

## COMPARAISON GÉOCHIMIQUE DES CHROMITES D'ANDORINHA ET DE CAMPO-FORMOSO, BAHIA (BRÉSIL)

Suely SCHUARTZ PACHECO MESTRINHO\* et André NOVIKOFF\*\*

\* Instituto de Geociências. Departamento de Geoquímica. UFBA, Salvador, Bahia (Brésil).

\*\* O.R.S.T.O.M., Instituto de Geociências. Departamento de Geoquímica. UFBA, Salvador, Bahia (Brésil).

### RÉSUMÉ

Cette étude porte sur la comparaison de la composition des chromites de Medrados et Ipueira, dans la région d'Andorinha, avec celles de Pedrinhas à Campo Formoso, dans l'État de Bahia, Brésil.

Les chromites ont été soumises à diverses méthodes de purification, puis analysées par absorption atomique et par microsonde. Les résultats montrent que la composition des chromites d'Andorinha diffère sensiblement de celles de Campo Formoso.

Dans la région d'Andorinha, les chromites présentent une bonne régularité de constitution. A Pedrinhas, les variations de composition sont marquantes, aussi bien, entre les niveaux minéralisés, entre les grains de chromite d'un même échantillon qu'à l'intérieur des grains eux-mêmes.

Les caractéristiques chimiques des chromites sont les suivantes. A Andorinha, la teneur maximum de  $Cr_2O_3$  est de l'ordre de 50 %, la concentration de  $Fe_2O_3$  et  $TiO_2$  est basse, les teneurs de  $Al_2O_3$  et  $MgO$  sont élevées, le rapport  $Fe^{2+}/Mg$  varie peu et celui  $MgO/FeO$  est élevé. A Pedrinhas,  $Cr_2O_3$  atteint 58 %,  $Fe_2O_3$  est relativement abondant, les teneurs d' $Al_2O_3$  et  $MgO$  sont moyennes à faibles, comme celles de  $TiO_2$ , le rapport  $Fe^{2+}/Mg$  est variable, alors que celui de  $MgO/FeO$  est faible.

Les résultats analytiques montrent que ces dépôts appartiennent à des séries chimiques différentes, d'où probablement à des genèses différentes. La comparaison avec d'autres chromites du monde, appartenant à des gisements podiformes ou stratiformes, suggère l'appartenance des chromites d'Andorinha à un type podiforme et de celles de Pedrinhas, à un type stratiforme.

MOTS-CLÉS : Chromite. géochimie. podiforme. stratiforme. Brésil.

### ABSTRACT

#### GEOCHEMICAL COMPARISON BETWEEN CHROMITES IN ANDORINHA AND CHROMITES IN CAMPO-FORMOSO-BAHIA (BRAZIL)

A detailed geochemical study of the chromite ores of Medrados and Ipueira (district of Andorinha) and of Pedrinhas (district of Campo-Formoso) has been made. Both districts are in the North of the state of Bahia, Brazil.

The chromites have been subjected to various methods of purification and analysed by A.A. and microprobe. The data shows that the composition of the chromites of the two districts differ considerably.

In the Andorinha district the chromites show a regular chemical constitution. At Pedrinhas the variation in their composition is stronger, between mineralized layers, between individual grains of chromite, as well as in grains of chromite.

Chemical characteristics of the chromites are :

1. At Andorinha a maximum content of  $Cr_2O_3$  of about 50 % with a relatively low concentration of  $Fe_2O_3$  and  $TiO_2$  and high concentrations of  $Al_2O_3$  and  $MgO$  ; the  $Fe^{2+}/Mg$  ratio is fairly constant and the  $MgO/FeO$  ratio is high.

2. At Pedrinhas the  $Cr_2O_3$  content reaches 58 %,  $Fe_2O_3$  is relatively abundant, while  $Al_2O_3$ ,  $MgO$  and  $TiO_2$  contents are moderate or low. The  $Fe^{2+}/Mg$  is quite variable, where as that of  $MgO/FeO$  is low.

The chemical results show that the chromites of the two districts belong to different chemical series and probably are genetically different. A comparison with others chromite deposits suggests that the Andorinha chromites are of podiform type where as those of Campo Formoso are of stratiform type.

KEY WORDS: Chromite. geochemistry. podiform. stratiform. Brazil.

#### RESUMO

Foi realizado um estudo geoquímico comparativo detalhado, nas cromitas dos depósitos de Medrados e Ipueira na área de Andorinha e de Pedrinhas em Campo Formoso, no Estado da Bahia.

As cromitas foram submetidas a vários métodos de purificação, e subsequente análise química por absorção atômica e microsonda. Os dados encontrados mostram que a composição das cromitas de Andorinha diferem substancialmente daquelas de Campo Formoso.

Nos depósitos de Andorinha, as cromitas exibem uma composição regular dentro e ao longo das camadas de cromitito; no depósito de Pedrinhas a variação composicional é marcante, tanto entre os níveis, como no interior dos grãos.

Os caracteres químicos apresentados pelas cromitas foram os seguintes: Nas jazidas de Andorinha — teor máximo de  $Cr_2O_3$ : 50 %, baixa concentração de  $Fe_2O_3$  e  $TiO_2$ , altos teores de  $Al_2O_3$  e  $MgO$ , limitada variação  $Fe^{2+}/Mg$ , e alta razão  $MgO:FeO$ . No depósito de Pedrinhas — teor máximo de  $Cr_2O_3$ : 58 %; alta concentração de  $Fe_2O_3$ ; teores moderados e fracos de  $Al_2O_3$  e  $MgO$ , baixa e moderada concentração de  $TiO_2$ ,  $Fe^{2+}/Mg$  variável, e baixa razão  $MgO:FeO$ .

Os resultados indicam que esses depósitos pertencem a sistemas químicos diferentes, podendo-se então esperar diferentes tipos. Comparando-se com os dados químicos de outros depósitos do mundo, caracterizados como podiformes ou estratiformes, a maior parte das semelhanças encontradas, sugerem para Andorinha o tipo podiforme e para Pedrinhas o tipo estratiforme.

#### INTRODUCTION

Les compositions des chromites d'Andorinha, région I, (gisements de Medrados et Ipueira par  $10^{\circ} 18'$  de latitude sud et  $39^{\circ} 44'$  de longitude ouest) et de Campo-Formoso, région II (gisement de Pedrinhas, par  $10^{\circ} 30'$  de latitude sud et  $40^{\circ} 20'$  de longitude ouest) sont comparées, entre elles et avec les chromites des principaux gisements du monde, ceci afin d'obtenir des données plus précises sur les deux principaux gisements de chrome du Brésil.

#### DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES

Parmi les travaux, plus particulièrement consacrés aux problèmes de classification et de genèse des différents gisements de chromite, il faut citer ceux de THAYER (1946, 1960, 1964, 1969 et 1973) et divers articles des livres édités par WYLLIE (1967), WILSON (1969) et IRVINE (1976).

Localement, il faut citer les travaux de SOUZA (1942), POESCHL (1966), THAYER (1970), qui caractérisent les gisements de Campo-Formoso comme faisant partie d'un complexe stratiforme intrusif sur un socle gneissique, exposé à une longue période d'érosion et recouvert par les sédiments du groupe Jacobina. BACELLAR et LEAL (1973), SUSZCZYNSKI

(1975) et les géologues de PROGEO (1976) pensent que le complexe ultrabasique de Medrados à Andorinha est lui aussi, stratiforme et fortement tectonisé. FIGUEIREDO (1977) compare les dépôts de chromite du Goiás et de Campo-Formoso et les caractérise respectivement comme podiformes et stratiformes. En dehors de ces travaux spécifiques, existent des études régionales englobant les régions étudiées :

Projeto Cromo (1972, CPRM/DNPM), Projeto Bahia (1975, CPRM/DNPM), Projeto Rochas Básicas et Ultrabásicas de Euclides Da Cunha (1976, PROSPEC/SME), Projeto Serra de Jacobina (1978) et les rapports de PROGEO S.A. (1977).

#### LA GÉOLOGIE

##### Géologie Régionale

Les données concernant la géologie sont extraites des rapports concernant divers projets cités ci-dessus. La figure 2 donne une idée de la géologie régionale.

##### Région I

Les unités lithologiques d'Andorinha forment un ensemble de roches gneissiques migmatisées attribuées au groupe Caraíba, d'âge transamazonien

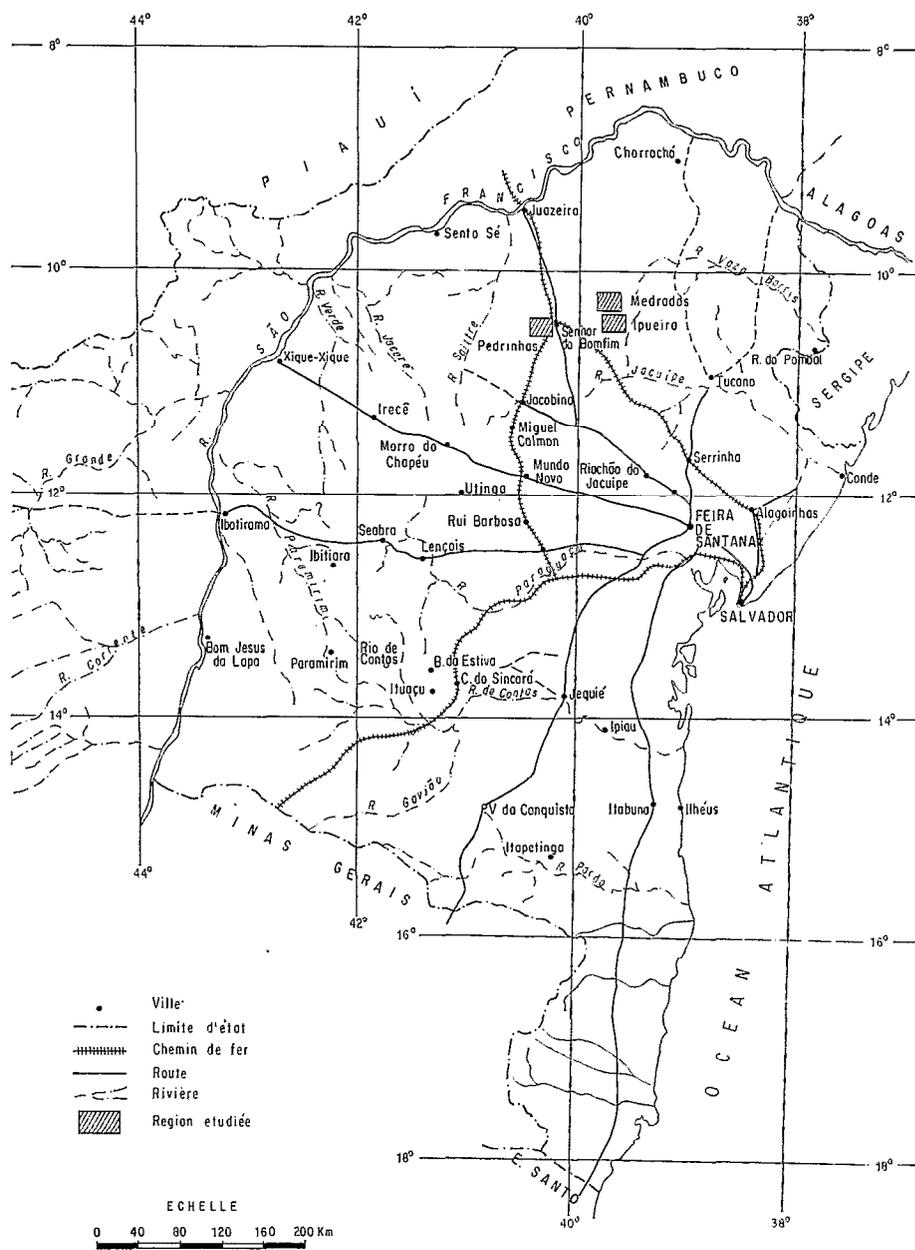


Fig. 1. — Carte de situation.

minimum ( $\geq 1\ 900$  M.A.). Une partie des roches a atteint un haut degré de métamorphisme, des granulites étant parfois rencontrées. Dans cette grande série gneissique, métasédimentaire, plus ou moins migmatisée, on rencontre des amphibolites, des corps basiques et ultrabasiques des roches calcosilicatées et des intrusions de syénites. Structuralement la région est formée par un grand synclinorium composé de plis asymétriques et couchés. Les

orthosyénites de la Serra de Itiuba apparaissent dans l'axe du synclinal.

