #804

ECHANTILLON	LAME MINCE	LAME MINCE POLIE	MICROSONDE	RAYONS-X	COLORATION Fp	COLORATION Carb.	ATD-ATG	PHOTOS
804-138.5	X r	--	--	--		--		
-158	X j	--	--	1		--		
-163.5	X r	--	--	2		--		
-188	X b	X	X	2		--		
-227	X v	--	--	3		--		
-244.5	X b	--	--	1		--		
-255.5	X	--	--	1		X	X	
-259.5	X	--	--	--		X		
-261.5	X	--	--	--		--		
-281.5	X	--	--	--		X		
-308.5	X	--	--	--		X		
-329.0	X j-r	--	--	3		--		
-353	X j	--	--	--		--		
-367.5	X	--	--	1		X		
-398.5	X	--	--	--		X		
-403.5	--	--	--	2		X		

Tableau 1-e

TRAVAIL FAIT SUR CHAQUE ECHANTILLON

Trou #805

ECHANTILLON	LAME MINCE	LAME MINCE POLIE	MICROSONDE	RAYONS-X	COLORATION Fp	COLORATION Carb.	ATD-ATG	PHOTOS
805-39.8	X	--	--	--		X		
-47	X	--	--	2		X		
-72.7	X v	--	--	1		X		
-97.0	X b	--	--	4		X		
-115.5	X r	X	X	4		--		
-138	X v	--	--	1		--		
-155	X v	--	--	3		--		
-164	X j	--	--	2		--		
-191.5	X r	--	--	1		--		
-213	X b	--	--	1		X		
-220.7	X b	X	X	1		X		

Tableau 1-f
 TRAVAIL FAIT SUR CHAQUE ECHANTILLON
 Trou #806

ECHANTILLON	LAME MINCE	LAME MINCE POLIE	MICROSONDE	RAYONS-X	COLORATION Fp	COLORATION Carb.	ATD-ATG	PHOTOS
806-16.8	X vv			2				
-26.2	X v				X	X		
-59	X			3		X		
-72	X b			3		X		
-82.8	X							
-111.7	brisée	X	X	2				
-129	X v			2		X		
-151.5	X r							
-160.3	X b			1		X		
-187.5	X			2		X		
-208	X v			2				
-232	X j			3				
-253	X b			1		X		
-263	X v			2				
-282.2	X j	X	X	3				
-301.5	X v			3				
-337	X v			2				
-353	X v			2		X		
-304.5	X b			2		X		
-382	X b			1		X		
-427	X b					X		
-433	X b			1		X		
-442.6	X b			1			X	
-473	X b	--	--	4		X	X	
-483	X	--	--	--		--		

Tableau 1-g
 TRAVAIL FAIT SUR CHAQUE ECHANTILLON
Trou #807

ECHANTILLON	LAME MINCE	LAME MINCE POLIE	MICROSONDE	RAYONS-X	COLORATION Fp	COLORATION Carb.	ATD-ATG	PHOTOS
807-136	X	--	--	1		X		
-157.5	X v	--	--	2		--		
-171	X v	--	--	3		--		
-183	X	X	X	--		--		
-232	X b	--	--	4		X		
-251	X b	--	--	2		--		
-264.7	X b	--	--	4		X		
-293.8	X b	--	--	3		X		
-307	X r	--	--	2		--		
-332	X b	--	--	3		X		
-351	X v	--	--	--		--		
-365.7	X v	--	--	4		--		
-383.5	X v	--	--	2		X		
-406.5	X v	--	--	3		--		

Tableau 1-h
 TRAVAIL FAIT SUR CHAQUE ECHANTILLON
Trou #808

ECHANTILLON	LAME MINCE	LAME MINCE POLIE	MICROSONDE	RAYONS-X	COLORATION Fp	COLORATION Carb.	ATD-ATG	PHOTOS
808-116	X r	X	X	4		--		
-132.5	X j	--	--	1		--		
-146.7	X r	--	--	5		--		
-163.5	X b	--	--	4		--		
-208.5	X r	--	--	3		--		
-212	X r	X	X	4		--		
-233	X r	--	--	1		--		
-242.3	X r	--	--	2		--		
-271	X r	--	--	3		X		
-281.5	X b	--	--	--				
-305.5	X j	--	--	4				
-327.5	X v	--	--	2				
-348.5	X r	--	--	3				
-367	X v	--	--	2		X		
-397	X	--	--	--		X		

Tableau 1-i
 TRAVAIL FAIT SUR CHAQUE ECHANTILLON
Trous #701-704-709

ECHANTILLON	LAME MINCE	LAME MINCE POLIE	MICROSONDE	RAYONS-X	COLORATION Fp	COLORATION Carb.	ATD-ATG	PHOTOS
701-151	--	--	--	2				
706-474	--	--	--	1				
-478.5	--	--	--	1				
-429.5	--	--	--					
708-291.3	--	--	--	3				
-423.5	--	--	--	1				
709-286.2	--	--	--	2				
-295.5	--	--	--					
-422.3	--	--	--	2				
-446	--	--	--					

N.B.: Fp : Feldspaths
 Carb.: Carbonates
 ATD : Analyse thermique différentielle
 ATG : Analyse thermo-gravimétrique
 b: Blanc
 r: Rouge
 v: Vert
 j: Jaune

A P P E N D I C E B
R E S U L T A T S D E D I F F R A C T I O N D E S R A Y O N S X

CAHIER DE DIFFRACTION #1

1-	701-151	Chlorite	
2-	701-151	Ank�rite + pyrite + bastnaesite	
3-	706-474 (rouge)	Calcite, dolomite-ank�rite, inconnu (monazite?)	
4-	-478.5 (carb.)	Dolomite	
5-	708-291.3 (gris)	Chlorite (probable?)	
6	-291.3	Dolomite, calcite (60-40)	
7-	-291.3 (vert)	Chlorite, ank�rite, quartz	graphite goethite (?) carbocernaite
8	-423 (noir)	Bastnaesite, dolomite-ank�rite	
9-	709-286.7 (noir-rouge)	Hématite, bastnaesite, chlorite	
10-	801-186.4 (carb.)	Calcite	
11-	-186.4	Calcite, chlorite, ank�rite, sphal�rite (?)	
12-	-209.5 (noir-rouge)	Bastnaesite, calcite, ank�rite ?	?
13-	-210.5 (noir-vert)	Bastnaesite, monazite, dolomite (peu)	
14-	-249.5	Ank�rite	
15-	-249.5 (noir-vert)	Ank�rite, chlorite, monazite (?)	?
16-	-249.5 (noir-vert)	Monazite, goethite	
17-	709-286.2 (rouge-noir)	Bastnaesite, hématite	
18-	-402.3 (rouge-noir)	Pyrite, bastnaesite, graphite, hématite	
19-	-402.3 (rouge-noir)	Bastnaesite, hématite, graphite (?)	?
20-	Standard de vermiculite		
21-	SA -007	Chlorite (aphrosid�rite), quartz, calcite	
22-	801-97	Dolomite	
23-	-297	Dolomite	
24-	-297 (vert)	Dolomite + chlorite	
25-	-303.5	Ank�rite	
26-	-303.5	Ank�rite	
27- ;	-348	Dolomite (?), pyrite, hématite	
28-	-351	Ank�rite	
29-	-368	Ank�rite	
30-	-396.5	Dolomite (?), chlorite	
31-	-396.5	Ank�rite	
32-	802-164	Bastnaesite, calcite	
33-	-164	Calcite, sidérose	?
34-	-196.5	Magnétite, hématite	
35-	-196.5	Magnétite, hématite	
36-	-214.5	Chlorite	?
37-	-214.5	Magnétite	
38-	-214.5	Calcite, bastnaesite, magnétite, hématite	
39-	-214.5 (rouge)	Bastnaesite, calcite, hématite	
40-	-331	Dolomite-ank�rite	
41-	-331	Phlogopite, dolomite, chlorite	
42-	-389 (rouge)	Dolomite-ank�rite	
43-	-403 (carb.)	Dolomite-ank�rite, sidérose, calcite	

