

Zeitschrift: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Band: 39 (1972-1973)
Heft: 95

Artikel: Les gîtes de ferro-manganèse des Ripon Hills (Est Pilbara, Australie Occidentale)
Autor: Campana, Bruno / Cocquio, S. / Jaquet, J.-M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-198498>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Les gîtes de ferro-manganèse des Ripon Hills (Est Pilbara, Australie Occidentale)

avec 7 figures, 1 carte et 6 tables

par B. CAMPANA, S. COCQUIO, J.-M. JAQUET*

Abstract

Résumé

Zusammenfassung

1. Introduction sur l'économie du manganèse
2. La Province manganésifère du Pilbara
 - 2.1. Situation géographique et géologie générale
 - 2.2. Minéralisation
 - 2.2.1. Origine du manganèse
 - 2.2.2. Types de gîtes
 - 2.3. Production
3. Les gîtes de Ripon Hills
 - 3.1. Série stratigraphique et source du manganèse
 - 3.2. Morphologie et tectonique
 - 3.3. Le profil d'altération
 - 3.3.1. Produits d'altération
 - 3.3.2. Age du profil
 - 3.4. Les gîtes
 - 3.4.1. Description des types structuraux
 - 3.4.2. Contrôles de la minéralisation
 - 3.5. Le minerai
 - 3.5.1. Composition chimique et minéralogique
 - 3.5.2. Modes de gisement
 - 3.5.3. Variations de la teneur avec la profondeur
 - 3.5.4. Relation Mn-Fe
 - 3.6. Méthodes d'étude et problèmes d'échantillonnage
 - 3.6.1. Séquence des opérations
 - 3.6.2. Comparaison des méthodes d'échantillonnage
 - 3.7. Enrichissement du minerai par tamisage
 - 3.8. Réserves et teneurs moyennes

4. Conclusions

Remerciements

Bibliographie

* Bureau de géologie et géophysique minière B. CAMPANA, Lausanne (Suisse), Perth (Australie Occidentale), Suva (Fiji).

Abstract

After an introduction on the role of manganese in the mineral economy, the manganese province of Pilbara, in Western Australia, is briefly described. This province belongs to the same area as the Hamersley Iron Ore Province, which has been developed on a very large scale in the last few years. The ferro-manganese deposits are residual in origin, and occur either as irregular bodies in a Lower Precambrian dolomite, or as lenses in a chert-breccia deriving from the silicification of pre-existing sediments.

The deposits of Ripon Hills are genetically related to an important stratigraphic break, Middle Proterozoic in age. The manganese derives from sediments (Manganese Group, Middle Proterozoic in age), eroded and reworked in Upper Proterozoic times. The ore consists of a mixture of iron and manganese oxides and hydroxides.

The various sampling methods are compared, and the possibility of beneficiating the ore by crushing and screening is discussed. Finally indications are given on reserves and average grade.

Résumé

Après une introduction sur l'économie des minerais de manganèse, on décrit brièvement la Province manganésifère du Pilbara, située dans le NW de l'Australie Occidentale, près des grands gisements de fer récemment mis en exploitation. Les gîtes de ferro-manganèse, d'origine résiduelle, sont situés soit dans des poches d'une dolomie du précambrien inférieur, soit en lentilles dans des schistes qui la surmontent. Ils sont très souvent liés à une brèche de chert provenant de la silicification de sédiments préexistants.

Les gîtes des Ripon Hills sont liés à une importante lacune stratigraphique du protérozoïque moyen et l'origine du manganèse provient de sédiments (Manganese Group, protérozoïque moyen) érodés et repris au protérozoïque supérieur. Le minerai consiste en un mélange d'oxydes et d'hydroxydes de Fe et Mn.

Les diverses méthodes d'échantillonnage sont comparées et la possibilité d'enrichissement du minerai par concassage et tamisage est établie. Enfin, on donne des indications sur les réserves et teneurs moyennes.

Zusammenfassung

Nach einer Einführung über die Bedeutung der Manganmineralien, werden die Mangan-Vorkommen der Provinz Pilbara im nordwestlichen Ostaustralien beschrieben. Diese liegen nicht weit von den grossen Eisenvorkommen von Hamersley, mit deren Ausbeute kürzlich begonnen wurde. Die residualen Ferro-Mangan-Vorkommen liegen als unregelmässige Taschen in einem Dolomit des Unteren Precambrium, oder als Linsen in einer Chert-Breccie, die durch Silifizierung entstanden ist.

Die Lager von Ripon Hills sind genetisch mit einer stratigraphischen Lücke im Mittleren Proterozoikum verbunden. Das Mangan stammt aus Sedimenten (Manganese Group, Mittleres Proterozoikum).

Das Mineral besteht aus einer Mischung von Oxyden und Hydroxyden von Fe und Mn.

Die verschiedenen Methoden der Aufbereitung werden verglichen und die Möglichkeiten der Anreicherung des Minerals durch Zerkleinerung und Sieben werden behandelt. Weiter werden Hinweise auf die Reserven und mittleren Mineralgehalte gegeben.

1. Introduction sur l'économie du manganèse

Le manganèse, en doses variables, entre dans la fabrication de la plupart des variétés d'acier. Ainsi que le montre la fig. 1 de ce travail, il y a donc une corrélation étroite entre la production du manganèse et celle de l'acier.

La production mondiale des minerais de manganèse, qui était de 4 millions de tonnes en 1945, s'éleva graduellement, mais avec continuité, à plus de 20 millions de tonnes en 1970. Dans la même période, la production de l'acier passa de 100 millions à 585 millions de tonnes, suivant une ligne ascendante parallèle.

Les gisements de manganèse, comme ceux de bien d'autres matières premières minérales, ont une distribution géographique défavorable à la sidérurgie occidentale. La moitié environ de la production actuelle provient des pays à régime communiste. Parmi les autres pays, l'Afrique du Sud, les Indes, le Brésil, le Gabon, l'Australie et le Venezuela disposent de réserves importantes. Les Etats-Unis, qui produisent 117 millions de tonnes d'acier, ne possèdent que 8 millions de tonnes de minerai de manganèse, soit environ deux fois leur consommation annuelle. Le Japon, qui a produit en 1970 environ 92 millions de tonnes d'acier, ne posséderait qu'environ 4 millions de tonnes de minerai de manganèse, couvrant à peine les besoins d'une année.