La région est fortement faillée et au contact syénites roches encaissantes, apparaissent des zones cisillées à mylonites et roches cataclastiques.

Les corps basiques et ultrabasiques apparaissent dans toute la région sous forme d'intrusions concordantes à la foliation des roches migmatiques. Ils sont constitués par une association de roches

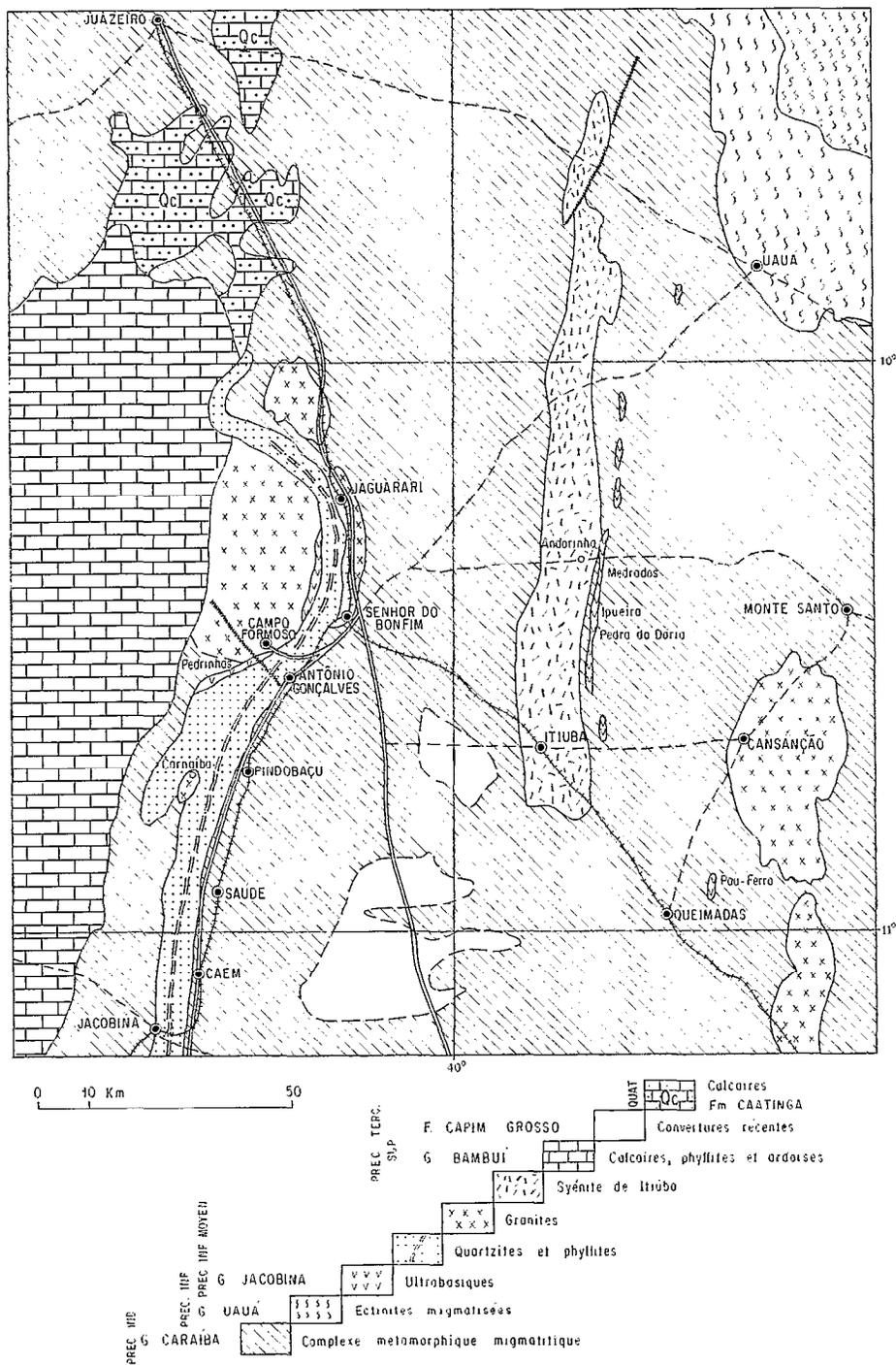


Fig. 2. — Carte géologique, basé sur la carte de l'État de Bahia, 7<sup>e</sup> District D.N.P.M., adapté par la Ferbasa.

basiques, norites, gabbros et diorites avec des intercalations ultrabasiques de pyroxénites et de serpentinites. La mise en place de la plupart de ces corps paraît due à des effets tectoniques.

Les relations de contact entre les corps ultrabasiques minéralisés en chromite et le socle ne sont pratiquement pas visibles sur le terrain par suite de l'importance de la couverture secondaire. Dans l'ensemble, ils apparaissent orientés parallèlement à la foliation régionale des roches encaissantes. Dans la plupart des occurrences, on observe, associées aux gabbros et serpentinites, des couches de marbre à serpentine qui pour certains auteurs représentent une substitution des minéraux primaires par de la calcite car il a été trouvé des lentilles de chromite dans ces marbres. Des diopsidites, composées presque exclusivement de diopside et d'un peu d'amphibole sont aussi observées dans les associations ultrabasiques.

### Région II

La géologie régionale est caractérisée par la présence des groupes Caraiba, Jacobina, Bambui et des pointements de granites dont le plus important est celui de Campo Formoso.

Le groupe Caraiba, déjà rencontré dans la région I, représente la partie la plus ancienne, il serait du Précambrien moyen à inférieur et d'âge minimum transamazonien. Il est caractérisé par la présence de migmatites, ectinites métasédimentaires, amphibolites, leptinites, gneiss, granites et des corps basiques et ultrabasiques minéralisés en chromite. Le degré de métamorphisme est élevé à moyen, avec par endroit, un rétométamorphisme du type schistes verts.

Le groupe Jacobina comprend les formations Rio do Ouro, Cruz Das Almas, Serra do Meio et Agua Branca. On y rencontre surtout des quartzites à fuchsite et séricite, parfois aurifères, des schistes et des phyllites. Le degré de métamorphisme varie de celui des schistes verts à celui des amphibolites. Des corps intrusifs, étroits et souvent très allongés, recoupent les roches du groupe précédent, il s'agit de métapéridotites, formations serpentinisées à structure de cumulat. L'âge de ces formations, ici aussi, est précambrien moyen à inférieur et au minimum, transamazonien.

Une séquence paramétamorphique, du Précambrien moyen à supérieur, recouvre la série précédente vers le nord. Elle est représentée par des sédiments clastiques et chimiques (carbonates) du groupe Una (Supergroupe Sao Francisco). De nombreux pointements granitiques sont visibles dans la région. Le plus important est celui de Campo-Formoso, qui affleure près de la ville du même nom. On y trouve

des xénolithes, des quartzites, des roches basiques et ultrabasiques. Son âge est transamazonien, 1900  $\pm$  13 M.A. (TORQUATO *et al.* 1978). Les gisements de chromite se trouvent sur le flanc sud du batholite.

### Géologie locale

#### Région I

Le gisement de chromite de la fazenda Medrados se trouve dans une bande de roches ultrabasiques, orientée nord sud et large de 300 m. L'ensemble forme un synclinal pincé et déversé vers l'Ouest. La chromite apparaît sous forme de lentilles ou de couches fracturées, épaisses d'environ 14 m, disloquées par de petites failles orientées NE et NW. Cette chromite est incluse dans une couche de serpentinite noire très fracturée, large d'environ 80 m (fig. 3). En allant vers le centre du synclinal, on rencontre du gabbro amphibolitisé puis des marbres à serpentine et parfois des roches calcosilicatées riches en épidote. Une roche de composition granitique recoupe par endroit ces dernières roches. La carte en annexe donne une idée de la géologie de la région. THAYER (communication orale, 1973) et la PROGEO (1976) estiment que le gisement de Medrados est du type stratiforme, assez fortement métamorphisé et tectonisé.

Le gisement de la fazenda Ipueira, qui apparaît au sud dans le prolongement du précédent, est formé par des roches fortement serpentinisées, associées à des roches calcosilicatées et à des marbres à forstérite (Projeto Bahia, 1975). Dans la serpentinite, les fractures en général abondantes sont remplies de talc, fuchsite et épidote. Près de la surface on y trouve des carbonates.

#### Région II

Le corps ultrabasique de Campo-Formoso affleure sur une longueur de 15 km environ. Sa largeur, très irrégulière atteindrait, par endroit, 600 m. Il est difficile de connaître l'importance réelle de cet ensemble car son sommet érodé a été recouvert par les quartzites du groupe de Jacobina qui masquent ainsi une partie des roches ultrabasiques (fig. 2 et 4).

Topographiquement, à la base, on trouve les granites de Campo-Formoso. Le contact de la série ultrabasique avec ce granite est assez irrégulier, il peut être en contact direct avec les serpentinites ou avec le gabbro.

Dans les serpentinites on trouve, dans la partie actuellement exploitée (fouille de 45 m à Pedrinhas), trois niveaux minéralisés, épais de quelques mètres, appelés supérieur, moyen et inférieur (fig. 4).



Les caractéristiques de ces niveaux observées dans la carrière sont les suivantes :

— Le niveau supérieur est formé par des serpentinites à chromite totalement altérées en smectite, la chromite donne du minerai friable sauf à l'ouest où il devient massif.

— Le niveau moyen, en général, lui aussi très altéré, est formé par des bandes de minerai centimétrique alternant avec des bandes de serpentinites de même épaisseur. L'ensemble est assez fracturé et les fractures sont remplies de magnétite, talc et chlorite.

— Le niveau inférieur, épais de 3m environ, présente un minerai disséminé ou rubanné puis massif à la base.

L'altération météorique des serpentines est ici incomplète. Dans chaque niveau il a été observé que le minerai est, en général, plutôt massif à la base, et plutôt disséminé au sommet.

#### LES MÉTHODES D'ÉTUDE

L'échantillonnage a été fait de façon à vérifier les possibilités de variations en fonction, de la position (verticale ou horizontale) des échantillons dans les couches minéralisées, de l'effet possible de l'altération superficielle sur les chromites. Les figures 3 et 5 donnent la position des échantillons dans les divers gisements.