44-	803-216.5 (rouge)	Dolomite-ankérite (50%)
45-	-193 (noir)	Chlorite, dolomite-ankérite (?)
46-	-193 (vert pâle)	Phlogopite, dolomite-ankérite (?)
47-	-254	Ankérite-dolomite, calcite (1%)
48-	-298	Dolomite
49-	-298	Dolomite
50-	-351.8	Ankérite-dolomite, calcite
51-	-351.8	Calcite
52-	804-244.5 (vert)	Chlorite
53-	-158	Dolomite-ankérite
54-	-163.5	Dolomite, bastnaesite (1%)
55-	-163.5	Dolomite
56-	-188	Ankérite, chlorite
57-	-188	Dolomite
58-	-224	Phlogopite, ankérite-dolomite
59-	-227	Dolomite, phlogopite
60-	-227	Phlogopite, dolomite
61-	-254	Chlorite, dolomite-ankérite
62-	-255.5	Dolomite-ankérite
63-	-329 (opaques)	Bastnaesite ?
64-	-329 (rouge)	Ankérite, calcite, hématite
65-	-329	Calcite
66-	-367.5	Ankérite
67-	-381.5 (carb.)	Dolomite, sidérose, calcite (33-33-33)
68-	-403.5	Ankérite
69-	-403.5 (matrice)	Ankérite, bastnaesite
70-	-	Calcite
71-	-	Ankérite
72-	805-213	Dolomite
73-	-220.7 (noir)	Sidérose, dolomite
74-	-47	Ankérite
75-	-47 (rouge)	Dolomite ou ankérite
76-	-72.7 (noir)	Bastnaesite, pyrite
77-	-97 (noir)	Bastnaesite, dolomite, chlorite ou synchisite
78-	-97 (vert)	Chlorite
79-	-97 (vert-noir)	Bastnaesite, chlorite
80-	-97 (noir-vert)	Bastnaesite, chlorite
81-	-115.5 (rouge)	Dolomite, calcite
82-	-115.5 (rouge)	Bastnaesite, monazite (?)
83-	-115.5 (rouge)	Ankérite
84-	-115.5 (rouge)	Ankérite, bastnaesite
85-	-138 (vert)	Ankérite, chlorite
86-	-155 (noir)	Ankérite, hématite, chlorite
87-	-155 (magnétique)	Dolomite (?), pyrrhotine, calcite
88-	-155 (carb.)	Dolomite, calcite (2%)
89-	-164 (carb.)	Ankérite
90-	-164 (noir)	Bastnaesite
91-	-191.5 (rouge)	Trop peu de matériel

?

?

CAHIER DE DIFFRACTION #2

1-	806-16.8 (carbonates)	Calcite	
2-	-16.8 (vert)	Ankërite, chlorite (< 2%)	
3-	-59. (rouge)	Dolomite ou ankërite	
4-	-59. (noir)	Bastnaesite, chlorite	
5-	-59. (carb.)	Ankërite	
6-	-72. (noir)	Bastnaesite, pyrite	
7-	-72. (gris)	A repasser à plus faible pour "pics"	
8-	-72.	Ankërite, bastnaesite, sphalërite, chlorite	
9-	-111.7 (noir)	Rutile, chlorite, pyrite, bastnaesite	
10-	-111.7 (carbonates)	Ankërite, chlorite (< 1%)	
11-	-129.	Dolomite, bastnaesite, chlorite	
12-	-129. (carbonates)	Dolomite ou ankërite, calcite (< 1%)	
13-	-160.3 (noir)	Bastnaesite	
14-	-187.5 (vert pâle)	Dolomite ou ankërite, chlorite	
15-	-187.5 (noir)	Ankërite, calcite (< 10%), chlorite	
16-	-208 (vert)	Chlorite, rutile	
17-	-208 (vert)	Chlorite, calcite	
18-	-232 (carbonates)	Dolomite	
19-	-232 (noir)	Bastnaesite, dolomite	
20-	-232 (noir)	Bastnaesite, dolomite	
21-	-253 (noir-brun)	Bastnaesite, dolomite, quartz ou graphite	
22-	-263 (sphalërite)	Trop faible quantité	
23-	-263 (dolomite)		
24-	-282.2 (jaune)	Dolomite ou ankërite	
25-	-282.2	Ankërite, bastnaesite, chlorite	
26-	-282.2 (rouge)	Ankërite, calcite (< 1%)	
27-	-301.5 (carbonates)	Ankërite, chlorite, calcite (< 1%)	
28-	-301.5 (rouge)	Ankërite, calcite, chlorite	
29-	-301.5 (vert)	Ankërite, chlorite	
30-	-317 (carbonates)	Ankërite	
31-	-337 (carbonates)	Dolomite, graphite ou quartz	?
32-	-337 (carbonates)	Dolomite ankëritique	
33-	-353 (carbonates)	Ankërite	
34-	-353 (noir)	Sphalërite	?
35-	-361.5	Dolomite, chlorite, quartz	
36-	-364.5 (carbonates)	Ankërite	
37-	-382 (rouge-noir)	Ankërite, monazite ou rutile	?
38-	-473 (blanc)	Dolomite ou ankërite	
39-	-433 (rouge)	Dolomite, barytine	
40-	-442.6 (Py totale)	Dolomite, hëmatite	
41-	-473 (carbonates)	Dolomite, calcite, barytine	
42-	-473 (rose)	Barytine	
43-	-473 (rose)	Calcite	
44-	807-136 (noir)	Bastnaesite, sphalërite, calcite	
45-	-157.5 (carb. rouges)	Ankërite	
46-	-157.5 (carbonates)	Ankërite, calcite	
47-	-171 (vert)	Chlorite, rutile	
48-	-171 (carb.)	Calcite	
49-	-171 (vert)	Chlorite, rutile, sphalërite	
50-	-232 (carb.)	Dolomite	
51-	-232 (noir)	Ankërite, sphalërite	?
52-	-232 (noir)	Ankërite	?