Ainsi la gîtologie montre bien, à l'échelle mondiale, la solidarité et l'interdépendance économiques des nations modernes. Les pays développés et ceux en voie de développement ont des intérêts communs vitaux. De fait, à long terme, la prospérité des premiers est subordonnée au développement des ressources minières des pays sous-développés.

Un autre fait mérite d'être rappelé. Les besoins de plus en plus grands de l'économie minière demandent non seulement la mise en valeur de gisements éloignés, mais aussi de ceux à plus basse teneur, considérés comme inexploitable il y a dix ans. Les opérateurs modernes, qui envisagent déjà des extractions dépassant 50 000 tonnes par jour et des cargos d'une capacité de 200 000 tonnes, contribuent à cette évolution de la gîtologie économique, qui oblige le géologue d'exploration à une reprise continuelle des études de mise en valeur pour chaque pays et chaque minerai.

Ainsi nous a-t-il paru utile, dans cet article, de présenter à titre d'exemple une étude de gisements importants pour leurs réserves, mais à basse teneur, qui place le gros des minerais de Ripon Hills dans la catégorie des minerais de ferro-manganèse plutôt que dans celle de manganèse. Peu étudiés dans le passé, les gisements de ferro-manganèse constituent, à notre avis, les grandes réserves futures et méritent désormais des recherches approfondies.

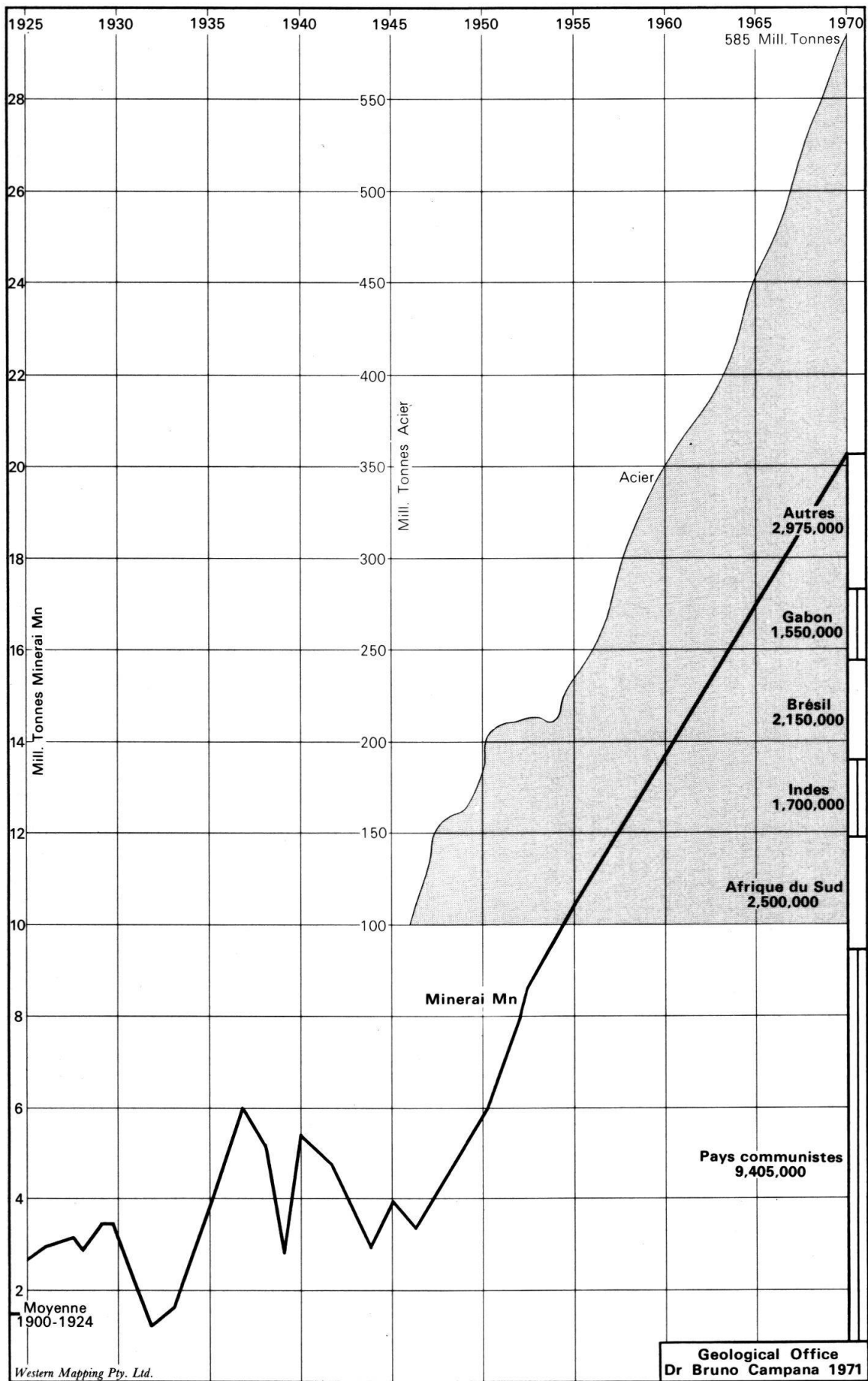


Fig. 1: Corrélation entre la production du Mn et celle de l'acier

Table I.