#### Préparation des échantillons

Après broyage, tamisage et séparation au bromoforme, les minéraux lourds ont été séparés en diverses fractions au séparateur magnétique Frantz. Deux fractions ont été particulièrement étudiées, la fraction magnétique et celle attirée par un champ développé par un courant de 0,4 A. Il est évident que malgré toutes les tentatives de purification, il subsiste, liées aux chromites une petite quantité d'impuretés, en particulier de la chlorite souvent chromifère (kotshubéite) et plus rarement, du talc ou de la serpentine.

Les teneurs en silice donnent une idée de l'importance des impuretés.

#### Méthodes d'analyse

Les échantillons séparés ont été analysés par absorption atomique ou par microsonde sur des grains de même fraction. Cette dernière technique a été la plus utilisée. Dans ce cas, les résultats sont donnés grain par grain (en général 20 grains par échantillon), bord et centre de chaque grain, moyenne des bords et moyenne des grains.

#### Traitement des données

Deux programmes ont été utilisés pour les calculs des formules des spinelles, celui de STOLL (1958) utilisé par l'Université de London (Western Ontario) au Canada et adapté par le Centre de Calcul de l'Université de Salvador (Bahia). Il permet les calculs de  $Fe^{2+} Fe^{3+}$  à partir du fer total ; les proportions atomiques des divers éléments de la chromite, la détermination de la proportion des composants normatifs : chromite (Mg, Fe),  $Cr_2O_4$ , spinelle (Mg, Fe)  $Al_2O_4$  et magnétite  $Fe Fe_2O_4$ , dans les minéraux étudiés.

Ces déterminations ont été recalculées à 100 % et lancées dans des diagrammes triangulaires en utilisant le programme TERRA adapté par DAVIS (1973).

#### RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

##### Présentation des résultats

Les résultats des analyses chimiques des chromites sont présentés dans les tableaux qui suivent. Dans la région I, les échantillons ont été pris aux extrémités et au milieu des corps minéralisés, dans la région II, ils ont été prélevés au sommet, au milieu et à la base des différentes couches. Les bords et centres des grains de chromite ont été systématiquement analysés à la microsonde.

De l'observation des tableaux I, II, III, il ressort que, dans la région I, les résultats sont dans l'ensemble homogènes. On note de petites différences entre les échantillons de l'extrémité ouest du corps minéralisé est, à Medrados, plus riches en fer (FeO) et plus pauvres en MgO et  $TiO_2$ .

*Dans la région II la composition des chromites est très hétérogène.*

a. *Niveau supérieur.* Sauf pour le titane, concentré sur les bords des grains, les autres éléments varient peu du bord au centre des grains. Un échantillon de la base SPO3FM est particulièrement riche en titane et pauvre en Al et Mg. Cet appauvrissement est compensé par une augmentation du fer total. Cet échantillon rappelle la ferritchromite de BLISS *et al.* (1975) et PANAYIOTOU (1978).

Quant aux échantillons du milieu et du sommet de la couche, ils sont en général, plus riches en MgO et plus pauvres en FeO. Au milieu, la teneur de  $Cr_2O_3$  est plus élevée.

b. *Niveau moyen.* La différence entre centre et bord des grains est bien marquée.

Le centre, normalement, est plus riche en  $Al_2O_3$ . Les échantillons de la base du niveau sont les plus

TABLEAU I

## Analyse par microsonde des chromites de la région I

Échantillons	Oxydes %		TiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		FeO		MgO	
	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)
<b>MEDRADOS</b>														
(E) E <sub>E</sub> SM 14 - 0,4 A....	0,31	0,22	19,11	19,20	48,86	49,80	3,32	3,34	12,84	12,40	14,31	14,80	98,70	99,70
SM 16 - 0,4 A....	0,27	0,29	20,11	20,50	45,91	46,02	5,93	6,19	12,25	12,45	14,90	15,03	99,40	100,50
SM 21 - 0,4 A....	0,31	0,27	19,51	19,06	48,06	48,34	4,86	4,65	12,81	12,80	14,66	14,50	100,20	99,60
SM 26 - 0,4 A....	0,30	0,25	19,42	18,91	47,54	48,07	4,90	4,85	12,33	12,50	14,75	14,62	99,30	99,30
M SM 24 - 0,4 A....	0,32	0,26	18,70	18,52	49,35	49,30	4,62	4,30	12,32	12,75	14,80	14,45	100,00	99,60
E <sub>W</sub> SM 12 - 0,4 A....	0,07	0,06	16,48	15,91	49,80	50,30	3,78	3,33	20,06	20,50	9,44	9,00	99,60	99,10
SM 25 - 0,4 A....	0,22	0,21	19,42	19,00	46,98	47,85	4,60	4,75	15,32	15,12	12,81	13,03	99,30	99,90
<b>(W) E<sub>E</sub> SM 01 - 0,4 A....</b>														
M SM 05 - 0,4 A....	0,32	0,57	19,96	19,81	47,23	46,82	4,61	4,52	12,82	12,37	14,55	14,74	99,50	98,90
SM 09 - 0,4 A....	0,20	0,20	18,62	18,65	48,31	47,91	4,37	4,15	15,08	15,02	12,92	12,81	99,50	98,70
E <sub>W</sub> SM 10 - 0,4 A....	0,19	0,22	19,84	20,50	45,79	44,94	4,63	4,93	15,66	15,35	12,47	12,80	98,60	98,80
<b>IPUEIRA</b>														
E <sub>E</sub> SI 15 - 0,4 A....	0,28	0,29	18,38	18,23	47,39	47,46	5,75	6,05	14,05	13,75	13,54	13,76	99,40	99,60
SI 28 - 0,4 A....	0,18	0,20	18,87	18,97	50,33	50,43	2,44	2,86	13,10	12,63	14,17	14,55	99,10	99,40
M SI 01 - 0,4 A....	0,37	0,30	19,17	18,95	49,20	48,90	4,18	4,20	10,95	10,52	15,72	15,77	99,60	98,70
SI 12 - 0,4 A....	0,32	0,31	19,10	19,30	49,20	48,96	4,62	4,53	10,95	10,87	15,78	15,81	100,00	99,80
E <sub>W</sub> SI 16 - 0,4 A....	0,19	0,19	17,21	17,35	48,90	48,26	5,41	5,24	15,40	15,40	12,60	12,45	99,70	98,90
SI 29 - 0,4 A....	0,29	0,21	19,00	19,23	48,77	48,52	4,73	4,70	12,24	12,00	14,92	15,03	99,90	99,70

(C) et (B) : moyenne des centres et des bords des grains ; (W) : corps minéralisé ouest ; (E) : corps minéralisé est ; E<sub>E</sub> : échantillon de l'extrémité est du corps minéralisé est ; E<sub>W</sub> : échantillon de l'extrémité ouest du corps minéralisé est ; M : échantillon du milieu du corps minéralisé.

riches en chrome, ils sont relativement pauvres en fer et en titane, surtout au centre des grains, où l'on note une augmentation de MgO et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Les centres des grains du milieu de ce niveau sont un peu plus riches en TiO<sub>2</sub> et un peu plus pauvres en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et MgO que les précédents.

Au sommet du niveau, le fer est plus abondant et les trois autres composantes plus rares.

c. *Niveau inférieur.* Sur les bords des grains l'aluminium diminue, remplacé par le fer. On ne note pas de variation en fonction de la position des échantillons.

En résumé, on peut faire les remarques suivantes :

Les caractères géochimiques des chromites du niveau supérieur sont légèrement différents de ceux des 2 autres niveaux. teneurs en Cr et Al légèrement plus faibles, fer ferrique peu abondant, inférieur à 6 % en moyenne.

Dans le niveau moyen en allant de la base au sommet de la couche, on a constaté que les chromites s'enrichissent en fer total, alors que Cr et Al diminuent, phénomènes qui s'accompagnent d'une plus

grande hétérogénéité dans la composition des grains. Les résultats présentés dans le tableau III montrent que les différences entre les diverses fractions analysées ne justifient pas les différences observées d'un niveau à l'autre.

Les variations observées sont une plus grande richesse en Al et Mg de la fraction 0,4 A et en Fe pour la fraction FM.

*Interprétation à l'aide de diagrammes triangulaires*

Deux systèmes ont été utilisés :

a. Composition normative : Sr spinelle (Mg, Fe), Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Cr, chromite (Mg, Fe) Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> et Mt, magnétite FeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (STEVENS, 1944).

b. Relations entre atomes de Cr, Al, Mg DICKEY (1975).

*Région I*

*Système Sp, Cr, Mt.* La figure 5 montre un bon regroupement des données analytiques situées

TABLEAU II

Analyse par microsonde de chromites de la région II

Oxydes Échantillons	TiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		FeO		MgO			
	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)
NIVEAU SUPÉRIEUR														
T <sub>C</sub> SP 01 - FM.....	0,20	0,23	10,87	11,98	51,48	52,25	7,25	4,75	23,25	23,25	6,71	6,80	99,76	99,26
M <sub>C</sub> SP 04 - 0,4 A.....	0,12	0,16	8,75	8,00	55,60	56,92	5,00	4,32	22,81	23,23	6,73	6,39	99,00	99,00
B <sub>C</sub> SP 03 - FM.....	1,04	1,30	5,47	4,47	51,79	52,41	9,59	9,09	30,54	31,00	1,70	1,52	100,13	99,73
SP 05 - 0,4 A.....	0,23	0,27	12,97	12,95	50,20	49,95	5,82	5,87	25,27	25,15	5,85	5,87	100,37	100,06
NIVEAU MOYEN														
T <sub>C</sub> SP 07 - FM.....	0,35	0,39	0,34	0,16	27,80	27,80	40,85	40,54	27,90	27,80	2,35	2,27	99,60	99,00
SP 08 - FM.....	0,36	0,36	0,31	0,12	35,12	29,83	34,58	35,30	28,40	27,40	2,42	3,32	101,00	97,00
SP 14 - RX.....	0,21	0,23	13,14	12,76	53,75	53,50	0,08	0,13	26,95	28,43	5,00	3,36	99,13	98,41
M <sub>C</sub> SP 10 - FM.....	0,41	0,43	0,84	0,80	42,72	42,21	24,59	24,22	27,40	28,30	2,84	2,08	99,00	98,10
B <sub>C</sub> SP 11 - RX.....	0,24	0,32	13,00	9,03	50,70	51,14	7,24	8,76	17,60	24,13	10,60	6,26	99,40	99,60
SP 16 - FM.....	0,18	0,23	14,46	12,16	54,90	54,66	0,08	0,66	26,03	28,08	5,07	4,13	100,70	100,92
NIVEAU INFÉRIEUR														
T <sub>C</sub> SP 25 - 0,4 A.....	0,13	0,13	12,00	11,90	58,60	58,66	1,12	1,90	15,64	14,50	11,90	12,70	99,40	99,80
SP 33 - 0,4 A.....	0,23	0,22	15,20	13,44	52,72	52,22	0,05	2,61	21,74	23,13	7,85	6,91	97,80	97,30
M <sub>C</sub> SP 34 - FM.....	0,23	0,29	15,62	12,80	52,82	51,13	1,50	5,90	19,40	19,90	9,80	9,10	99,40	99,20
B <sub>C</sub> SP 26 - 0,4 A.....	0,16	0,15	12,93	11,67	57,26	59,43	2,83	2,59	12,11	12,30	14,30	14,21	99,60	100,30
SP 29 - FM.....	0,22	0,20	14,67	11,76	53,90	54,55	1,35	3,80	19,07	19,30	9,82	9,40	99,10	99,10
SP 30 - 0,4 A.....	0,22	0,21	14,60	14,30	52,60	52,56	5,03	4,33	16,90	17,75	11,62	10,80	100,90	99,90

(C) et (B) : moyenne des centres et des bords des grains ; T<sub>C</sub> : échantillon du sommet de la couche ; M<sub>C</sub> : échantillon du milieu de la couche ; B<sub>C</sub> : échantillon de la base de la couche ; RX : échantillon brut ; FM et 0,4 A : fractions séparées à l'aimant et au séparateur FRANTZ.