53-	807-232 (rouge)	Quartz, synchisite-bastnaesite	?
54-	-251 (noir)	Chlorite, bastnaesite, ankérite	
55-	-251 (noir)	Chlorite, bastnaesite, ankérite, pyrite	
56-	-264.7 (rouge)	Sphalérite, ankérite, bastnaesite	
57-	-264.7 (carb.)	Dolomite-ankérite	
58-	-264.7 (noir)	Bastnaesite, sphalérite, dolomite	
59-	-264.7 (vert-rouge)	Bastnaesite, chlorite, pyrite	
60-	-293.3 (noir)	Bastnaesite, pyrite, graphite ou quartz	
61-	-293.8 (carb.)	Dolomite	
62-	-293.8 (vert)	Ankérite, chlorite	
63-	-307 (carb.)	Dolomite	
64-	-307 (noir)	Bastnaesite, barytine, sphalérite, dolomite	
65-	-332 (rouge)	Bastnaesite, barytine	
66-	-332 (noir)	Bastnaesite, barytine, dolomite	
67-	-332 (pyrite)	Pyrite, dolomite (< 1%)	
68-	-365.7 (rouge)	Ankérite, bastnaesite	
69-	-365.7 (vert)	Barytine, bastnaesite, rutile	
70-	-365.7 (blanc)	Ankérite, calcite (< 1%), chlorite	
71-	-383.5 (blanc)	Trop peu de matériel	
72-	-406.5 (incolore)	Trop peu de matériel = dolomite	
73-	-365.7 (vert)	Ankérite, barytine, chlorite, dolomite	
74-	-383.5 (brun)	Ankérite, rutile, barytine	
75-	-406.5 (vert)	Ankérite, rutile	
76-	-406.5 (blanc)	Ankérite, graphite, chlorite	
77-	808-116. (noir)	Chlorite, calcite, graphite ou quartz	
78-	-116. (jaune)	Calcite, bastnaesite, chlorite	
79-	-116. (rouge)	Calcite, bastnaesite	
80-	-116. (rouge)	Calcite, bastnaesite	
81-	-132.5 (carb.)	Dolomite, calcite	
82-	-146.7 (rouge)	Calcite	
83-	-146.7 (vert)	Calcite, chlorite, rutile (?)	?
84-	-146.7 (chlorite)	Chlorite	
85-	-146.7 (carb.)	Calcite	
86-	-146.7 (jaune)	Calcite, ankérite	
87-	-162.5 (carb.)	Dolomite, chlorite	
88-	-162.5 (noir)	Ankérite, chlorite, pyrite	
89-	-162.5 (vert)	Pyrite, chlorite	
90-	-162.5 (vert)	Chlorite, pyrite	
91-	-208.5 (noir)	Bastnaesite, sphalérite (?), pyrite (?)	
92-	-208.5 (jaune)	Ankérite	
93-	-208.5 (rouge)	Ankérite, hématite	
94-	-212 (noir)	Bastnaesite, pyrite ou sphalérite (?)	
95-	-212 (rouge)	Ankérite, bastnaesite	
96-	-212 (blanc)	Ankérite	
97-	-212 (incolore)	Dolomite ou ankérite	
98-	-233 (rouge)	Dolomite	
99-	-242.3 (rouge)	Ankérite ou dolomite	
100-	-242.3 (fragment)	Dolomite, bastnaesite ou chlorite	
101-	-271 (matrice)	Ankérite, chlorite et bastnaesite	
102-	-271 (fragment)	Ankérite	
103-	-271 (carb.)	Ankérite	
104-	-305.5 (magnétite)	Bastnaesite, pyrite	
105-	-305.5 (noir)	Sidérose (?), pyrite, bastnaesite	
106-	-305.5 (jaune)	Ankérite ou dolomite ankéritique	

107-	808-305.5 (rouge)	Ankérite
108-	-327.5 (vert)	Chlorite, ankérite
109-	-327.5 (blanc)	Ankérite
110-	-348.5 (rouge)	Ankérite, bastnaesite
111-		
112-	-348.5 (rouge-brun)	Rutile
113-	-348.5 (noir)	Rutile
114-	-367 (blanc)	Ankérite
115-	-367 (matrice)	Ankérite, monazite

?

A P P E N D I C E C

EXEMPLE DE CALCUL DE LA NORMALISATION DES VALEURS
DE CHAQUE ELEMENT DES TERRES RARES PAR RAPPORT AUX CHONDRITES

EXEMPLE DE CALCUL (802, 160 à 240)

OXYDE	POURCENT	CATION	NO ATOMIQUE	POURCENT	CHONDRITE (1) PPM	ECH./CHOND.	LOG ECH./CHOND.
La ₂ O ₃	0.98%	La	57	0.836%	0.329	25,410	4.41
CeO ₂	1.78%	Ce	58	1.52 %	0.865	17,572	4.24
Nd ₂ O ₃	0.77%	Nd	60	0.66%	0.630	10,476	4.02
Sm ₂ O ₃	500 ppm	Sm	62	431 ppm	0.203	2,123	3.33
Eu ₂ O ₃	108 ppm	Eu	63	93 ppm	0.077	1,208	3.08
Gd ₂ O ₃	<600 ppm	Gd	64	<520 ppm	0.276	<1,884	<3.27
Dy ₂ O ₃	64 ppm	Dy	66	56 ppm	0.343	163	2.21
		Er	68		0.225		
		Yb	70		0.220		
Lu ₂ O ₃	< 5 ppm	Lu	71	< 4 ppm	0.0339	< 118	<2.07

(1) Moyenne de dix chondrites "ordinaires", Nakamura, 1974.

A P P E N D I C E D
EXACTITUDE DES METHODES D'ANALYSES

Introduction

L'exactitude des résultats d'analyses obtenues a été vérifiée en faisant analyser deux (2) lots d'échantillons "composite" dans cinq (5) laboratoires différents (Tableaux I et II, Nos. d'analyses 5 à 9). Chacun de ces échantillons représente la même portion du lot "composite" qui a été divisé à l'aide d'un diviseur proportionnel. Les résultats d'analyses Nos. 1 à 4 (Tableaux I et II) proviennent des mêmes lots d'échantillons "composites" mais ils n'ont pas été prélevés de la même façon ni en même temps et de plus ils ne représentent pas la même portion du lot.

Nous ne parlerons pas de justesse des analyses car nous n'avons pas la valeur absolue; quant à la précision des analyses nous n'avons pas fait analyser le même échantillon plusieurs fois dans le même laboratoire.

Echantillon 801 (160' à 240')

1. Introduction

Le tableau 1 montre le résultat des analyses de neuf (9) échantillons provenant du même lot (Trou No. 11-782-801, 140' à 260'). Cinq (5) de ces échantillons (Nos. 5 à 9) sont des échantillons statistiquement identiques. Les quatre (4) autres sont différents si on se place du point de vue exprimé dans le paragraphe précédent. La valeur moyenne du pourcentage de terres rares analysés (TR_2O_3) (valeur mesurée) lorsqu'il a été fait (5 laboratoires) est de 4.14%. Si nous additionnons les quantités mesurées de chaque élément terres rares (La_2O_3 , CeO_2 ..) pour chacun des neuf échantillons (valeur calculée), la moyenne de la somme est de 4.41%. Donc nous obtenons une différence de .26% entre la valeur calculée de terres rares et la valeur mesurée.

Cependant si nous utilisons seulement les données des cinq échantillons identiques, la valeur calculée des terres rares est 5.14% et la valeur mesurée (seulement 2 laboratoires) est de 4.82%. La différence est donc de 0.33%.

Trois des quatre (4) échantillons non-identiques statistiquement (1-2-4) ont des résultats très similaires en ce qui concerne les valeurs calculées ou mesurées (3.68-3.45-3.79) (3.69-3.50-3.87)%: La quatrième est légèrement plus faible (3.05%).

Trois des cinq (5) échantillons identiques (5-6-7) ont des valeurs calculées similaires (4.10-4.53-3.97%) et les deux (2) derniers (8 et 9) ont des résultats similaires (6.7043 et 6.4151%).

2. Patron d'enrichissement en terres rares (normalisé)

La représentation graphique du patron d'enrichissement en terres rares, normalisé par rapport à des chondrites ordinaires (appendice C) fait ressortir quelques points (Figure 1):

- a) La distribution des éléments La, Ce, Nd et Sm a un patron similaire dans sept laboratoires (1, 2, 4, 6, 7, 8, 9). La quantité de chaque élément est inversement proportionnel au nombre atomique de celui-ci. Les analyses provenant des laboratoires Nos. 3 et 5 (figure 1) ne respectent pas cette règle; la pente entre le La et le Ce est très abrupte comparativement aux autres laboratoires.
- b) Les résultats des analyses de Eu, Gd, Dy, Er, Yb et Lu sont faibles mais ils sont semblables dans presque tous les laboratoires. La quantité de chacun de ces éléments diminue à mesure que le nombre atomique augmente.

Les résultats d'analyses provenant du laboratoire No. 4 ne suivent pas cette règle car le Gd a un enrichissement d'environ 3,000 fois la valeur des chondrites ordinaires comparativement à 100 fois pour le Eu. Les résultats d'analyses d'un autre laboratoire (No. 8) dérogent à cette règle; Dy (~ 1000 fois le valeur des chondrites) est fort comparativement au Gd (~ 200 fois la valeur des chondrites).

Echantillon 802 (140' à 260')

1. Introduction

Le tableau II montre le résultat des analyses de neuf (9) échantillons provenant du même lot (Trou No. 11-782-802, 160' à 240'). Cinq (5) de ces échantillons sont statistiquement identiques. Les quatre (4) autres (Nos. 1 à 4) sont différents.