Série stratigraphique de la Province manganésifère du Pilbara

Millions d'années		Groupe	Formation	Lithologie	Epaisseur mètres	Minéralisation
	Quaternaire			Sable. alluvion, Cônes déjection Sols	~ 25	
	Tertiaire		Oakover	Conglom., calcaire, latérite, «Qzite. capping» «Chert breccia»	~ 75	Manganèse Fer (Age d'une partie de la minéralisation)
230	Primaire		Bunmardie Beds	Grès	25	
270			Braeside Tillite	Tillite avec galets striés	35	
650	Protérozoïque supérieur	Waltha-Wooraa	Waltha-Wooraa Beds = Bocrabee sdst. Googhenama cgl.	Dolomie siliceuse Schistes argileux Grès Conglomérats	200 à 50	Manganèse (roche encaissante)
	Protérozoïque moyen	Manganese	Noreena sh. Balfour sh. Bee Hill sdst. Coondon cgl.	Schiste argileux Sch. ± calcaires Grès strat. entrecr. Conglomérat ± ferr.	30 500 20 20	Mn } roche-mère Mn }
920	Protérozoïque inférieur	Equivalent de Hamersley	Pinjian chert breccia	Fragm. chert zonés dans ciment siliceux	~ 20	Mn, roche encaissante
			Carawine dolomite	Dolomie chertreuse à «Collenia»	130	Mn, Cu, (roche encaissante)
	Lewin sh.		Sch. argil., jaspilite, dolomie	250	Fe, Mn	
	Little de Grey lava Tumbiana pisol.		Lave basique à intermédiaire. Pisol., grès, «Collenia»	70 50		
2200	Archéen	Roebourne	Beaton Ck. Conglomerate	Conglomérats et grès	20	Au
			Warrawoona Beds	Jaspilites, schistes chloriteux et alumineux		Cu, Au, Pb, Zn, etc.

2. La Province manganésifère du Pilbara

2.1. Situation géographique et géologie générale

La Province manganésifère du Pilbara est située dans le nord-ouest de l'Australie Occidentale. Elle forme une bande de 250 km de longueur sur 100 de largeur, orientée NW-SE, dont l'extrémité nord est à environ 250 km à l'WSW de Port Hedland. Elle fait suite au nord à la Province ferrifère de Hamersley, décrite dans une précédente publication (CAMPANA, 1968), et elle consiste en une série de sédiments protérozoïques situés sur le bouclier ouest-australien, près de sa limite avec le bassin mésozoïque de Canning.

La série stratigraphique de la Province est résumée sur la table I, tirée des travaux de DE LA HUNTY (1963, 1964) et de NOLDART & WYATT (1962). On voit que sur les méta-sédiments archéens transgresse une épaisse série de sédiments très variés, comprenant trois «groupes» (HORWITZ, 1966, p. 46), eux-mêmes séparés par d'importantes lacunes. Dans les grandes lignes, la succession des faciès est semblable dans ces trois groupes; elle correspond à la série virtuelle générale (LOMBARD, 1956): Sédiments clastiques grossiers – clastiques moyens – clastiques fins-chimiques.

Ces sédiments n'ont pas été métamorphisés. En revanche, ils ont subi une importante altération de surface qui a donné naissance à plusieurs types de roches, tels que brèches de chert, «quartzite cappings», latérites et un certain nombre de concentrations minérales (Mn et Fe). Ces phénomènes d'altération se sont produits à deux reprises en tout cas: 1. Avant la glaciation permienne. 2. Au mésozoïque-cénozoïque. Les auteurs (DE LA HUNTY, NOLDART & WYATT) ont eu quelque peine à dater les brèches, qui ont le plus souvent été groupées sous le terme de «Pinjian chert-breccia».

Ces phénomènes d'altération sont liés à d'anciennes surfaces topographiques analogues à celle de Hamersley, décrite par les auteurs dans plusieurs publications antérieures (CAMPANA, 1966, 1968). La seule différence essentielle entre ces surfaces réside dans la nature chimique de leurs produits d'altération: ferrugineux pour le Hamersley, siliceux et accessoirement manganésifère pour le Pilbara.

La tectonique de la Province est très calme. Elle consiste en plis subparallèles à grands rayons de courbure courant d'abord NW-SE, puis NNW-SSE vers le sud. A un anticlinal à l'ouest succèdent le synclinal d'Oakover, puis l'anticlinal de Gregory Range qui constitue la limite est de la Province et la bordure avec le désert de Canning. A plus petite échelle, des failles, diaclases et plissements locaux peuvent avoir une influence sur la localisation des gîtes.

2.2. Minéralisation

Tous les gîtes de manganèse de la Province sont du type *résiduel* (LAMEY, 1966). Ils consistent en un sédiment contenant quelques pour-cent de Mn et qui a donné par dissolution, remplacement et éventuellement migration latérale et verticale, un minerai oxydé titrant jusqu'à 55% Mn.

2.2.1. Origine du manganèse

Comme on peut le voir dans la dernière colonne de la table I, il existe du *manganèse primaire* dans les formations des Noreena Shales et des Balfour Shales, qui sont les termes supérieurs du Manganese Group. Les teneurs varient entre 0,4 et 10% Mn (DE LA HUNTY, 1966). La Carawine Dolomite en contiendrait également, mais en moins grandes quantités.

Dans les Noreena Shales, le manganèse est soit dispersé, soit sous forme de nodules de braunite pouvant atteindre 2 cm de diamètre. Ces derniers contiennent environ 40% de manganèse. D'après DE LA HUNTY (ibid.), ces nodules ne sont pas comparables à ceux que l'on peut trouver sur les fonds océaniques actuels. Ils se seraient formés dans un milieu moins profond, soit par concrétion directe de Mn autour d'un nucléus de quartz ou d'argile, soit par remplacement d'un nodule originellement calcitique. Ils sont donc d'origine diagénétique.

2.2.2. Types de gîtes

Dans les grandes lignes, on peut subdiviser les gîtes de la Province de la façon suivante (table II):

Table II

Types de gîtes de la Province manganésifère du Pilbara

Classe	Roche encaissante et formation	«Roche-mère»	Exemple
Poches «karstiques» I	Dolomie (Carawine) a.	Manganese Group ou Caraw. Dol. (?)	Woodie Woodie Mt Sydney
Lentilles et Couches II	Clast. et schistes (Mn Group) b.	Manganese Group	Mt Cooke
	Brèche de chert (Pinjian et Tertiaire) c.	Manganese Group ou Caraw. Dol. (?)	Ripon Hills
	Clastiques et sch. (Waltha Woora) d.	Manganese Group	Ripon Hills
	Schistes (Lewin Shales) e.	Lewin Shales	Mt. Nicholas

Dans la classe I, on a affaire à des poches dont le diamètre peut atteindre une centaine de mètres et la profondeur une trentaine de mètres. Le minerai s'est mis en place dans des cavités de la dolomie et consiste en un mélange de braunite, pyrolusite et cryptomélane; un peu de quartz et de dolomite sont présents et le fer est peu abondant. La composition chimique moyenne à Woodie Woodie est de 50% + Mn, 2% - Fe et 13% - SiO₂. Dans certains cas (Mt Sydney), la roche encaissante est entièrement dolomitique. Dans d'autres (Woodie Woodie), le mur est en dolomie et le toit en brèche de chert (DE LA HUNTY, 1965, p. 45). Ces gîtes peuvent donc avoir un recouvrement; à un affleurement relativement petit peut correspondre en profondeur un amas d'assez grande

extension. D'après DE LA HUNTY (ibidem), la minéralisation a eu lieu au Protérozoïque sup., mais avant le dépôt des Waltha Woorra Beds.