TABLEAU III

Analyse à la microsonde de différentes fractions de chromites

Oxydes % Échantillons.....	TiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		FeO		MgO			
	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	(B)
SP 01 - FM.....	0,20	0,23	10,90	12,00	51,50	52,25	7,25	4,75	23,25	23,25	6,71	6,80	99,80	99,30
SP 01 - 0,4 A.....	0,18	0,19	11,44	11,12	53,44	53,67	5,02	5,03	19,12	19,17	9,33	9,24	98,50	98,50
SP 05 - FM.....	0,24	0,26	11,00	11,13	51,30	50,91	5,30	5,09	27,03	25,94	4,76	4,76	99,60	98,10
SP 05 - 0,4 A.....	0,23	0,27	12,90	12,90	50,20	50,00	5,82	5,90	25,27	25,15	5,85	5,87	100,20	100,00
SP 11 - FM.....	0,25	0,31	12,34	10,00	53,00	53,90	6,87	6,15	18,74	22,72	10,30	7,19	101,50	100,30
SP 11 - RX.....	0,24	0,32	13,00	9,03	50,70	51,14	7,24	8,76	17,60	24,13	10,60	6,26	99,40	99,60

(C) et (B) : moyennes de centres et bords de grains ; RX : échantillon non séparé ; FM : fraction attirée par un aimant naturel ; 0,4 A : fraction attirée par un champ magnétique créé par un courant de 0,4 A dans un séparateur FRANTZ.

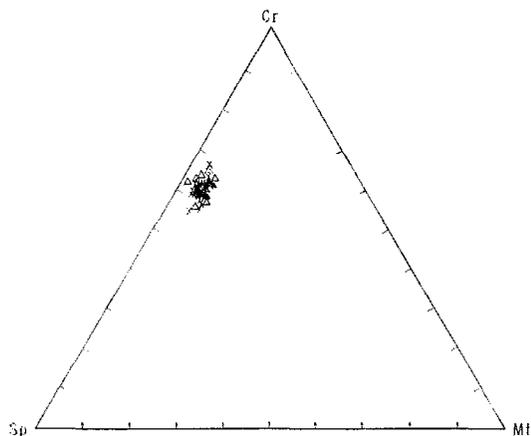


Fig. 5. — Composition normative : chromite, spinelle et magnétite de Medrados et Ipueira. X : Medrados ; Δ : Ipueira.

relativement près du pôle Cr, donnant une composition moyenne des grains de 60 % de Cr, 5 % de Mt et 35 % de Sp. Il est clair que les petites variations observées sont plus liées à une variation Cr-Sp que Cr-Mt comme dans la composition de Sp, Al et Mg ne sont pas séparés, le diagramme suivant va permettre de souligner l'importance de chacun de ces éléments dans la chromite :

*Système Cr, Al, Mg.* La figure 6 montre la répartition atomique des éléments Cr, Al, Mg des chromites. Les compositions de ces minéraux sont proches, de petites variations apparaissent pour les teneurs en Cr et Mg. Les analyses des centres et bords des grains ne montrent pas de différences notables. Les proportions atomiques des trois éléments varient de 35 à 46 % pour le Cr, de 21 à 23 % pour Al et 32 à 44 % pour Mg.

### Région II

*Système chromite, magnétite, spinelle.* La figure 7 regroupe les résultats d'analyse des trois niveaux étudiés, il s'agit de composition moyenne des grains. Sur les trois diagrammes, on note une large majorité de points dans le camp chromite-spinelle, certains grains sont particulièrement riches en Cr.

Dans le niveau moyen, la composition de certains grains qui appartiennent à divers échantillons du niveau, évolue entre les pôles chromite et magnétite avec un très net enrichissement en magnétite. On retrouve là les caractères de la ferrichromite déjà citée.

Il faut noter que dans le niveau moyen 70 % des spinelles sont attirés par un aimant naturel, (fraction FM), dans les autres niveaux, cette fraction repré-

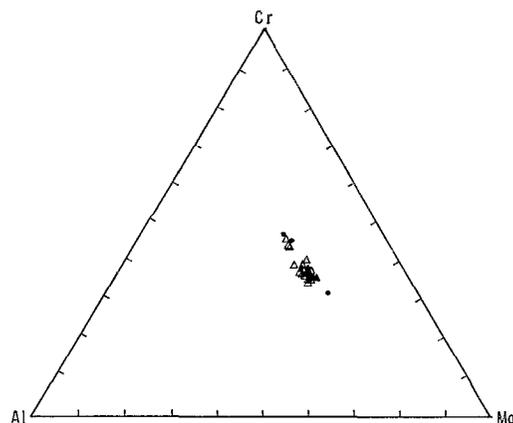


Fig. 6. — Proportions atomiques de Cr, Al et Mg dans les chromites de Medrados et Ipueira (Centre et bord des grains). Δ : centre ; ● : bord.

sente 40 à 50 % des opaques et qu'aucun des points qui les représente ne tombe franchement dans la zone des magnétites vraies.

Par contre, dans le niveau inférieur et moyen, certains grains ne contiennent pratiquement plus de fer.

Les variations de composition sont les suivantes dans les trois niveaux :

- niveau supérieur 65-80 % Cr, 5-17 % Mt, 10-28 % Sp
- niveau moyen 30-75 % Cr, 0-80 % Mt, 0-30 % Sp
- niveau inférieur 65-75 % Cr, 0-10 % Mt, 25-30 % Sp

Il est clair que la plus grande hétérogénéité de composition se rencontre dans les niveaux moyens et supérieurs. Afin de vérifier si cette hétérogénéité n'est pas due à de fortes différences de composition entre bord et centre des spinelles, des analyses de ces deux parties des grains d'un même échantillon sont reportées sur les figures 8, 9 et 10.

Dans la figure 8 sont groupés les résultats de l'analyse des grains d'un échantillon de minerai friable (fraction 0,4 A) du milieu du niveau supérieur ; centre et bord des grains montrent une composition variant peu, le fer est peu abondant. Le minerai massif, de la base du niveau, dont les grains sont attirés par un aimant naturel (fraction FM) montre une certaine dispersion dans les résultats. La teneur en magnétite varie peu : 5 à 15 %. La spinelle varie entre 2 et 25 % et Cr entre 65 et 90 %. C'est entre la composition du centre des grains que l'on observe la plus grande variabilité.

On peut penser que les variations observées sont dues à des différences entre les fractions analysées. Les figures 8 et 10 montrent les faibles variations de composition de deux fractions différentes d'un même échantillon, variations qui pour la fraction FM ne

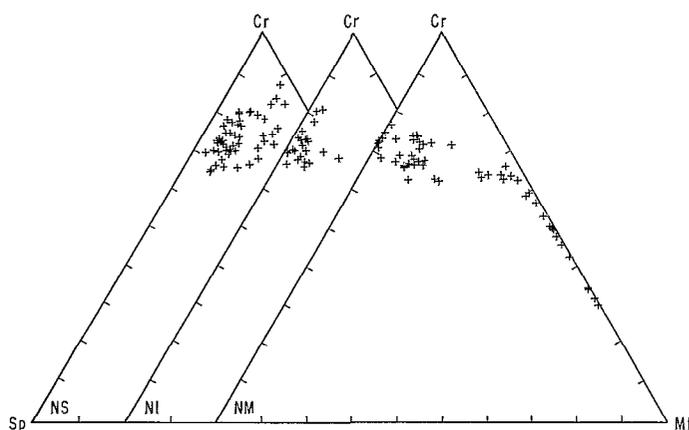


Fig. 7. — Composition normative : chromite, spinelle et magnétite des chromites des trois niveaux de Pedrinhas. (Moyenne de l'analyse des grains). NS : niveau supérieur ; NI : niveau inférieur ; NM : niveau moyen.

correspondent pas toujours à une augmentation du fer ou de la magnétite normative dans l'échantillon. Les résultats de l'analyse de ces fractions sont reportés dans le tableau III.

Les figures 9 et 10 correspondent à des échantillons du niveau moyen, les fractions FM de tous les échantillons de ce niveau ont été analysées afin d'avoir des données parfaitement comparables.

La figure 9 montre deux échantillons assez nettement différents : SP 10 (minerai lité du milieu du niveau) a une composition normative qui varie entre spinelle et magnétite, la teneur en Cr restant constante.

Dans SP 8 (minerai disséminé du sommet), les variations se font entre les pôles chromite et magné-

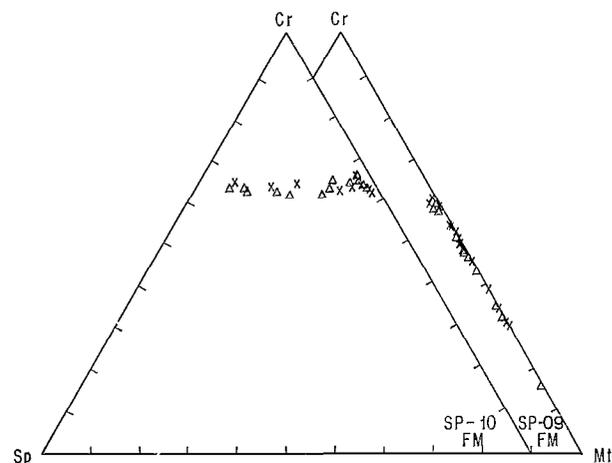


Fig. 9. — Composition normative : chromite, spinelle et magnétite du niveau moyen de Pedrinhas. (Centre et bord des grains). X : centre ; Δ : bord.

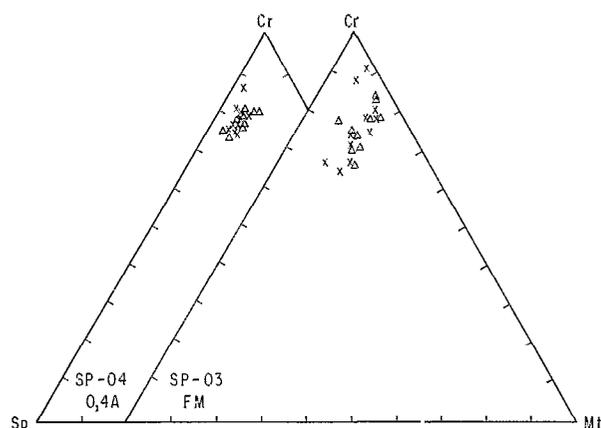


Fig. 8. — Composition normative : chromite, spinelle et magnétite des chromites du niveau supérieur de Pedrinhas. (Centre et bord des grains). X : centre ; Δ : bord.

tite, les teneurs en spinelle étant quasiment nulles, avec quelques points très riches en fer.