TABLEAU 2
EXACTITUDE DES ANALYSES
ECHANTILLON 802-(160'-240')

NO D'ANALYSE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
DATE D'ANALYSE		1976	1976	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977	
LABORATOIRE		X-RAY ¹ %	X-RAY ¹ %	M.R.N. ²	ECOLE POLYTECH- NIQUE ³	X-RAY ¹ %	METRIC ⁴ PPM	LEDOUX ⁵ %	BOUNDAR ⁶ - CLEGG %	ECOLE ³ POLYTECH- NIQUE	MOYENNE
METHODE UTILISEE		FLUO- RESCENCE	FLUO- RESCENCE	FLUO- RESCENCE	ACT. NEUTR.	FLUO- RESCENCE	FLUO- RESCENCE	CHIMIQUE	FLUO- RESCENCE	ACT. NEUTR.	
	La ₂ O ₃	.95	.91	1.04%	.98 %	1.44	11706 ppm	1.2	1.8689	1.81%	1.26%
	CeO ₂	1.81	.67	.89%	1.78 %	1.09	22558 ppm	1.9	3.0147	2.99%	1.93%
	Pr ₂ O ₃	.23	.22	.14%	.20 %	.41	2060 ppm	.02	.2212	.33%	.22%
	Nd ₂ O ₃	.68	.64	.78%	.77 %	1.14	6500 ppm	.75	1.2932	1.16%	.87%
	Pm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Sm ₂ O ₃	.01	.01	.091%	.050%	.02	869 ppm	.03	.1649	.093	.06%
	Eu ₂ O ₃	---	tr	-	108 PPM	---	< 25 ppm	.01	-	160 ppm	98 ppm
	Gd ₂ O ₃	tr	tr	583 PPM	<600 PPM	tr	1249 ppm	.02	.0519	.03	<383 ppm
	Tb ₂ O ₃	---	---	-	-	---	< 25 ppm	<.001	-	27 ppm	< 20 ppm
	Dy ₂ O ₃	tr	tr	366 PPM	64 PPM	tr	< 25 ppm	.001	.0895	110 ppm	<163 ppm
	HO ₂ O ₃	---	---	-	-	---	< 25 ppm	<.001	-	8 ppm	< 15 ppm
	Er ₂ O ₃	---	---	-	-	---	< 25 ppm	<.001	-	<50 ppm	< 30 ppm
	Tu ₂ O ₃	---	---	-	-	---	< 20 ppm	<.001	-	< 8 ppm	< 15 ppm
	Yb ₂ O ₃	tr	tr	170 PPM	< 5 PPM	---	< 20 ppm	<.001	-	10.6ppm	< 10 ppm
	Lu ₂ O ₃	tr	tr	-	119 PPM	---	< 20 ppm	<.001	-	2.8ppm	< 10 ppm
	ThO ₂	-	-	-	700 PPM	.10	-	.18	-	1110 ppm	1152 ppm
	U ₂ O ₃	-	-	-	-	---	-	-	-	-	-
	Sc ₂ O ₃	-	-	-	57 PPM	---	-	.01	-	158 ppm	<100 ppm
	Y ₂ O ₃	-	-	-	-	---	3.11 ppm	.01	.015	-	<200 ppm
	Somme des T.R.	3.68	3.45	3.05%	3.79 %	4.10	45300 ppm	3.97	6.7043	6.4151 %	4.41%
	Tr ₂ O ₃	3.69	3.50	-	3.87 %	4.11	5.32 %	-	-	-	4.14%

1. X-Ray Laboratories (Toronto)
2. Ministère des Richesses naturelles de Québec (Usine Pilote)
3. Ecole Polytechnique (département de génie minéral, Montréal)
4. Metric Lab. (Oka)
5. Ledoux and Co. (New-York)
6. Boundar and Clegg (Ottawa)

--- : non détecté
- : non analysé
tr : trace

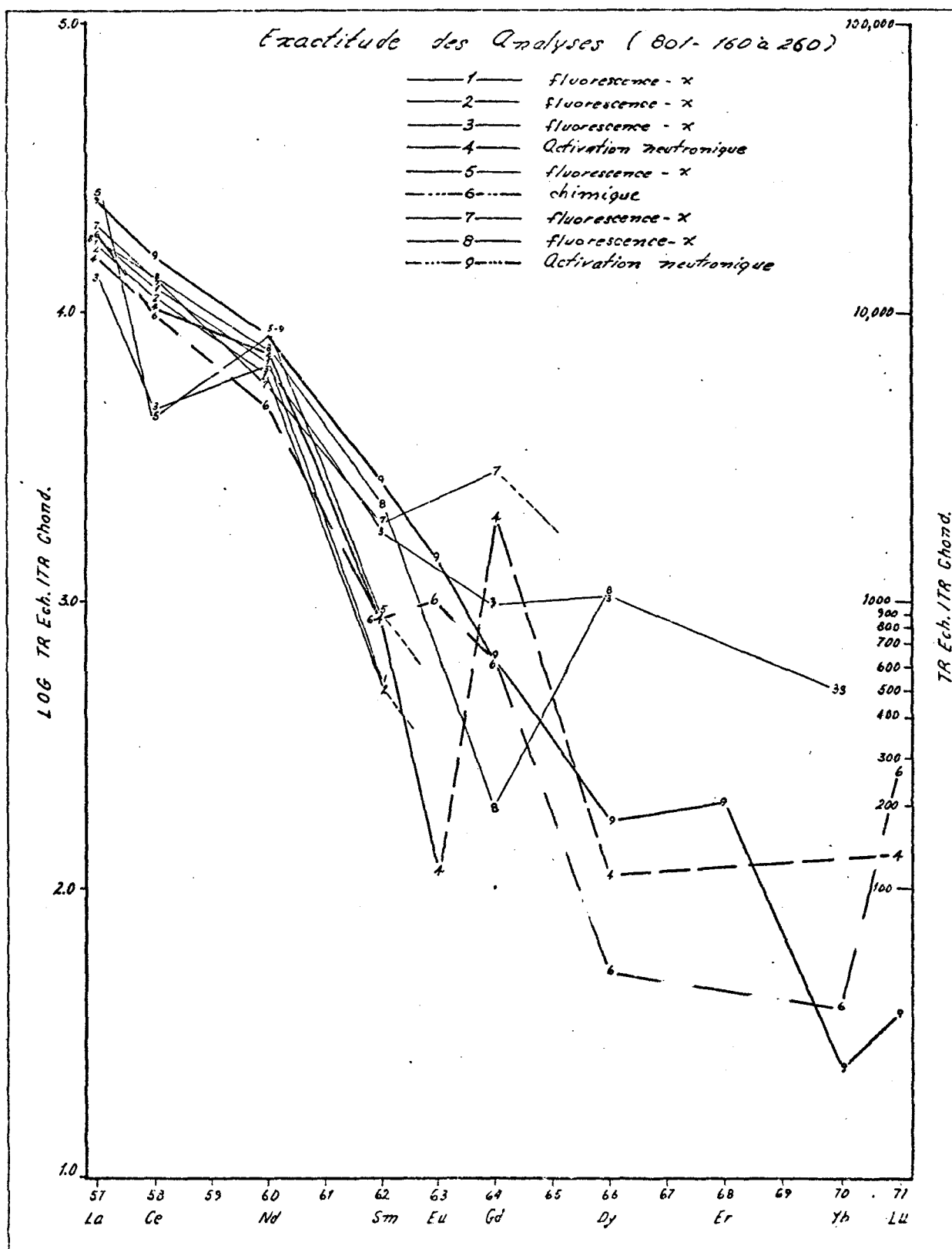


Fig. 1 Patrons d'enrichissement en terres rares, normalisés, provenant de huit analyses de 801 (140' à 260') effectuées par six laboratoires différents.