Pour la classe II, il s'agit en général d'un enrichissement supergène de sédiments du Manganese Group (Mt Cooke) ou des Lewin Shales (Mt Nicholas). Dans le cas des dépôts liés à la brèche chertreuse et aux clastiques qui la surmontent (Ripon Hills), le problème est plus complexe. On verra plus loin les hypothèses sur l'origine possible du manganèse dans ces gîtes. Disons seulement qu'ils forment des lentilles et couches de quelques centaines de mètres de longueur/largeur et d'environ 20 m d'épaisseur maximale. Le mur est soit dans la brèche de chert, soit dans des schistes et pélites lessivés. Très souvent, le recouvrement fait défaut. Le minerai est de moins bonne qualité que dans le type en poche; sa teneur moyenne est d'environ 20% Mn et 25% Fe. L'enrichissement est là aussi dû à un processus d'altération superficielle qui a tout à la fois causé la dissolution de la dolomite, la formation puis la cimentation de régolithes, la silicification et le lessivage des sédiments manganésifères et enfin la reconcentration du ferromanganèse.

2.3. Production

La table III donne la production annuelle de Mn de la Province entre les années 1954 et 1970. On voit qu'elle a constamment augmenté au cours des 8 dernières années. Quant à la teneur moyenne du minerai, elle est voisine de 50% Mn.

Table III

Production annuelle de manganèse du Pilbara Goldfield

Année	Tonnes de minerai	Tonnes de métal	Valeur en Aus. \$
1954	8.982,00	4.767,41	326.944,85
1955	7.594,00	3.853,22	190.292,00
1956	7.525,25	3.788,41	204.318,00
1957	13.496,14	6.685,62	454.656,60
1958	22.372,52	11.062,70	778.964,50
1959	39.266,84	20.211,68	1.324.438,10
1960	42.411,09	21.554,56	1.233.796,20
1961	57.928,08	28.329,04	1.521.228,35
1962	67.601,08	33.407,67	1.779.548,65
1963	33.155,96	16.968,20	866.212,85
1964	37.921,81	19.206,77	893.326,95
1965	67.154,21	34.141,47	1.495.829,90
1966	95.743,12	49.255,52	2.270.839,60
1967	119.412,98	59.989,97	2.763.274,69
1968	117.733,06	59.615,44	2.649.856,20
1969	146.419,77	74.476,72	3.111.074,22
1970	191.283,50	92.331,73	3.674.659,00
Total	1.076.001,41	539.646,13	25.539.260,66

3. Les Gîtes de Ripon Hills

Cette région est située entre la vallée d'Oakover et la Nullagine River, à 120 km à l'est de Marble Bar. Sa superficie est d'environ 500 km². Elle consiste en un ensemble de collines provenant de l'érosion d'une ancienne surface tertiaire, où affleurent des sédiments et laves protérozoïques, ainsi que des tillites permienes. Les témoins de l'ancienne surface sont encore nombreux: ils se marquent par une série de phénomènes d'altération dont certains ont donné naissance à des concentrations de ferro-manganèse. Les auteurs de cette note ont étudié cette région en détail au cours de l'année 1966. Les lignes qui suivent sont basées sur le rapport élaboré à cette occasion (CAMPANA, COCQUIO, JAQUET, 1967).

3.1. Série stratigraphique et source du manganèse

La succession des faciès est reportée dans la légende de la carte géologique ci-jointe (fig. 2). On voit que sur la Carawine Dolomite transgresse sur une série clastique commençant par un conglomérat ou un grès-quartzite à stratifications entrecroisées, suivis de schistes argileux verts et rouges avec quelques intercalations de grès et conglomérats. Des sills de dolérite peuvent s'intercaler dans cette série. Au-dessus reposent des sédiments glaciaires et fluvio-glaciaires permienes, comprenant des moraines rubéfiées à galets arrondis, des conglomérats et des grès mal cimentés. Ces termes reposent parfois sur des poliss glaciaires taillés dans la brèche de chert.

Les phénomènes de silicification ont bien souvent obscurci cette série, oblitérant la pétrographie originelle de la roche et rendant difficile le repérage stratigraphique.

Les clastiques surmontant la dolomie ont été attribués par NOLDART & WYATT (1962, p. 77) aux Waltha Woorra Beds, d'âge Protérozoïque supérieur; cette attribution semble correcte. Par conséquent, *il manque* dans les Ripon Hills tout le *Manganese Group*, ce qui fait une lacune de près de 300 millions d'années.

En ce qui concerne *la source* du manganèse, la question est de savoir ce qui s'est passé pendant ce laps de temps; deux hypothèses sont possibles:

1. Le Mn Group s'est déposé sur la dolomie partiellement silicifiée (régolithes, brèche de chert) puis a été érodé lors de la transgression des Waltha Woorra Beds. Le terme basal de cette série (conglomérat) aurait alors remanié les sédiments manganésifères et serait la roche-mère, au «deuxième degré», des dépôts de manganèse. On a observé très souvent une relation spatiale étroite entre les gîtes et le conglomérat de base.

2. Le Mn Group ne s'est pas déposé dans le domaine des Ripon Hills et les dolomies ont été émergées et altérées pendant tout le Protérozoïque moyen, à la suite duquel les Waltha Woorra ont transgressé directement sur les dolomies. Dans cette éventualité, il faut chercher la source du manganèse soit dans la dolomie ou la brèche cherteuse qui la surmonte, soit dans les Waltha Woorra Beds eux-mêmes. A première vue, les quantités de manganèse primaire présentes dans la dolomie et dans les Waltha Woorra semblent vraiment très faibles et devraient être confirmées par une étude géochimique détaillée. Il est difficile de trancher dans l'état actuel de nos connaissances. Provisoirement, nous admettons la première hypothèse qui nous semble plus vraisemblable.