La figure 10 montre des groupements, centre et bords des grains, différents des précédents.

Dans SP 16 (minerai lité de la base), le centre des grains est appauvri en fer, et dans SP 11 (minerai massif de la base) en allant du centre vers le bord des grains, on constate un enrichissement en chromite et un appauvrissement en spinelle.

Les figures 11 et 12 correspondent à une étude comparative entre les fractions FM et 0,4 A d'un même échantillon. Le fait important est que l'on constate qu'il n'y a pas de variations importantes en magnétite normative d'une fraction à l'autre d'un même échantillon. La fraction FM montre toutefois,

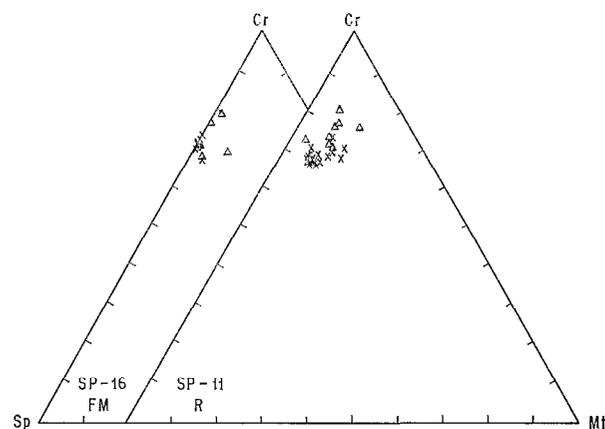


Fig. 10. — Composition normative : chromite, spinelle et magnétite du niveau moyen de Pedrinhas. (Centre et bord des grains). X : centre ; Δ : bord.

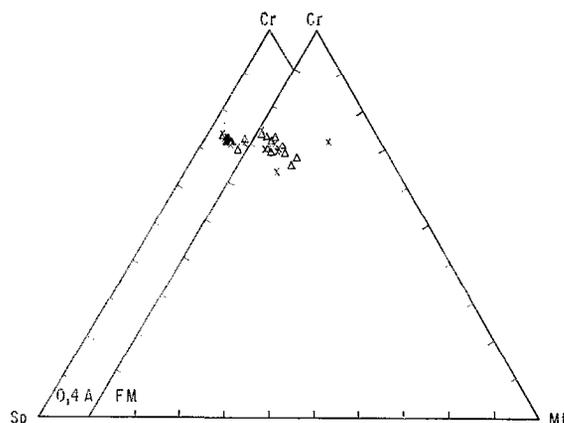


Fig. 11. — Composition normative : chromite, spinelle et magnétite des fractions FM et 0,4 A de l'échantillon SP-01. (Centre et bord des grains). X : centre ; Δ : bord.

une plus grande variabilité en magnétite que la fraction 0,4 A, variabilité qui reste faible (la teneur en Mt ne dépasse pas 20 % et est en moyenne de 10 %). Les variations centre-bord des grains restent relativement faibles.

*Système Cr - Al - Mg.* La figure 13 représente la proportion atomique de ces trois éléments des échantillons des 3 niveaux, tout en séparant les données centre et bord. La dispersion des données avec ce système est nettement plus importante que dans le cas précédent et les variations se font plus entre les pôles Cr - Mg que les pôles Cr - Al.

Dans le niveau supérieur, centre et bord de grains, se groupent entre les pôles Cr et Mg avec des variations mineures d'Al. Les teneurs (en atomes) varient entre 50 et 90 % pour Cr, 5 à 25 % pour Al et 7 à 35 % pour Mg.

Dans le niveau moyen on rencontre 3 groupements : un groupe relativement riche en Mg comme dans le cas du niveau inférieur 43 à 55 % de Cr, 15 à 20 % d'Al et 30 à 40 % de Mg, un groupe intermédiaire contenant 55 à 70 % de Cr, 10 à 20 % d'Al et 15 à 30 % de Mg et un groupe supérieur pauvre en Al et Mg 70 à 85 % de Cr, 1 à 5 % d'Al et 10 à 20 % de Mg, il s'agit là de grains correspondant aux ferritchromites des figures 7 et 9, pauvres en spinelle. Dans le cas des deux premiers groupes, il faut noter que centre et bord de grains sont assez séparés avec un appauvrissement des bords en Mg et Al.

Dans le niveau inférieur, les compositions des centres des grains sont bien groupées, alors que celles des bords sont beaucoup plus dispersées avec perte d'Al et de Mg et une augmentation en Fe et Cr comme le montre le tableau 2.

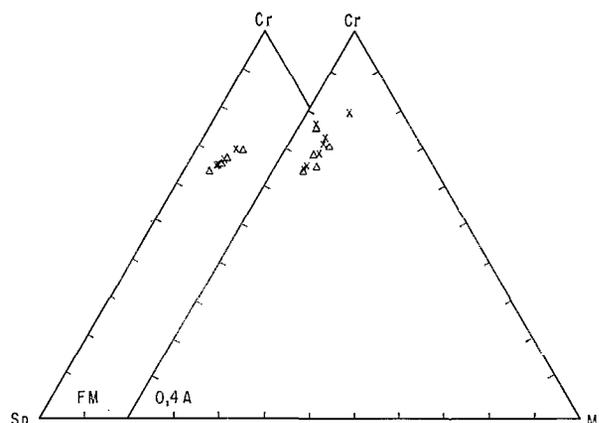


Fig. 12. — Composition normative : chromite, spinelle et magnétite des fractions FM et 0,4 A de l'échantillon SP-05. (Centre et bord des grains). X : centre ; Δ : bord.

Les figures 14 et 15 représentent encore une fois des fractions FM et 0,4 A de 2 échantillons du niveau inférieur. Dans les deux cas, la concordance entre centres et bords est bonne. La fraction FM montre une dispersion un peu plus grande que celle de 0,4 A. Elles montrent bien que dans la fraction FM les variations de composition sont non seulement liées au fer, mais aussi à l'Al et Mg.

La figure 15 montre un cas où, la composition des grains varie selon une médiane à Al - Mg, c'est-à-dire que, quand le Cr varie, Al et Mg varient également, en quantité égale à la moitié de la variation de Cr.

### Étude comparative

#### Comparaison entre les deux régions étudiées

Les relations entre oxydes ou éléments suivants ont été étudiées (moyenne de composition de chaque grain) :  $Al_2O_3 - Cr_2O_3$  ;  $FeO - MgO$  ;  $MgO - Al_2O_3$  ;  $Fe^{2+}/Mg - TiO_2$ .

La figure 16 montre les relations entre  $Al_2O_3$  et  $Cr_2O_3$ . Dans la région I, malgré une assez bonne homogénéité de composition, il y a de faibles variations de  $Cr_2O_3$  et des variations un peu plus importantes de  $Al_2O_3$ , le rapport  $Cr_2O_3/Al_2O_3$  varie entre 2,3 et 3,3.

Dans la région II les variations sont plus importantes. L'aluminium diminue en allant du niveau inférieur au supérieur. Le niveau moyen présente deux groupes de points, un groupe à faible variation de l'aluminium, et l'autre, qui correspond au groupement des ferritchromites des figures 7 et 9 où l'aluminium est presque absent et le chrome varie fortement.

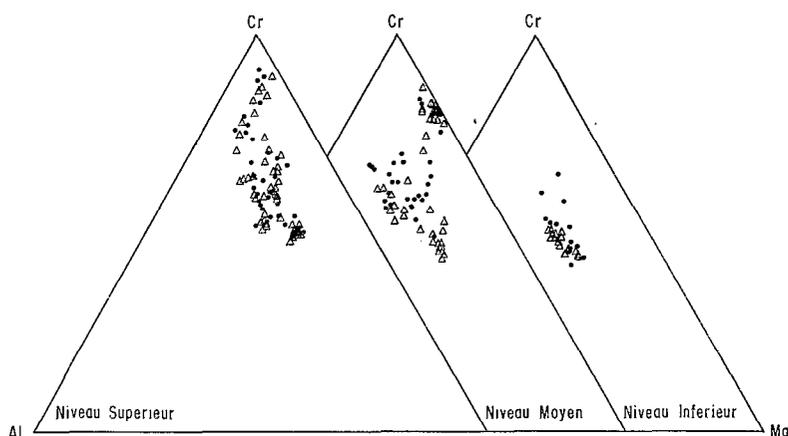


Fig. 13. — Proportions atomiques de Cr, Al et Mg dans les chromites des 3 niveaux de Pedrinhas. (Centre et bord des grains)  $\Delta$  : centre ;  $\bullet$  : bord.

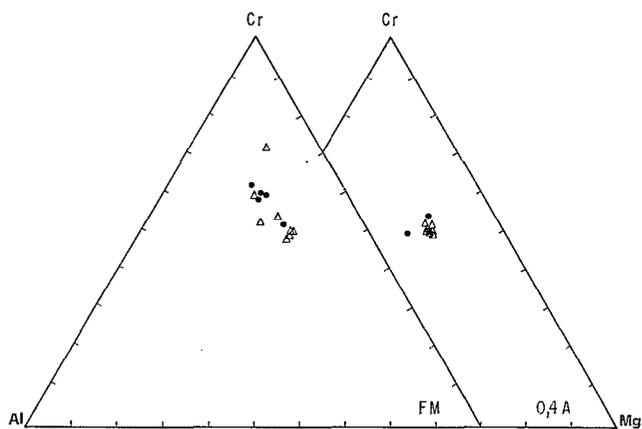


Fig. 14. — Proportions atomiques de Cr, Al et Mg dans les fractions FM et 0,4 A de l'échantillon SP-O1. (Centre et bord des grains).  $\Delta$  : centre ;  $\bullet$  : bord.

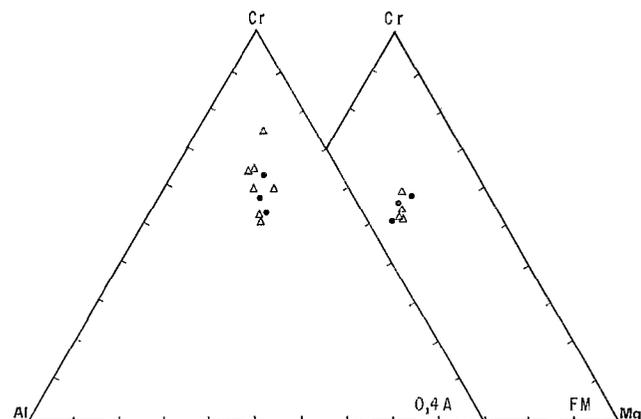


Fig. 15. — Proportions atomiques de Cr, Al et Mg dans les fractions FM et 0,4 A de l'échantillon SP-O5. (Centre et bord des grains).

Le rapport  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  est très variable dans les trois niveaux :

- niveau supérieur : 5,3 - 9,3 ;
- niveau moyen : 4,1 - 53,1 ;
- niveau inférieur : 3,5 - 4,4.

Dans cette région, les chromites sont relativement riches en chrome, surtout le niveau inférieur.

La figure 17 montre une corrélation inverse quasi parfaite entre FeO et MgO, ce qui paraît indiquer que le mode de calcul de FeO n'est pas erroné.

Dans la région I, on constate une prépondérance du magnésium sur le fer et leur rapport varie entre 1 et 1,5.