La valeur calculée moyenne est de 2.56%. La valeur mesurée moyenne (5 laboratoires) des terres rares (Tr_2O_3) est de 2.73%; donc une différence de 0.17% entre les deux valeurs.

Si nous utilisons seulement les données des cinq échantillons identiques (Nos. 5 à 9), la valeur calculée moyenne est de 2.75%; la valeur mesurée moyenne (2 laboratoires seulement) est de 2.83% donc il y a une différence de .08% entre les deux valeurs.

2. Patrons d'enrichissement en terres rares (normalisé)

La représentation graphique du patron d'enrichissement en terres rares, normalisée par rapport à des chondrites ordinaires (appendice C), fait ressortir les points suivants (figure 2):

- a) Les résultats d'analyses de sept (7) laboratoires (1-2-4-6-7-8-9) montrent une diminution graduelle de la quantité de La, Ce, Nd, Sm en fonction de l'augmentation du nombre atomique presque inversement proportionnel. Deux résultats d'analyse (laboratoires Nos. 3 et 5) ont un enrichissement en Ce plus faible que les sept premiers.
- b) Eu, Gd, Dy présentent des patrons d'enrichissement similaires aux quatre terres rares légers; c'est-à-dire une diminution de la quantité des éléments suivant l'augmentation de leur nombre atomique. Cependant, les échantillons analysés au laboratoire No. 7 ont une valeur en Gd 5,000 fois celle des chondrites ordinaires, ce qui donne une pente positive entre le Eu et le Gd. Les échantillons analysés au laboratoire No. 8 ont un enrichissement en Dy 4,000 fois celui des chondrites ordinaires ce qui donne une pente positive entre le Gd et le Dy.
- c) Pour les terres rares lourdes, de Dy à Yb, nous assistons à une variation assez importante du patron d'enrichissement en fonction du laboratoire d'analyse. Les patrons d'enrichissement obtenus par les laboratoires Nos. 6-7-3 ont une pente presque nulle mais les valeurs respectives de leur enrichissement sont différentes. La pente devient positive entre le Yb et le Lu. Les patrons d'enrichissement obtenus par les laboratoires Nos. 4 et 9 indiquent une diminution graduelle de Dy vers Yb pour ensuite indiquer une remontée

TABLEAU 1
EXACTITUDE DES ANALYSES
ECHANTILLON 801-(140' à 260')

NO D'ANALYSE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
DATE D'ANALYSE		1976	1976	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977	
LABORATOIRE		X-RAY ¹	X-RAY ¹	M.R.N. ²	ECOLE POLYTECH- NIQUE ³	X-RAY ¹	METRIC ⁴	LEDOUX ⁵	BOUNDAR ⁶ - CLEGG	ECOLE ³ POLYTECH- NIQUE	MOYENNE
METHODE UTILISEE		FLUO- RESCENCE %	FLUO- RESCENCE %	FLUO- RESCENCE	ACT. NEUTR.	FLUO- RESCENCE %	FLUO- RESCENCE	CHIMIQUE %	FLUO- RESCENCE	ACT. NEUTR.	
	La ₂ O ₃	.69	.66	.54%	.59%	.95	7549 ppm	.65	8021 ppm	.97%	.73%
	CeO ₂	1.31	1.20	.50%	1.13	.47	14088 ppm	.95	14297 ppm	1.65%	1.12%
	Pr ₂ O ₃	.15	.17	.08%	.20	.24	1120 ppm	.02	1132 ppm	.15%	1.24%
	Nd ₂ O ₃	.49	.45	.48%	.52	.70	4300 ppm	.35	5483 ppm	.63%	.51%
	Pm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-
	Sm ₂ O ₃	.01	.01	.041%	.02	.02	434 ppm	.02	503 ppm	.061	.09%
	Eu ₂ O ₃	tr	tr	---	.001	---	< 25 ppm	.009	-	120 ppm	< 60 ppm
	Gd ₂ O ₃	.tr	tr	300 ppm	<600 ppm	tr	844 ppm	.02	60 ppm	.02%	<400 ppm
	Tb ₂ O ₃	---	---	-	55 ppm	---	< 25 ppm	<.001	-	19 ppm	< 20 ppm
	Dy ₂ O ₃	tr	tr	410 ppm	.45 ppm	tr	< 25 ppm	.002	410 ppm	70 ppm	<163 ppm
	HO ₂ O ₃	---	---	-	-	---	< 25 ppm	<.001	-	4 ppm	< 15 ppm
	Er ₂ O ₃	-	-	-	-	---	< 25 ppm	-	-	<50 ppm	< 25 ppm
	Tu ₂ O ₃	---	---	-	-	---	< 20 ppm	<.001	-	< 7 ppm	< 10 ppm
	Yb ₂ O ₃	tr	---	120 ppm	---	---	< 20 ppm	<.001	-	6 ppm	< 10 ppm
	Lu ₂ O ₃	tr	---	-	< 5 ppm	---	< 20 ppm	<.001	-	1.4 ppm	< 5 ppm
	TbO ₂	-	-	-	905 ppm	.06	Nd	.28	643 ppm	820 ppm	961 ppm
	U ₂ O ₃	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-
	Se ₂ O ₃	-	-	-	57 ppm	-	Nd	.004	-	65 ppm	< 50 ppm
	Y ₂ O ₃	-	-	-	-	-	174 ppm	.01	101 ppm	-	<100 ppm
	Somme des T.R.	2.65	2.51	1.64%	2.50%	2.36	28500 ppm	2.037	30007 ppm	3.49%	2.56%
	Tr ₂ O ₃	2.66	-	-	2.58%	2.38	3.28%	-	-	-	2.73%

1. X-Ray Laboratories (Toronto)
2. Ministère des Richesses naturelles du Québec (Usine Pilote)
3. Ecole polytechnique (département de génie minéral, Montréal)
4. Metric Lab. (Oka)
5. Ledoux and Co. (New-York)
6. Boundar and Clegg (Ottawa)