3.2. Morphologie et tectonique

Les Ripon Hills peuvent être assimilées à une vaste zone synclinale de direction NNW-SSE, affectée d'un réseau de failles et de diaclases, l'un longitudinal, l'autre, moins important, de direction NW-SE (voir la carte, fig. 2).

Ces traits tectoniques, ainsi que la nature des roches qui les composent, permettent de subdiviser les Ripon Hills en deux zones principales (Profil au bas de la carte):

1. «Haut plateau». Il comprend la moitié ouest et la partie centrale des collines. L'ancienne surface topographique, analogue à celle de Hamersley, y est bien représentée, ce qui donne un relief assez plat ou faiblement ondulé. Cette surface est fortement silicifiée: un sondage de 80 m de profondeur sur l'emplacement du gisement H n'a pas atteint la dolomie non altérée. La brèche de chert a oblitéré la plupart des structures et types sédimentaires originels; à de rares endroits seulement peut-on reconnaître des fantômes de dolomie ou de conglomérats et quartzites.

Des «îlots» de clastiques appartenant aux Waltha Woorra se retrouvent ci et là sur ce plateau, principalement au centre où ils forment une bande NS renfermant les principaux gîtes de ferro-manganèse.

Dans sa partie septentrionale, le haut plateau est bordé à l'est par une zone de fracture, relayée au sud par une faille à rejet vertical qui met en contact les brèches de chert et les Waltha Woorra (ouest de Mt Ian, voir la carte).

2. «Bas plateau». Occupant la partie NE des collines, il est séparé de la plaine à l'est par une faille courant NW-SE. Ce plateau est très fortement attaqué par l'érosion, donnant sur photos aériennes un réseau hydrographique dendritique très typique. Il est formé essentiellement de tillites plus ou moins altérées ou silicifiées reposant directement sur la dolomie ou sur le régo-lite qui la surmonte. Quelques rares témoins de latérite ferrugineuse subsistent sous forme de mesas (environs du camp). Aucun gîte de manganèse n'a été découvert dans cette zone.

3.3. Le profil d'altération

Ce dernier mériterait une étude approfondie. Comme on l'a vu plus haut, il y a eu probablement plusieurs époques d'émersion et de pénépléation, donnant naissance à un profil d'altération superficielle. Beaucoup de problèmes demeurent quant à leur date et leur nature; néanmoins, on peut faire les remarques suivantes:

3.3.1. Produits d'altération

A part quelques exceptions mentionnées sous 3.2., il n'y a pas de latérite ss. dans les Ripon Hills, où les produits d'altération sont essentiellement *siliceux*.

1. La «Pinjian chert Breccia» des auteurs est une brèche compacte, à éléments de chert anguleux, plus ou moins teintée en rouge par des oxydes de Fer. Elle peut passer à une brèche dite «Manganese Breccia», dans laquelle le ciment siliceux est remplacé par de l'oxyde de manganèse. Cette brèche cherteuse est probablement un produit de la dissolution ou remplacement de la Carawine Dolomite, où les niveaux et nodules de chert sont très abondants à la partie supérieure. L'aspect bréchique peut être dû à la cimentation d'un régo-lite primitivement meuble, ou bien à une «silicification bréchisante» au cours de laquelle les changements de volume dus à la métasomatose bouleverseraient les structures originelles du sédiment. Il est possible aussi que la silicification de certains conglomérats ou schistes donne à première vue un faciès semblable à celui de la brèche de chert.

2. Des cherts non bréchiques, où la stratification et le litage originels sont préservés, ont été observés à plusieurs endroits (Gisement H, entre les deux bandes de dolérite au sud du «glacial pavement», etc.). Si on les considère comme produits d'altération, ils proviennent sans doute de la silicification, soit des dolomies, soit des schistes des Waltha Woorra Beds.

3. Les grès de la base des Waltha Woorra ou du Permien peuvent être silicifiés et donner un quartzite très dur et compact. Un phénomène analogue a été signalé par DE LA HUNTY (1964, p. 15) sur la feuille Balfour Downs.

4. «Pallid Level»: On appelle ainsi le produit du lessivage des schistes argileux ou

dolomitiques, des moraines et de la dolérite qui ont été transformés en un niveau kaolinique parfois bariolé. Une grande partie du Permien est affectée par ce phénomène de lessivage, ainsi que les schistes des Waltha Woorra au voisinage des concentrations de manganèse, où ils surmontent la brèche de chert.

Un tel niveau kaolinique a été également reconnu à la base de certains gîtes hématitiques des Hamersleys. Il affecte les schistes dolomitiques de la formation des McRae Shales (CAMPANA, COCQUIO, JAQUET, 1968).

5. Le minerai de ferro-manganèse. Il sera examiné en détail sous 3.5.1.

3.3.2. Age du profil

La présence de brèche de chert polie par les glaciers permien est la preuve d'une ou plusieurs périodes d'altération d'âges protérozoïque moyen ou supérieur. D'autre part, les brèches liées à la surface de Hamersley sont attribuées au Tertiaire.

En ce qui concerne la première de ces périodes, on peut faire deux hypothèses quant à son âge exact :

1. La silicification aurait eu lieu après le dépôt de la Carawine Dolomite et *avant* le dépôt des Waltha Woorra Beds, produisant la Pinjian Chert Breccia. La transformation des Waltha Woorra serait alors due au cycle d'altération tertiaire. Par conséquent, si l'on admet que la «roche-mère» du manganèse fait partie du Mn Group repris par les conglomérats des Waltha Woorra, la concentration aurait eu lieu exclusivement lors du second cycle. En revanche, si l'on met la source du minerai dans la dolomite, une première concentration se serait produite dans la Pinjian Chert Breccia, et une seconde au Tertiaire.

2. La silicification antépermienne aurait eu lieu *après* le dépôt des Waltha Woorra, englobant une tranche de sédiments comprenant de bas en haut : Carawine Dolomite, conglomérats, grès, schistes, dolérite. Le processus aurait été *sélectif*, métasomatisant totalement le haut de la dolomie et les conglomérats et n'affectant que peu les schistes. Là aussi, une première mobilisation du manganèse aurait pu se produire à cette époque.