Dans la région II, les teneurs en FeO sont plus élevées, avec une décroissance vers les niveaux supérieurs, décroissance compensée par MgO.

Le rapport  $\text{MgO}/\text{FeO}$  varie entre, 0,25 et 0,33 dans le niveau supérieur, 0,07 et 0,13 dans le niveau moyen et 0,34 et 0,78 dans l'inférieur.

La comparaison  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$  (fig. 18) fait apparaître pour les échantillons de la région I un groupement alumino-magnésien nettement séparé des chromites de la région suivante.

Dans la région II, le niveau supérieur montre une grande constance en MgO (6 à 7 %), avec de l' $\text{Al}_2\text{O}_3$  variant entre 6 et 13 %.

Le niveau moyen présente deux groupements de points : un groupement correspondant aux ferrochromites très pauvre des deux éléments étudiés et un groupement situé entre les échantillons des 2 autres niveaux avec d'assez fortes variations de MgO (3 à 13 %).

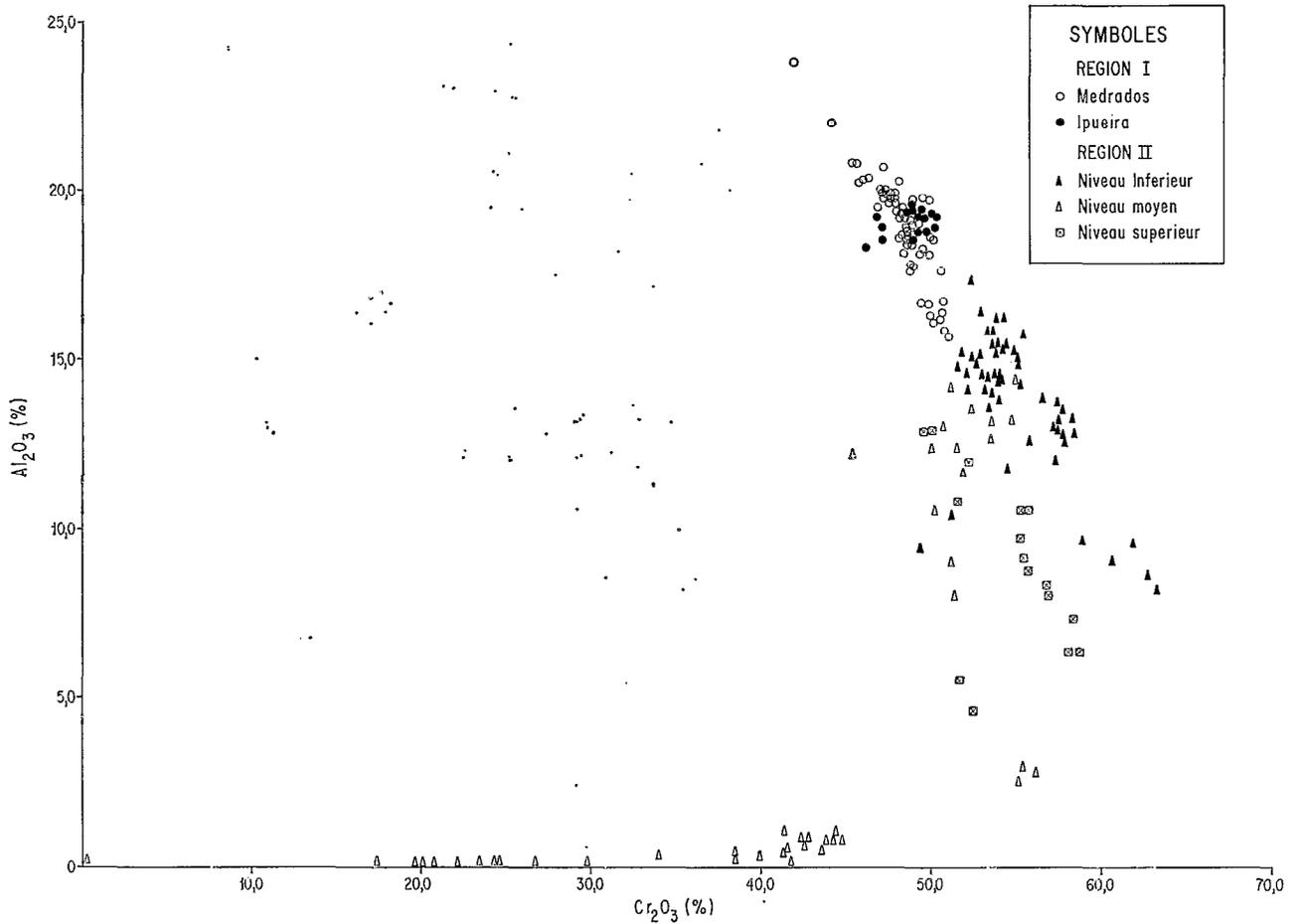


Fig. 16. — Variation de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dans les chromites d'Andorinha et Campo Formoso.

Dans le niveau inférieur aussi, les variations se font surtout au détriment du  $\text{MgO}$ . Les relations  $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}$  avec  $\text{TiO}_2$  sont représentées dans la figure 19.

Dans la région I, le rapport  $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}$  est faible : 0,4 à 0,7, ainsi que les teneurs en  $\text{TiO}_2$  : 0,05 à 0,38 %.

Certains échantillons, pauvres en  $\text{TiO}_2$ , présentent un rapport  $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}$  élevé, atteignant 1,4.

Dans la région II, dans les niveaux inférieurs et supérieurs, les teneurs en  $\text{TiO}_2$  varient de 0,13 à 0,45 % et le rapport  $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}$  varie de 0,5 à 2,5.

Dans le niveau moyen, certains points apparaissent séparés des autres avec  $\text{TiO}_2$  et  $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}$  nettement supérieurs.

De façon à rendre les choses plus claires, toutes les données de composition des chromites des deux régions ont été rassemblées dans le tableau IV.

Les compositions moyennes des chromites des divers échantillons ont été placées sur le diagramme

TABLEAU IV

Comparaison chimique des chromites d'Andorinha et de Campo Formoso

	Andorinha			Campo Formoso		
		NS	NM	NI		
$\text{Cr}_2\text{O}_3$ .....	(3)	(4)	(2)-(4)	(4)		
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	(3)	(3)	(3)-(4)	(2)		
$\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	(4)	(2)	(2)-(1)	(3)		
$\text{FeO}$ .....	(2)	(3)	(4)	(3)-(2)		
$\text{MgO}$ .....	(4)	(2)	(1)-(2)	(4)-(3)		
$\text{TiO}_2$ .....	(1)-(2)	(2)	(2)-(3)	(2)		
$\text{MnO}$ .....	(2)	(3)	(3)	(2)		
$\text{CaO}$ .....	(2)	(1)	(1)	(4)		
$\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}$ .....	(1)	(2)	(2)-(4)	(1)		
$\text{Cr}/\text{Al}$ .....	(1)-(2)	(3)	(3)-(4)	(2)-(3)		

(1) : très peu ; (2) : peu ; (3) : moyen ; (4) : élevé ; NS : niveau supérieur ; NM : niveau moyen ; NI : niveau inférieur.

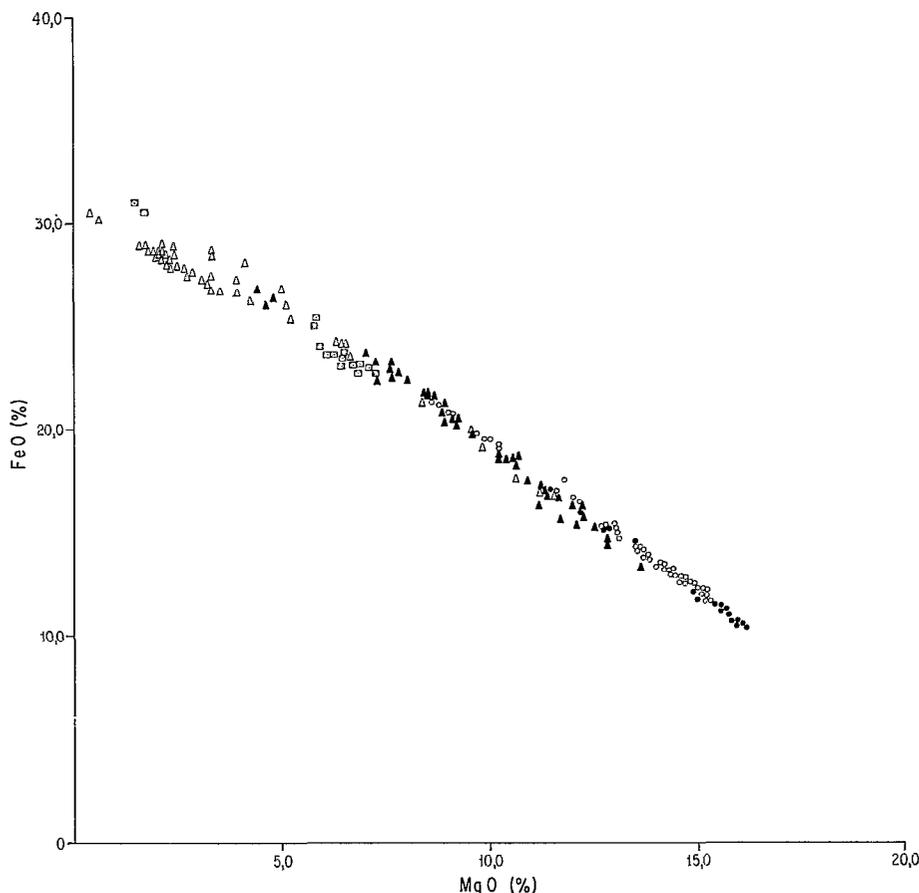


Fig. 17. — Variation de FeO et MgO dans les chromites d'Andorinha et Campo Formoso. Symboles : idem fig. 16.

triangulaire, chromite, magnétite et spinelle comme le montre la figure 20. Les échantillons des deux régions se séparent dans l'ensemble en deux champs distincts.

On observe ainsi les échantillons bien groupés de la région I, relativement riches en spinelle figurés et appauvris en chromite normative.

Dans la région II, les compositions sont moins constantes, avec plus de chromite normative et moins de spinelle normative.

Tous les systèmes de comparaison utilisés mettent en valeur, globalement, la différence de composition des chromites des deux régions, ainsi que la différence de composition entre les chromites des trois niveaux de Pedrinhas. Quelques caractères communs existent entre les chromites d'Andorinha et celles du niveau inférieur de Pedrinhas.

#### Comparaisons avec d'autres dépôts mondiaux

STEVENS (1944), un des précurseurs de l'analyse comparée des chromites mondiales, les classe en

utilisant un diagramme qui correspond à la figure 21. Comparant les figures 20 et 21, les chromites d'Andorinha et la plupart de celles de Campo-Formoso, entrent dans la catégorie des chromites alumineuses, une bonne partie appartenant au degré métallurgique.

Quelques échantillons du niveau moyen de Pedrinhas entrent dans la catégorie chromite ferrifère et magnétite chromifère ou ferrochromites (ferrit-chromite) de BLISS *et al.* (1975).

THAYER (1946), étudiant les relations possibles entre la composition de la chromite et la nature des roches encaissantes a établi un certain nombre de critères dont nous retiendrons les suivants :

a. Les chromites, riches en spinelles normatives, du type de la région I, apparaissent dans des péridotites associées à des gabbros.

b. Les variétés, riches en chromite normative, niveau supérieur et inférieur de la région II, se rencontrent dans des péridotites sans feldspaths.