---: Non détecté
- : Non analysé
tr : trace

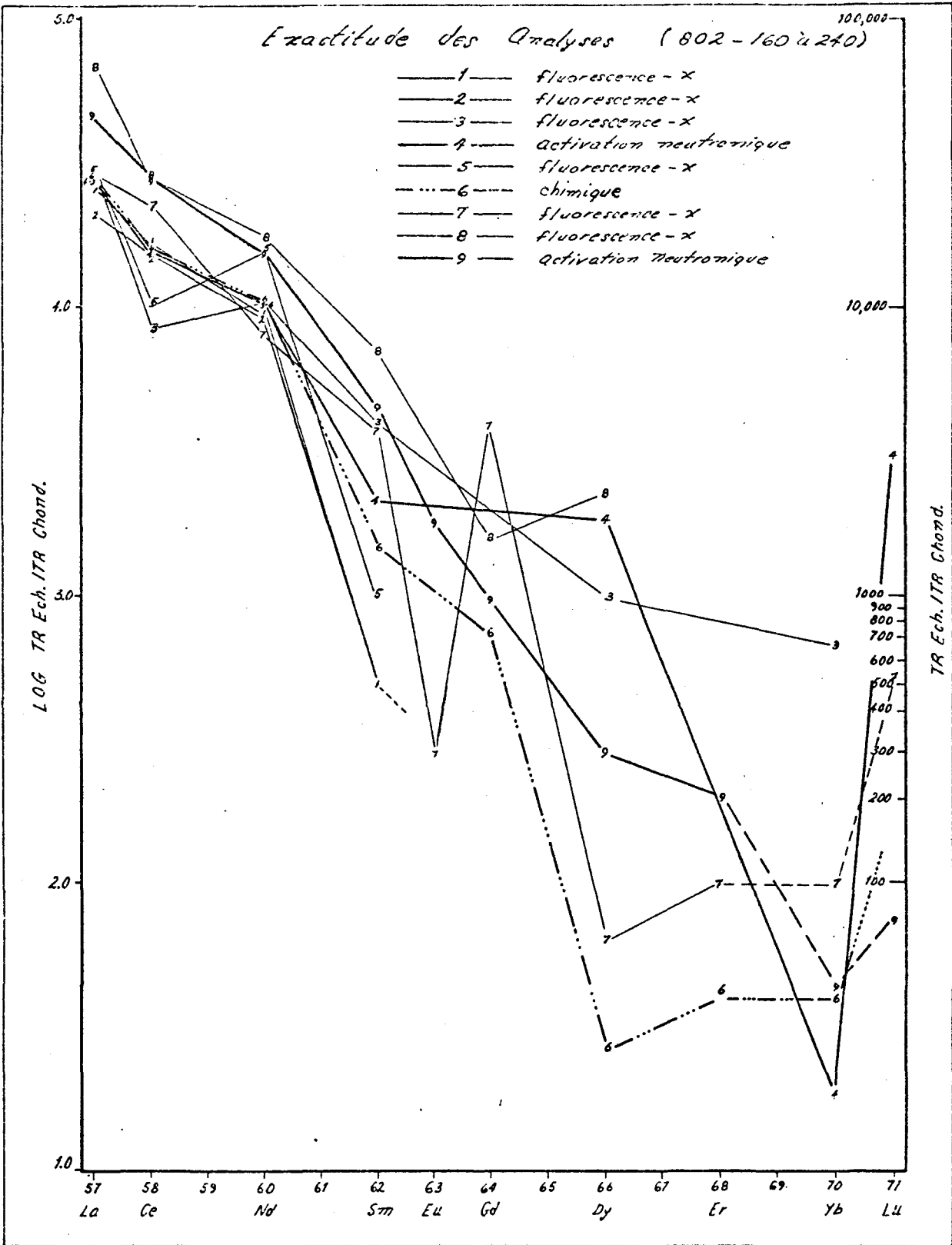


Fig. 2 Patrons d'enrichissement en terres rares, normalisés, provenant de huit analyses de 802 (160' à 240') effectuées dans six laboratoires différents.

spectaculaire de la quantité du Lu (jusqu'à 5,000 fois celle des chondrites ordinaires, laboratoire No. 4).

Discussion des résultats

Nous discuterons de la qualité des résultats obtenus en fonction de leur provenance, de leurs méthodes de traitement et de leur mode de prélèvement.

Tel que mentionné précédemment, les analyses Nos. 1, 2, 3, 5, 7 et 8 ont été obtenues par fluorescence-X, les analyses Nos. 4 et 9 ont été obtenues par activation neutronique et l'analyse numéro 6 a été effectuée par absorption atomique. Les analyses 5, 6, 7, 8 et 9 proviennent d'échantillons qui ont été préparés de façon identique et en même temps. Les analyses 1, 2, 3, 4 ne peuvent être considérées non identiques car il n'y a aucun contrôle sur leur mode de préparation.

Pour les échantillons identiques, les valeurs calculées et mesurées des terres rares sont sensiblement les mêmes pour les laboratoires numéros 5, 6 et 7 tandis que les résultats des analyses provenant de laboratoires numéros 8 et 9 forment un autre groupe. Les patrons d'enrichissement en terres rares sont regroupés de la même façon que les valeurs des terres rares totales. Seule l'analyse provenant du laboratoire No. 5 contient une quantité de Nd supérieure ou égale à celle du Ce qui est inférieure à celle du La. Est-ce que ce regroupement est dû à une ségrégation lors de la préparation des échantillons.

Les résultats d'analyses provenant des laboratoires 1, 2, 4 sont presque identiques et ils sont du même ordre de grandeur que ceux provenant des laboratoires 5, 6, 7. Le patron d'enrichissement en terres rares sont presque les mêmes. Seul l'échantillon ayant été analysé au laboratoire No. 3 a une valeur des terres rares totales inférieure à celles provenant des autres laboratoires; son patron d'enrichissement en terres rares est aussi différent et il est presque identique à celui provenant du laboratoire No. 5.

Enfin, le comportement des terres rares légères est le même pour les deux échantillons en autant qu'ils ont été analysés au même laboratoire. Par contre le comportement des terres rares lourdes est généralement différent d'un échantillon à l'autre bien qu'il ait grossièrement la même allure.

Conclusion

L'analyse de neuf (9) échantillons provenant de deux (2) lots "composite" par des laboratoires différents conduit aux conclusions suivantes:

1. Lorsque les échantillons provenant d'un même lot n'ont pas été préparés de façon identique et ont été analysés par plusieurs laboratoires:
 - a) Les analyses obtenues par fluorescence-X sont similaires lorsqu'elles sont effectuées par le même laboratoire.
 - b) Les résultats d'analyses obtenus par activation neutronique sont différents d'un échantillon à l'autre mais la préparation n'était pas identique.
 - c) Les patrons d'enrichissement en terres rares (normalisés) sont, sauf pour deux exceptions (M.R.N. et X-Ray Lab.) presque tous similaires pour La, Ce, Nd, Sm peu importe la méthode ou le laboratoire mais ils sont différents pour chaque laboratoire dans le cas des terres rares lourdes.

2. Lorsque les échantillons provenant d'un même lot ont été préparés de façon identique et ont été analysés dans 5 laboratoires différents:
 - a) Les résultats d'analyse de la somme des terres rares par X-Ray (fluorescence-X), Métric Lab (fluorescence-X) et Ledoux Co. (chimique) sont presque identiques.
 - b) Les résultats d'analyses de la somme des terres rares obtenus par Boundar-Clegg (fluorescence-X) et l'Ecole Polytechnique (activation neutronique) sont presque identiques.
 - c) Les patrons d'enrichissement en terres rares (normalisés) sont similaires pour les terres rares légères peu importe la méthode ou le laboratoire d'analyse sauf pour ceux provenant de X-Ray Lab. Les patrons d'enrichissement en terres rares lourdes sont beaucoup plus variables pour chaque laboratoire.

- L'activation neutronique détecte de très petites valeurs qui sont probablement justes mais imprécises (Figures 1, 2; courbe No. 9).
- La fluorescence-X détecte mal les petites quantités de terres rares lourdes.
- La méthode chimique semble être juste.

Vu que nous n'avons pas la valeur précise absolue des deux lots "composite" en présence, c'est le nombre de résultats obtenus qui établira la valeur référence. Nous ne pourrons traiter la précision des résultats mais nous pourrons établir si les valeurs sont justes.

- le mode de préparation des échantillons est très important; ils doivent être pris tous de la même façon.
- la somme des terres rares est divisée en deux populations: 1) l'Ecole Polytechnique et Boundar-Clegg, 2) X-Ray Lab., Metric Lab. et Ledoux Co.
- sauf pour X-Ray Lab., les terres rares légères sont similaires dans tous les laboratoires. Les terres rares lourdes, en quantité très faible, sont détectées probablement avec justesse par l'Ecole Polytechnique, cependant leur précision demeure à déterminer.
- finalement la calibration des appareils, les standards utilisés sont aussi des facteurs importants lors des analyses.

A P P E N D I C E E
DESCRIPTION GEOLOGIQUE DES ECHANTILLONS
ANALYSES PAR ACTIVATION NEUTRONIQUE

DESCRIPTION GEOLOGIQUE DES ECHANTILLONS
ANALYSES PAR ACTIVATION NEUTRONIQUE

ECHANTILLON	DESCRIPTION DE LA CAROTTE DE SONDAGE
801-(140-260)	Dolomitites et calcitites, hématitique, ankéritique, chloritisée
801-(260-398)	Dolomite fraîche, altérée par endroits, chloritisée, grains grossiers
802-(160-240)	Dolomitite ankéritique, chloritique, à magnétite
802-(240-398)	Dolomitite ankéritique, chloritisée, parfois fraîche
804-(127-280)	Mélange dolomitite fraîche et ankéritique, chloritique
804-(280-408)	Dolomitite fraîche, grossier, chloritique et hématitique
806-(12.5-230)	Dolomitite ankéritique, moyenne, chloritique et hématitique
706-(268-501)	Dolomitite blanche, fraîche
708-	Dolomitite fraîche, chloritisée
705-(314-374)	Dolomitite blanche, fraîche
709-(253-504)	Dolomite blanche ou ankéritique, chloritique, oxyde

REMERCIEMENTS

Je remercie sincèrement Monsieur Gérard Woussen qui, par ses conseils judicieux, m'a permis de rendre à terme ce travail. Je remercie également MM. Adam Nagy et Guy Perrault pour leur précieuse aide tant technique que morale lors des travaux minéralogiques. De plus, Monsieur Perrault a obtenu les analyses chimiques totales de l'Ecole polytechnique de Montréal.