En résumé et pour simplifier, nous adoptons provisoirement le schéma chronologique de la table IV.

3.4. Les gîtes

Comme on a eu l'occasion de le mentionner, les accumulations de ferro-manganèse des Ripon Hills sont du type *résiduel* classique (voir par exemple LAMEY, 1966, p. 12), formés par la concentration et la migration d'oxydes de Mn et de Fe à partir d'un sédiment originel. Il est intéressant de mentionner que LAMEY (*ibidem*) caractérise certains de ces gîtes par la présence de «*buried unconformities*», ce qui semble se vérifier dans les Ripon Hills.

Suivant la position du minerai par rapport à la roche encaissante, on a distingué 7 types structuraux principaux, lesquels peuvent d'ailleurs se réduire aux classes I et IIc-d de la table II. La grande majorité des gisements étudiés par les auteurs tombe d'ailleurs dans les catégories IIc-d. Seules quelques petites accumulations à l'extrême sud des collines (au lieu-dit «Amphithéâtre», voir la carte) sont de la classe I.

3.4.1. Description des types structuraux (fig. 3)

Type 1 : Il correspond à la classe I (table II) et il est caractérisé par la présence d'un minerai de Mn de haute teneur en contact *direct* avec la dolomie et surmonté de brèche de chert. Bien que leur taille soit petite, ces gîtes sont l'analogue de ceux de Woodie Woodie et de Mt Sydney (DE LA HUNTY, 1964).

Table IV

Chronologie des événements ayant produit les concentrations minérales des Ripon Hills

Age	Millions d'années	Phénomène
Cénozoïque Mésozoïque	650 920 2000	Formation de la surface d'Hamersley Silicification et concentration du Fe-Mn Sédiments lacustres de la formation d'Oakover (affleurement à l'E des Ripon Hills)
Permien		Glaciation
Carbonifère Cambrien		Emersion des Waltha Woorra Beds et des sédiments sous-jacents et concentration éventuelle du Fe-Mn
Protérozoïque supérieur		Transgression des Waltha Woorra Beds, abrasion du Mn Group et redépôt du Fe-Mn dans le congl. de base
Protérozoïque moyen		Emersion du Mn Group
		Transgression du Mn Group sur la dolomie
		Silicification et formation de la Pinjian Ch. Br.
Protérozoïque inférieur		Emersion et formation d'un régolithe siliceux
		Dépôt de la Carawine Dolomite

Types 2, 3, 6, 7 (équivalents de la classe IIc): Ils montrent une relation étroite du minerai avec la brèche de chert et le conglomérat de base des Waltha Woorra qu'il surmonte directement. A part le type 6, il existe un recouvrement de schistes peu silicifiés. Comme il n'a pas encore été fait de sondages sur ces gîtes, en général de faibles dimensions, on ne sait pas s'ils se poursuivent loin sous les schistes. C'est fort possible, car tous les sédiments surmontant la brèche de chert ont été soumis à l'altération du cycle d'âge tertiaire. Le type 6 montre un bel exemple de contrôle structural à petite échelle dont on reparlera plus loin.

Types 4 et 5 (équivalents de la classe II d): Ces gîtes sont en forme de lentilles prises dans des schistes argileux ou finement gréseux, avec de rares intercalations de conglomérats. Ces sédiments sont plus ou moins lessivés et ils exhibent des colorations allant du blanc au noir, en passant par le rouge («pallid level»). On les a assimilés aux termes surmontant le conglomérat de base des Waltha Woorra, où le Mn et le Fe se sont concentrés par migration latérale et verticale, probablement à partir du conglomérat. Ces gîtes sont donc «stratigraphiquement» plus hauts que les types précédents, bien que l'on trouve des termes de passage entre les deux (gisement H Nord, par ex.). Il existe aussi un contrôle structural, comme dans le gisement G (synclinal).