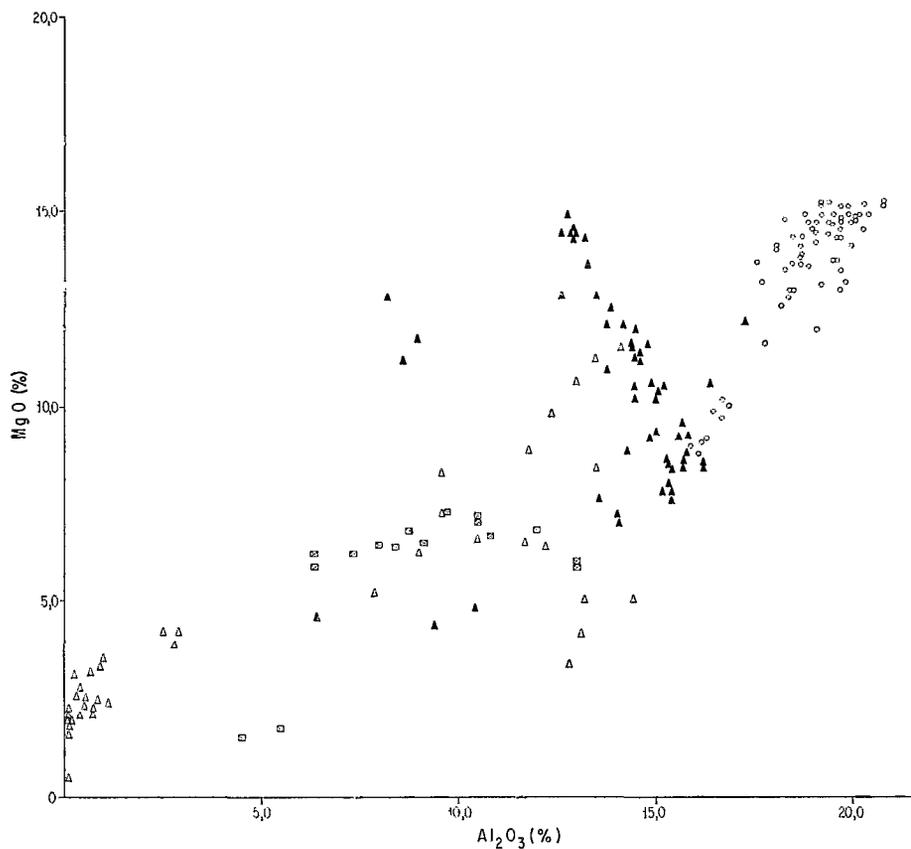


Fig. 18. — Variation de MgO et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dans les chromites d'Andorinha et Campo Formoso. Symboles : idem fig. 16.

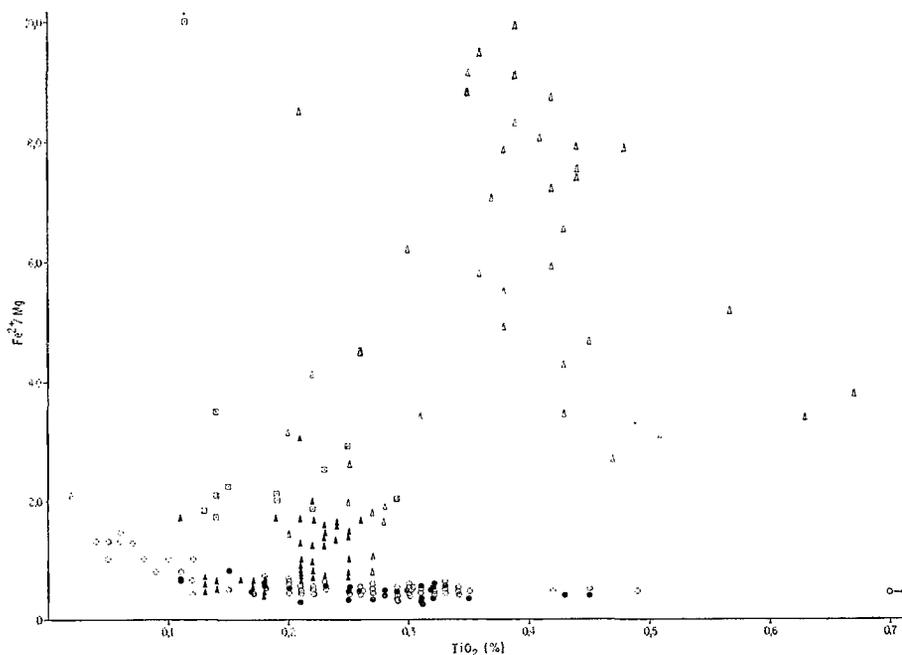


Fig. 19. — Variation du rapport atomique Fe<sup>2+</sup>/Mg et TiO<sub>2</sub> dans les chromites d'Andorinha et Campo Formoso. Symboles : idem fig. 16.

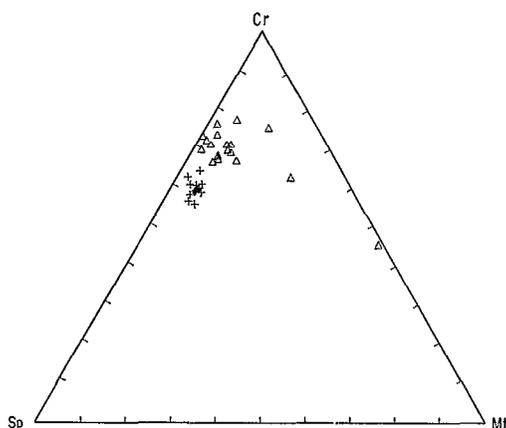


Fig. 20. — Composition normative : chromite, spinelle et magnetite des chromites des deux régions étudiées. (Moyenne des grains de chaque échantillon). + : région I; Δ : région II.

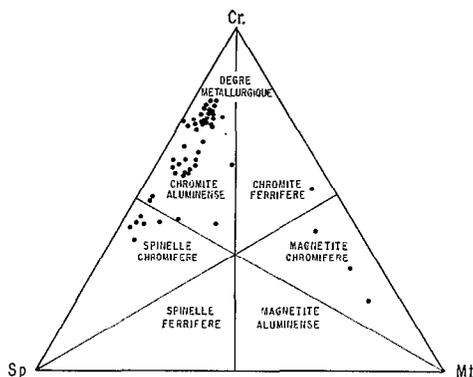


Fig. 21. — Classification et composition de chromites et de minéraux liés au groupe des spinelles. (STEVENS, 1944).

e. Les chromites, dont la composition varie entre les normes des chromites et magnétites, niveau moyen de la région II, se rencontrent dans des complexes stratiformes, riches en pyroxènes.

JACKSON (1964), étudiant les complexes stratiformes, a vérifié que malgré la régularité dans, entre et le long des couches chromifères du complexe de Stillwater, il existe une variation particulière à l'intérieur d'une seule zone, en allant de la base vers le sommet de celle-ci, on observe un enrichissement en fer au dépend du Cr et du Mg.

Cette variation ressemble à celle rencontrée dans le niveau moyen de Pedrinhas. Les chromites du niveau inférieur de ce dépôt, peuvent être reliées aux spécimens du Great Dyke, exceptionnellement riches en MgO et Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Pour aider à la caractérisation des gisements, en

stratiformes ou podiformes, le tableau V présente une comparaison des différents caractères géochimiques des dépôts les mieux connus.

Les études de DICKEY (*op. cit*) montrent que les chromites des deux types sont chimiquement très différentes. La figure 22 correspond à la composition en ions trivalents de chromite de gisements de Stillwater, Haggard et New Mine.

La comparaison avec la figure 20 met en valeur les faits suivants. Les chromites de la région I tombent dans le camp des complexes stratiformes, celles de la région II, dans la partie supérieure du camp des gisements podiformes.

DICKEY (*op. cit*) a comparé le rapport Fe<sup>2+</sup>/Mg aux teneurs en TiO<sub>2</sub> (fig. 23), la comparaison avec la figure 19 apporte les précisions suivantes : la plupart des échantillons de la région I tombent dans la région des chromites podiformes ainsi que des points du niveau inférieur de la région II dont le rapport Fe<sup>2+</sup>/Mg est égal ou inférieur à I.

Le niveau moyen est celui qui montre la distribution la plus typique de complexes stratiformes. Il est intéressant de noter que l'utilisation des deux critères génétiques établis par DICKEY fournit ici des résultats discordants. Dans le diagramme triangulaire Cr<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup> Fe<sup>3+</sup>, les chromites d'Andorinha entre le camp stratiforme et celles de Campo-Formoso dans celui podiforme.

La comparaison Fe<sup>2+</sup>/Mg - TiO<sub>2</sub> nous fournit des données exactement contraires, ce qui montre à l'évidence, que les caractères de distinction utilisés sont imparfaitement adaptés à l'étude des chromites bahianes.

Dans le cas du gisement de Pedrinhas, et cela, malgré toutes les variations observées, chimisme et terrains indiquent une origine du type complexe stratiforme, le niveau inférieur étant le moins caractéristique en ce sens et il peut être comparé à l'exception rencontrée dans le Great Dyke par JACKSON (1964). Il est évidemment difficile de rencontrer un gisement de type podiforme à sa base et stratiforme au sommet, encore que COTTERIL (1969) cite le cas de Serlukwe en Rhodésie dont les caractères sont à la fois ceux de formations podiformes et stratiformes. Il faut noter que le niveau inférieur de Pedrinhas ne présente pas sur le terrain de caractères podiformes.

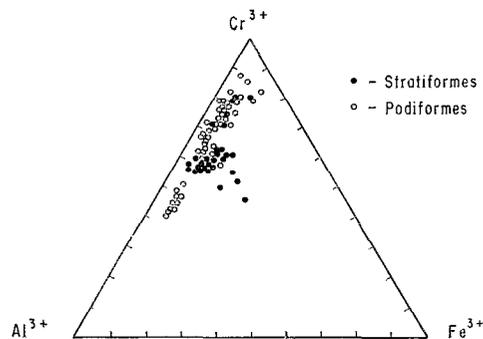
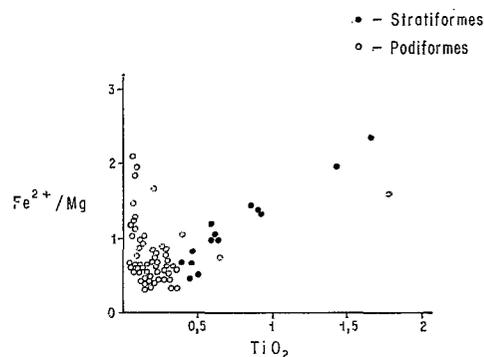
A Andorinha, la plupart des caractères géochimiques des chromites indiquent un gisement de type podiforme, ce qui est contraire aux observations faites sur le terrain par THAYER en 1972 et par d'autres personnes.

Au vu de ces résultats, il est clair que les critères utilisés sont insuffisants pour cataloguer correctement l'origine des gisements étudiés.