Je remercie aussi tous les techniciens du module des Sciences de la terre de l'Université du Québec à Chicoutimi, spécialement MM. Yvon Boudreault, Jean-Eudes Villeneuve et Richard Lechasseur pour leur assistance technique. Il ne faudrait pas oublier Monsieur Jean-Pierre Tremblay de l'Université Laval pour sa collaboration lors des travaux de microsonde électronique.

Je remercie également les compagnies SOQUEM et Copperfield qui, par l'intermédiaire de Monsieur Marcel Vallée, m'ont fourni l'assistance matérielle nécessaire ainsi que l'aide monétaire me permettant d'utiliser la microsonde électronique.

REFERENCES CITEES

- Adams, J.W., 1969, Distribution in minerals in Geological survey research, pp. C38 - C44.
- Anderson, A.L., 1958, Uranium, thorium, columbium and rare earth deposits in the Salmon region, Lemhi County, Idaho; Idaho Bur. Mines. Geol. Pamph. 115.
- Bailey, D.K., 1964. Crustal working; a possible control magmatism; J. Geophys, Rev. v. 69, pp. 1103 - 1110.
- Balashov, Ya. A., Pozharitzkaya K.K. 1968. Factors governing the behavior of Rare earth elements in the carbonatite process; Geochem. Internat vol. 5, pp. 271 - 288.
- Barber, C., 1974, The geochemistry of carbonatites and related rocks from two carbonatites complexe, South Nyanza, Kenya; lithos, vol. 7, pp. 53 - 63.
- Benoit, F.W., et Valiquette G., 1971, Geology of the Lac St-Jean Area (southern part); Quebec Department of mines, geological report No. 140.
- Blanchard, 1933, Le Saguenay et la Lac St-Jean: Etude canadienne IV, revue de géographie alpine, vol, 21 p. I, pp. 5 - 174.
- Cheang, K.K., 1977, Structure and Polytypism in Synchisite and Parasite from Mont St-Hilaire, Québec; Msc. Thesis, Carleton University, April 1977.
- Chilingar, G.V., Bissel, H.J. et Fairbridge R.W. 1967, Carbonate rocks, physical and chemical aspects, pp. 260 - 270. Elsevier Publishing Co., 1967.
- Crowley, F.A., 1960, Columbium - Rare - earth deposits, southern Ravalli County, Montana; State of Montana, Bureau of Mines and Geology, Bulletin 18.
- Dawson J.B., 1962, the geology of Oldoinyo Lengai; Bull. Volcanol. vol. 24, pp. 349 - 387.
- Deer, W.A. Howie and Zusseman., 1967, Rocks forming nimerals, London, Longmans. C. 1965 O C. 1967, 5 volumes.
- Deslile, 1970, Soquem, rapport interne.
- Deslile, 1969, Soquem, rapport interne.

- Dostal, J., Dupuys C. et Coulon C., 1976, Rare-earth elements in Hygh-Alumina Basaltic rocks from Sardinia; chemical Geology vol. 18 No 4, pp. 251 - 263, déc. 1976
- Dresser J. et Denis T.C., Geology of Québec, volume 11, description geology; Quebec Department of mines geological report 20.
- Dunbar W.S. et Garland G.D., 1975, Grustal Loads and vertical movements near Lake St-John, Quebec; Can. Jour. Earth. Sciences vol. 12, pp. 711 - 720.
- Duncan, P.M. et Garland G.D., 1977, A gravity study of the Saguenay Area, Quebec; Can. Jour. Earth Sciences vol. 14, No 2, p. 145.
- Evamy, B.D., 1963, the application of a chemical staining technique to a study of dedolomitisation; *Sédimentologie* vol. 2, pp. 164 - 170.
- Fleisher, M., 1969, The relationship of the Rare-earth composition of minerals to geological environment; U.S. Geological Survey, 8 p.
- Fortin, M., 1977, Le Complexe annulaire à carbonatites de St-Honoré (P.Q. Canada) et sa minéralisation à Niobium: Etude Pétrographique et géochimique. Thèse de 3ème cycle, Université Claude Bernard, Lyon, France.
- Frith, R.A., et Doig, 1975, Prékénorian Tonalitic gneisses in the Grenville Province; Can. Jour. Earth Sciences vol. 12, pp. 844 - 849.
- Gagnon, 1969, Soquem, rapport interne.
- Gagnon, 1969, Soquem, rapport interne.
- Gagnon, G. et Gendron L.A., 1977, The geology and current development of the St-Honoré Niobium (Columbium) deposits; Conf. 79th an. general meeting of C.I.M., April, 20, 1977.
- Garson, M.S., 1963, The Tundulu carbonatite ring complex of southern Nyasaland; Malawi Geol. Surv. Mem. 2.
- Garson, M.S., et Schmidt W.C., 1958, Chilwa Island; Nyasaland Geol. Surv. Mem. 1.
- Gittins, J., Hewing R.H. et Laurin A.F., 1976, Kimberlitic Carbonatitic dikes of the Saguenay river valley, Quebec, Canada;

- Guest, N.J., The volcanic activity of Oldania Lengai; Tang. Geol. Surv. Rec., IV, pp. 56 - 59.
- Haskin, A. Frey F.A., Schmidt, R.A. et Schmidt, A.H., 1966, Meteoric, Solar and Terrestrial Rare earth abundances; Phys. Chem. Earth vol. 7, pp. 167 - 330.
- Hedlund, D.C. et Olson J.C., 1961, Four environments of Thorium - Niobium and Rare earth bearing minerals in the Powderhorn district of southwestern Colorado; U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 424-B, pp. B283 - B286.
- Heinrich, E. Wm., 1966, The geology of carbonatites; Rand Mc Nally and Company Chicago.
- Heinrich, E. Wm. et Anderson R.J., 1965, Carbonatitic Niobium - Rare earth deposits, Ravalli Co., Montana; American Mineral vol. 46, pp. 1424 - 47.
- Holmes, A et Cohen, 1956, Géochronologie africaine 1956, Memoir academie de Belgique, Cl. Sci., 8, 5, pp. 1 - 160.
- Holt D.N., 1965, The Kangankunde Hill Rare earth prospect; Malawi Geol. Surv. Bull. 20, 1956.
- Jensen, B.B., 1967, Distribution pattern of Rare earth elements in Cerium - rich minerals; Mars, 11. Geol. Tidsskrift. vol 47, pp. 9 - 19.
- Jensen, B.B. et Brunfelt A.D., 1965, Distribution patterns of Rare earth elements in terrestrial rocks; Norsk. Geol. Tidsskr. vol. 45, pp. 249 - 283.
- Jooste, R.F., 1958, Region de Bourget, district électoral de Chicoutimi et Jonquière - Kénogami, Québec; Rapport Géologique 78, Ministère des Mines, Québec.
- Kay, et Gast. ., 1973, The rare earth content and origin of alkali rich basalt; Journ. of Geol. Jan. 1973, vol. 81 no 1, pp. 653 - 683, 1973.
- Kapustin, Yu.L., 1966, The geochemistry of Rare earth elements in carbonatites; Geochem. Int., pp. 1054 - 1064.
- Khomyakov, A.P., 1964, Distribution of Rare earth in carbonate - hematite veins of western Tannu-Ola; Geochem. Intern. vol. 1, pp. 40 - 43.