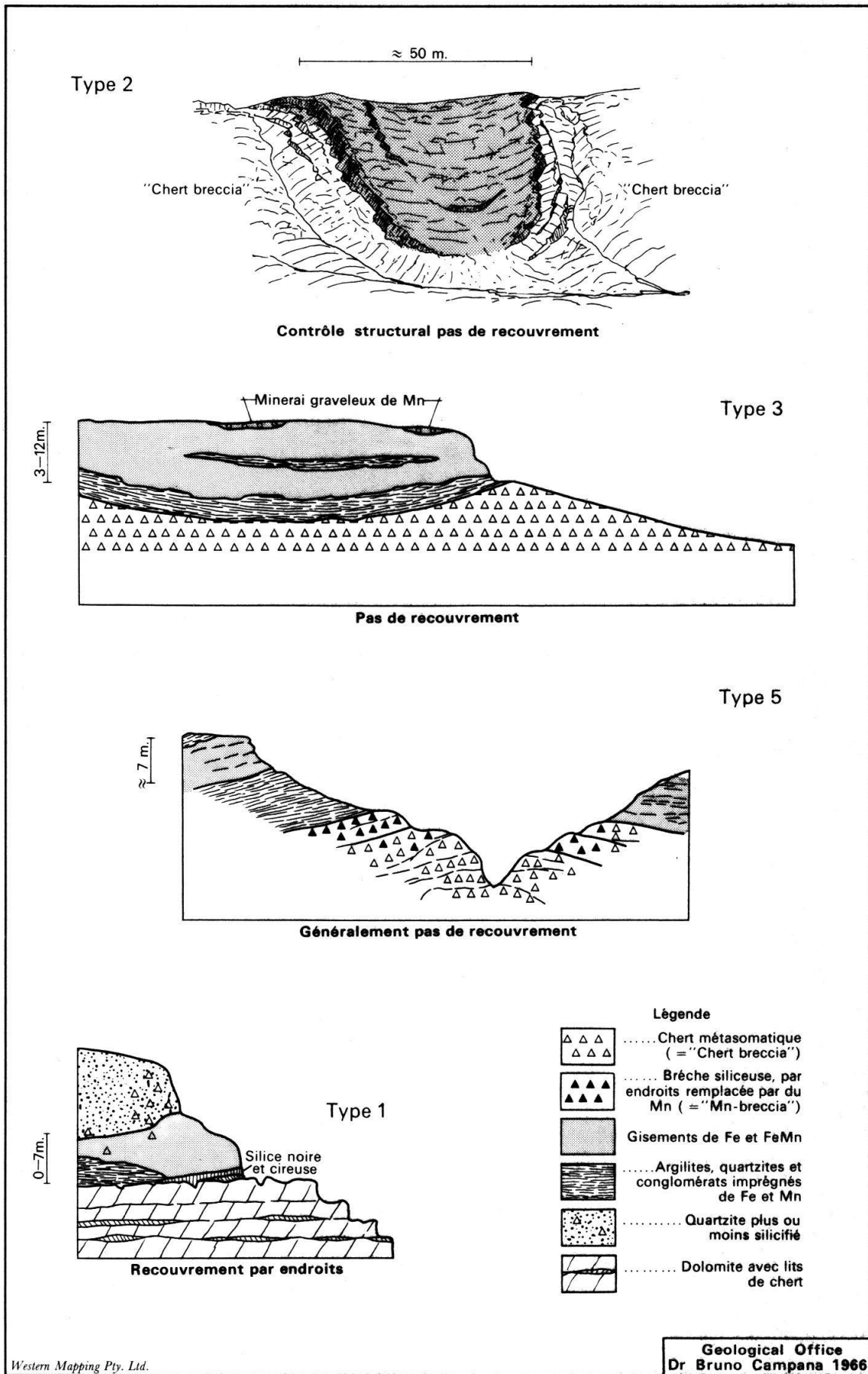


Fig. 3: Types structuraux des gîtes de Mn (seuls les numéros 1, 2, 3, 5 sont figurés)

3.4.2. Contrôles de la minéralisation

Le *contrôle stratigraphique* par les membres basaux des Waltha Woorra Beds vient d'être examiné. Les *facteurs tectoniques* à petite échelle influencent aussi la localisation des corps minéralisés. Ainsi, du minerai affleure dans la partie ouest des collines à la faveur d'un petit synclinal. De même, un des blocs du gisement H exhibe une belle structure synclinale. Quant au troisième facteur de contrôle, qui est omniprésent, il s'agit du *profil d'altération*.

3.5. Le minerai

3.5.1. Composition chimique et minéralogique

Dans son ensemble, le minerai de ferro-manganèse est formé d'un ou plusieurs des minéraux suivants :

- Pyrolusite MnO_2
- Manganite $MnO(OH)$
- Psilomélane $Ba Mn'' Mn_8^4 O_{16}(OH)_4$
- Braunitite $Mn_2O_3 \pm SiO_2, Fe, Ba, B$

Il s'y mêle aussi des oxydes et hydroxydes de fer tels que l'hématite et la limonite, et de la silice sous forme de quartz et de calcédoine.

3.5.2. Modes de gisement (fig. 4)

Des sections naturelles, ainsi que des puits et tranchées creusés dans le niveau minéralisé ont permis d'observer quatre grandes variétés de minerai :

1. Variété massive: Le minerai est en bancs compacts, durs, à cassure cristalline.
2. Variétés en blocs ou rognons («boulders, kidneys»): La nature pétrographique des éléments est la même que pour 1., mais ces derniers peuvent être séparés par une matrice meuble argilo-ferrugineuse.

Ces deux premières variétés peuvent avoir des teneurs maximales voisines de 50% Mn + 12% Fe.

3. Variété graveleuse: La grosseur des éléments varie entre 1 et 5 cm. Il s'agit d'accumulation de pisolites ou graviers dans des poches pseudo-stratifiées, montrant des structures en corbeilles. La matrice meuble argilo-ferrugineuse est relativement abondante.

4. Variété schisteuse: ce sont des schistes plus ou moins remplacés, dont le litage est encore visible. Le débit est en plaques et la teneur faible.

Ces diverses variétés peuvent coexister dans le même gîte et les changements d'un type à l'autre sont très brutaux et fréquents.

3.5.3. Variation de la teneur avec la profondeur

L'examen des logs de sondages a montré qu'il n'existe pas de loi simple et évidente régissant la variation des teneurs en Mn et Fe avec la profondeur. Bien entendu, passé une certaine profondeur, la minéralisation cesse et la roche devient presque complètement siliceuse. A l'intérieur de la zone minéralisée, les variations semblent plus ou moins périodiques, mais seuls des sondages rapprochés et systématiques permettront de dégager une loi de variation, si elle existe.

La figure 5 montre le log simplifié d'un sondage profond foré dans le gisement H. Les quelques pour-cent de Mn et de Fe qui se marquent au-dessous de la cote -30 m proviennent sans doute de la contamination due à la mauvaise cohésion de la zone minéralisée.