TABLEAU V

Comparaison des chromites étudiées avec celles d'autres gisements

STRATIFORMES	PODIFORMES	ANDBOINHAS	N. Supérieur	PEDRINHAS N. Moyen	N. Inférieur
Stillwater et Bushveld (JACKSON, 1964) : teneurs élevées en FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; modérées en Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	—	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et Fer total modéré.	Riches en Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; Fer total modéré.	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> moyen à élevé.	Riches en Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , pauvres en fer total.
Great Dyke (JACKSON, 1964) : riches MgO et Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	—	Riches en Mg.	Pauvres en Mg.	Mg très bas.	Mg moyen à élevé.
Selukwe (COTTERILL ; 1969) : riches en Cr, Fe, Al, Mn ; pauvres en Mg.	Selukwe (COTTERILL ; 1969) : riches en Cr et Mg ; pauvres en Fe, Al et Mn.	Riches en Mg et Al ; pauvres en Fe et Mn.	Pauvres en Mg et Al ; Fe et Mn moyen ; Cr important.	Pauvres en Mg et Al ; teneurs moyennes à élevées en Fe et Cr, Mn moyen.	Al et Mg moyen ; Fe et Mn peu.
THAYER (1969) : Fer total très variable.	THAYER (1969) : Fe total peu variable ; MgO/FeO élevé ; variation réciproque Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	Fe total assez constant ; MgO/FeO élevé.	Fer total variant peu ; MgO/Feo bas.	Fer total assez variable ; MgO/Feo très bas.	Fer total assez variable ; MgO/FeO assez élevé.
Stillwater (DICKY, 1975) : Fe <sup>2+</sup> /Mg très variable ; Cr/Al variations limitées. TiO <sub>2</sub> assez élevé.	Haggard et New Mine (DICKY, 1975) : Fe <sup>2+</sup> /Mg peu variable ; Cr/Al très variable ; TiO <sub>2</sub> bas ; Mg assez élevé.	Fe <sup>2+</sup> /Mg peu variable ; Cr/Al varie peu ; TiO <sub>2</sub> bas ; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et MgO élevés.	Fe <sup>2+</sup> /Mg peu variable ; variation Cr/Al modérées ; TiO <sub>2</sub> bas ; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et MgO bas.	Fe <sup>2+</sup> /Mg assez variable ; Cr/Al très variable ; TiO <sub>2</sub> assez élevé ; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et MgO bas.	Fe <sup>2+</sup> /Mg bas, varie peu ; Cr/Al varie peu ; TiO <sub>2</sub> bas ; teneurs moyennes en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et MgO.
	Goiás (FIGUEIREDO, 1977) : teneur maximum Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 % ; variétés riches en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	Teneur maximum Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 % ; variétés riches en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et MgO.	Teneur maximum Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 55 % ; variétés pauvres en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et MgO.	Maximum Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 53 % ; pauvres en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et MgO.	Teneur maximum Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 58 % ; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et MgO moyens.

Fig. 22. — Proportions atomiques de Cr<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup> et Fe<sup>3+</sup> de chromites d'intrusions stratiformes et de dépôts podiformes (DICKY, 1975).Fig. 23. — Relation (nombre atomes) Fe<sup>2+</sup>/Mg-TiO<sub>2</sub> pour les chromites d'intrusions stratiformes et de dépôts podiformes (DICKY, 1975).

## CONCLUSION

Deux fractions de chromites provenant d'échantillons de Campo-Formoso et d'Andorinha, gisements situés au Nord de l'état de Bahia (Brésil), ont été analysés par absorption atomique et à la microsonde. L'une très magnétique, la deuxième peu magnétique comme le sont les chromites classiques. Les différences entre ces deux fractions sont faibles, la fraction peu magnétique est en général un peu plus riche en Al, alors que la plus magnétique est un peu enrichie en fer.

Les chromites d'Andorinha montrent une composition homogène, autant pour la moyenne des grains que dans leur centre et bord.

A Pedrinhas, les chromites des niveaux moyen et supérieur sont enrichies en Al au milieu des grains et de fer sur les bords.

Les variations de composition des chromites, en fonction de la position des échantillons dans la couche, sont faibles, sauf dans le niveau moyen de Pedrinhas où en allant vers le sommet du niveau, on observe une augmentation du fer total et une réduction de  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  et  $MgO$ .

Les principales différences chimiques entre les chromites étudiées sont les suivantes :

A Andorinha, elles sont plus aluminomagnésiennes et moins riches en fer et chrome qu'à Pedrinhas, le rapport  $Fe^{2+}/Mg$  est aussi plus faible et presque constant, alors qu'à Pedrinhas, il est supérieur et très variable.

A Pedrinhas, les données chimiques montrent qu'il n'y a pas de constance de composition des chromites dans les 3 niveaux étudiés. On y distingue un niveau inférieur plus riche en Cr, Al et Mg et plus pauvre en Fe, un niveau moyen à chromites comparables à celles du niveau supérieur et à ferritchromites, et

un niveau supérieur à chromites de composition intermédiaire. Compte-tenu des faibles distances séparant ces trois niveaux, il est bon de souligner ces rapides variations dans la composition chimique des chromites.

Comparant nos données avec celles concernant les dépôts d'Afrique du Sud, Canada et États-Unis, la plupart des caractères géochimiques permettent d'estimer que les gisements d'Andorinha sont podiformes alors que ceux de Pedrinhas appartiendraient à un complexe stratiforme.

Les paramètres utilisés pour ces comparaisons se réfèrent aux teneurs de chrome, fer total, aluminium, magnésium, titane et les rapports Cr/Al et  $Fe^{2+}/Mg$ . Ces conclusions dans le cas d'Andorinha vont à l'encontre d'observations de terrains qui le range dans les complexes stratiformes. Il est fort possible que les critères géochimiques utilisés soient insuffisants pour résoudre le problème de l'origine des chromites bahianaises, mais il reste un fait certain, les minéraux des deux gisements diffèrent par leur aspect et par leur chimisme, ce qui permet de dire que ces dépôts se sont formés dans des conditions magmatiques différentes.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient, le professeur STARKEY, pour les analyses faites à l'Université de Western Ontario, le professeur GIRARDI, pour celles faites à l'Université de Sao Paulo, le CNPq, pour son appui financier et le personnel et la Direction de la FERBASA qui leur ont permis et facilité le travail sur le terrain. L'aide apportée par le géologue de la PROGEO, Carlos QUEIROZ, actuellement à la COMGEO, leur a été particulièrement précieuse.

*Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M.  
le 18 février 1980.*

## BIBLIOGRAPHIE

- BACELLAR (G. A.) et LEAL (G. R. N.), 1973. — Perfil analítico da cromita. Boletim nº 10, DNPM, Rio de Janeiro, 55 p.
- BLISS (N. W.) et MACLEAN (W. H.), 1975. — The paragenesis of zoned chromite from Central Manitoba. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 39 : 973-990.
- Chromium its physicochemical behaviour and petrologic significance, 1976. — Ed. by T. N. IRVINE, Pergamon Press, Oxford : 779-1074.
- COTTERIL (P.), 1969. — The chromite deposits of Serlukwe, Rhodesia, in H. D. B. WILSON, ed., Magmatic ore deposits, A symposium. *Econ. Geol. Mon.*, 4 : 154-186.
- DAVIS (J. G.), 1973. — Statistics and data analysis in geology. John WILEY and Sons, New York, 549 p.
- DIGKEY (J. S. Jr.), 1975. — A hypothesis of origin for podiform chromite deposits. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 39 : 1061-1070.
- FIGUEIREDO (A. N.), 1977. — Depositos de cromita de Goias e Campo Formoso (Ba). Diagnose e analyse comparativa. *Rev. Bras. de Geoc.*, 7 : 73-83.
- JACKSON (E. D.), 1964. — Primary features of stratiform chromite deposits. Un coll. Des méthodes de prospection de la chromite. OCDE, Paris, 111-129.
- Magmatic ore deposits, a symposium, 1969. — Ed. by H. D. B. WILSON, *Econ. Geol. Mon.*, 4 : 366 p.
- PANAYIOTOU (A.), 1978. — The mineralogy and chemistry of the podiform chromite deposits in the serpentinites of the Limassol Forest, Cyprus. *Mineral. Deposita*, Springer Verlag, Berlin, 13 : 259-274.
- POESCHL (A.), 1966. — Sobre a geologia e formação da jazida de cromita de Campo Formoso, Bahia. *Eng. Min. Met.*, Rio de Janeiro, V, 44, 262 : 173-178.
- PROGEO (Equipe Técnica), 1976. — Vale do Jacuriçá. O novo distrito cromitífero do Estado da Bahia, in Congresso Brasileiro de Geologia, 29, 1976, Belo-Horizonte. *Anais da Sociedade Brasileira de Geologia* : 297-298 (Resumo).
- PROGEO (Equipe Técnica), 1977. — Relatório interno de reavaliação da Mina de Pedrinhas.
- Projeto Bahia, 1975. — Geologia da folha de Senhor de Bonfim (Ba). DNPM/CPRM, vol. 5 (Relatório Final).
- Projeto Cromo, 1972. — DNPM/CPRM, texto e mapas (Relatório Final).
- Projeto Serra de Jacobina Iª fase, 1976. — Geologia e prospecção geoquímica. Texto e mapas. Vol. I DNPM/CPRM (Relatório da Iª fase).
- STOLL (W. C.), 1958. — Geology and petrology of the Masinloc chromite deposit, Zambales, Luzon, Philippine Islands : *Geol. Soc. of Am.*, 69 : 419-448.
- SOUZA (H. C. A.) de, 1942. — Cromo na Bahia. Bol. DNPM, 54, Rio de Janeiro : 1-110.
- STEVENS (R. E.), 1944. — Composition of some chromites of the western hemisphere. *Am. Miner.*, 29 : 1-34.
- SUSZCZYNSKI (E. F.), 1975. — Os recursos minerais reais do Brasil e sua metodologia. Livraria Interciencia, Rio de Janeiro, 533 p.
- THAYER (T. P.), 1946. — Preliminary chemical correlation of chromite with the containing rocks. *Econ. Geol.*, 41 : 202-217.
- THAYER (T. P.), 1960. — Some critical differences between alpine-type and stratiform peridotite-gabbro complexes. *Inter. Geol. Cong.*, 21<sup>st</sup>, Copenhagen, 1960, Rept. XIII : 247-259.
- THAYER (T. P.), 1964. — Geologic features of podiform chromite deposits. In coll. Des méthodes de prospection de la chromite. OCDE, Paris : 135-145.
- THAYER (T. P.), 1969. — Gravity differentiation and magnetic replacement of podiform chromite deposits, in WILSON H. D. B., ed., Magmatic ore deposits, A symposium. *Econ. Geol. Mon.*, 4 : 132-146.
- THAYER (T. P.), 1970. — Relatório inedito, cité dans BACELLAR (G. A.) et LEAL (G. R. N.), 1973.
- THAYER (T. P.), 1973. — Chromium in United States mineral resources. Geol. Survey, prof. paper 820, Washington ; United States, Gov. Printing Of. : 111-121.
- TORQUATO (J. R.), OLIVEIRA (M. A. F.) et BARTELS (R. L.), 1978. — Idade radiométrica do granito de Campo Formoso (Ba). Uma idade mínima para o grupo Jacobina. *Rev. Bras. Geoc.*, 8 : 171-179.
- Ultramafic and related rocks, 1967. — Ed. by P. J. WYLLIE, John WILEY and Sons, New York, 464 p.