- Koljonen, T. et Rosenberg R.J., 1975, Rare earth elements in middle Precambrian volcanic rocks of Finland, with a discussion of the origin of the rocks; Bull. Geol. Ssc. Finland vol. 47, pp. 127 - 138.
- Kumaparelli, P.S., 1976, The St-Lawrence rift system: related metallogeny and plate tectonics models of Appalachian evolution; in : Metallogeny and plate tectonics by Strong, D.F., Geol. Ass. of Canada, Special paper No 14, 1976.
- Kumaparelli, P.S. et Saüi V.A., 1966, The St-Lawrence valley system, a north american equivalent to the african rift zone; Can. Jour. Earth. Sciences vol. 3, pp. 639 - 658.
- Laduron, D. 1966, Sur les procédés de coloration sélective des feldspaths en forme mince; Am. soc. Geol. de Belgique, T. 89, Bul. 8, nov. 1966.
- Laguitton, D., 1973, La micro-analyse par sonde électronique, application à l'étude de la mise en valeur d'une magnétite titanifère de la région de Magpie (P.Q.); Thèse ph. D, Université Laval, 1973.
- Lasalle, P., 1968, Excursion géologique du Quaternaire au Saguenay Lac St-Jean; Min. Rich. Nat. du Québec, Contribution Congr. ACFAS, 31 p.
- Laurin, A.F. et Sharma J.N.M., 1975, Région des rivières Mistassini, Peribonka, Saguenay (Projet Grenville 1965 - 1967); M.R.N.Q., Rapport Géologique 161.
- Loubet, M., Bernat M., Javoy M. et Allègré C.J., 1972, Rare earth content in Carbonatites; earth. Planet Sc. litt. vol. 14, pp. 226 - 235.
- Mineyev, P.A., 1963, Geochemical differentiation of the Rare earth; Geokhimiya vol. 12 pp. 1082 - 1100, Trans. Geochem. vol. 12, pp. 1129 - 1140.
- Mitchell, R.H. et Brunfelt, A.O., 1975, Rare earth element geochemistry of the Fen alkaline complex, Norway: Contrib. Mineral. Petrol vol. 52, pp. 247 - 259
- Murata, K.J., Rose H.J., Carron M.K. et al..., 1957, Systematic variation of Rare earth elements in Cerium earth minerals; Geochim. cosmochim. acta., vol. 11, no 3, pp. 141 - 161.
- Nakamura, N., 1974, Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na, K in carbonaceous and ordinary chondrites Geochem. cosmochim. Acta vol. 38, pp. 757 - 776.

- Nash, W.P., 1972, Mineralogy and Petrology of the ironHill carbonatite complex, Colorado; G.S.A. Bull. vol. 83, pp. 1301 - 1382, May, 1972.
- Newman, H., Jensen B.B. et Brunfelt A.O., 1967, Distribution patterns of Rare earth elements in minerals; Norsk. Geologisk tedsokrifs vol. 46, No 2, pp. 141 - 181.
- Nickel, E.H. et Pinard R.G., 1970, Mineral investigation of Niobium and Rare earth carbonatite samples from St-Honoré, Québec; Dept. of Energy, mines and resources, Ottawa, IR-70-7.
- Nickel, E.H. et Owens D. 1970, Test report M-70-75 "Mineralogical examination of a sample of diamond drill core"; Ottawa, Avril 1970.
- Olivier, 1969, Soquem, rapport interne.
- Olson, J.C. et Pray L.C., 1954, The Mountain pass Rare earth deposits; California div. Mines. Bull. 170, ch. 8, pp. 23 - 29.
- Olson, J.C., Shawe D.R., Pray L.C. et Sharp W.N., 1954, Rare earth mineral deposits of the Mountain Pass District, San Bernardino County, California; U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 261.
- Olson J.C. et Wallace S.R., 1956, Thorium and Rare earth minerals in Powderhorn district, Gunnison County, Colorado; U.S. Geol. Surv. Bull. 1027-0.
- Parker, J.G. et Baroch C.T., 1971, The Rare earth elements, Yttrium and Thorium: a material Survey; U.S. Bureau of Mines, I.C. 8476, 92 p.
- Perhac, R.M. et Heinrich E.W., 1964, Fluorite - Bastnaesite deposits of the Gallinas Mnt., New-Mexico and Bastnaesite Paragenesis.; Econ. Geol. vol. 59, no 2. march-april 1964, pp. 226 - 239.
- Phillip, R.K. et Rankin P.C., 1976, Rare earth element geochemistry of late Cenozoic alkaline lavas of the Mc Murdo volcanic group. Antarctica; Geochmica et Cosmochimica Acta, vol. 40, no 12, déc. 1976.
- Rondot, J., 1967, L'Anse St-Jean Area, Chicoutimi and Charlevoix counties, MRN, 1967.

- Roy, D.W., 1977, Excursion Géologique au Saguenay; camp de géologie régionale, géologie structurale et pétrographie, Université du Québec à Chicoutimi.
- Russel, H.D., Hiemstra S.A. et Groenveld D., 1954, The mineralogy and petrology of the carbonatite at Ioolikop, eastern Transvaal, Trans. Geol. Soc. South Africa, 57, 197 - 208.
- Schmidt, et als..., 1960, Abundances of Rare earth elements (La to Lu) in chondritic meteorites: Nature, vol. 186 no 4728, pp. 863 - 866, London 1960.
- Schoefield, A. et Haskin L.A., 1964, Rare earth distribution patterns in 8 terrestrial materials; Geochem. Cosmichem. Acta. vol. 28, pp. 437 - 446.
- Solar, C. et Fahey J.J., 1972, The staining mechanism of potassium feldspars and the origin of hierartite; American Mineralogist vol. 37, pp. 287 - 291.
- Sergerie, G., Campagne de Sondage, 1975, projet 10-782, St-Honoré; Soquem, Rapport Interne, 1975.
- Staaaz, H.M., Shaw Van E. et Wahlberg J.S., 1972, Occurrence and distribution of Rare earth in the Lemhi pass thorium veins, Idaho and Montana; Econ. Geol. vol. 67, pp. 72 - 82.
- Sukheswala, R.M. et Udas G.R., 1963, Note on the carbonatite of Amba Dongar (Gujarat State) and its economic potentialities; Sci. Culture, 29, pp. 563 - 568.
- Temple, A.K. et Grogan R.M., 1965, Carbonatites and related alkalic rocks at Powderhorn, Colorado; Econ. Geol. vol. 60, pp. 672 - 692.
- Thoreau, J., Aderca B. et Van Wambeke L., Le gisement de terres rares de La Karonge (Urundi); Bull. Acad, Roy. Sci. Colon. vol. 4 (neu. ser.), pp. 687 - 715.
- Tuttle, O.F. et Gittins J., 1966, Carbonatites; intersciences pub., John Wiley and Sons, N-Y, 1966.
- Vainshtein, E.E., Pozharitzkaya L.K. et Turanskaya N.V., 1961, Behavior of the Rare Earth in process of formation of carbonatites; Geochem. vol. 11, pp. 1151 - 1154.
- Vallée, M. et Dubuc F., 1970, The St-Honoré carbonatite complex, Québec; Can. Inst. Min. Trans. XXIII, pp. 346 - 356.

- Verwoerd, W.J., 1963, Rare earth minerals in South African carbonatites; South Africa, Geol. Surv., Annu., vol. 2.
- Vlasof, K.A., 1966, Geochemistry and Mineralogy of Rare elements and genetic types of their deposits, volumes 1 et 2; Academy of Sciences of the U.S.S.R. state geological comitee of the U.S.S.R.
- Warne, J., 1962, A quick field or laboratory staining scheme for the differentiation of the major carbonate minerals; Journ. Sed. Petrol. vol. 32, no 1, pp. 29 - 38.