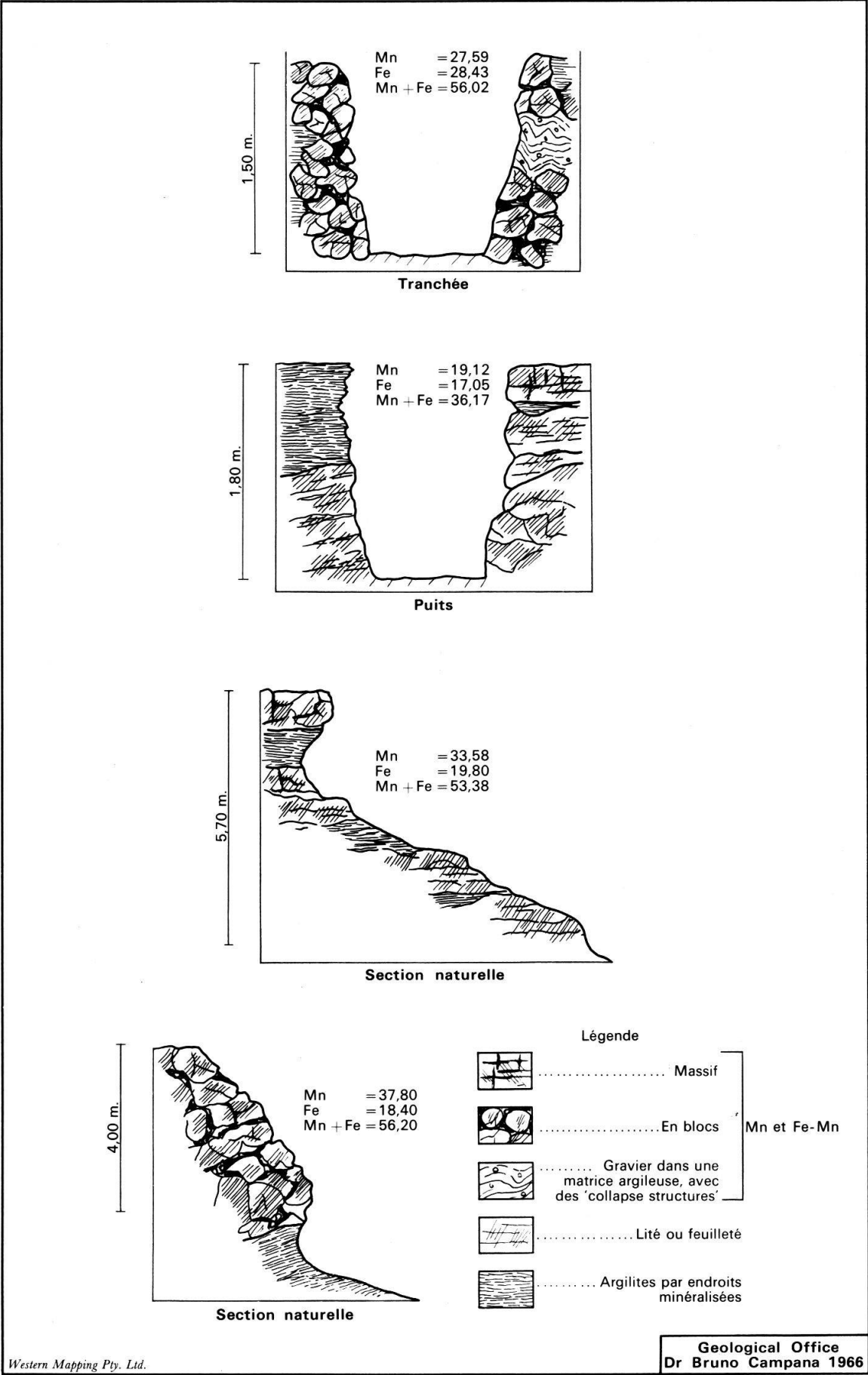


Fig. 4: Modes de gisement

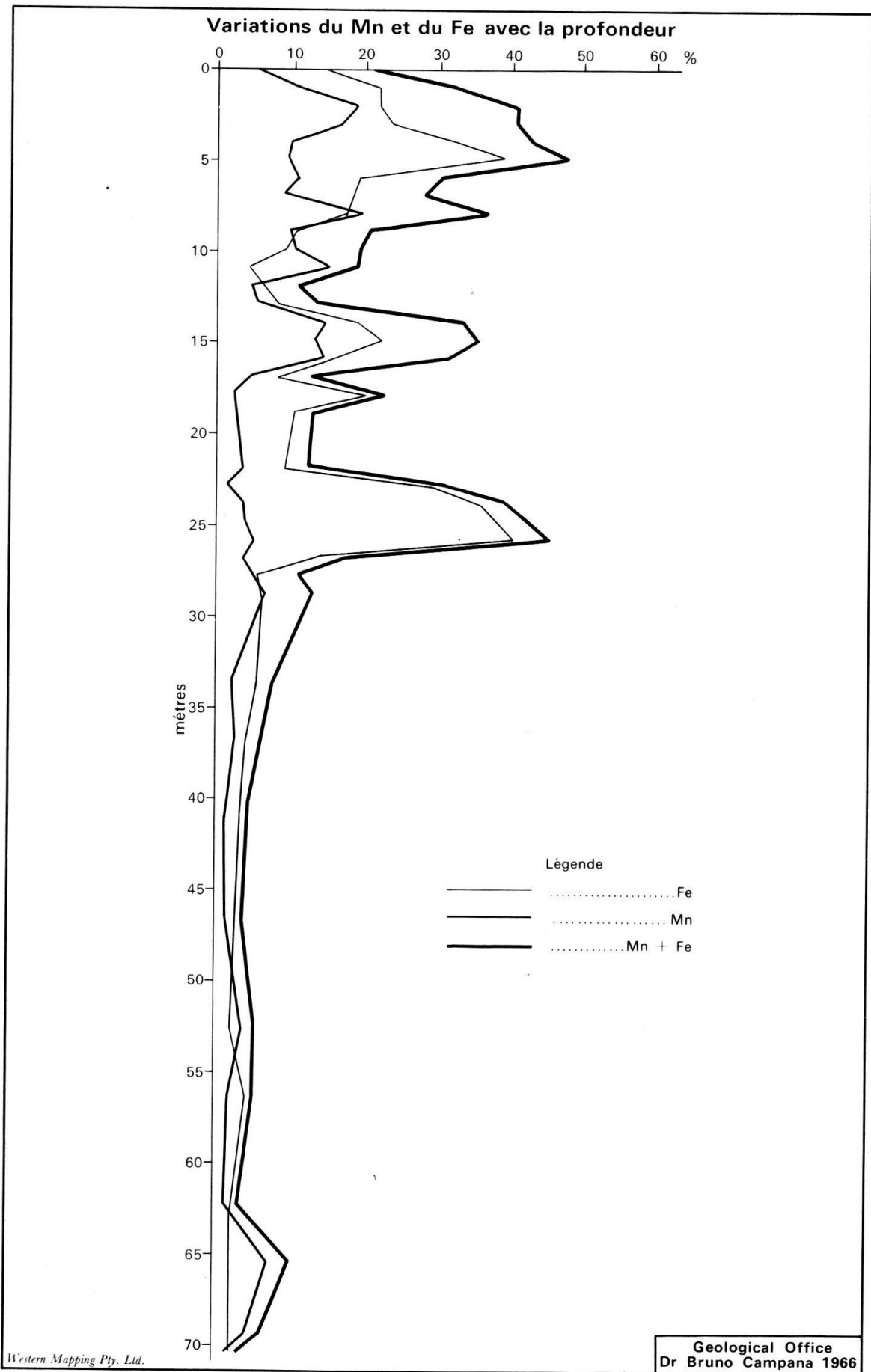


Fig. 5

3.5.4. Relations Mn – Fe

Les analyses chimiques ont montré qu'il existe une *antipathie* (ou corrélation négative) entre la teneur en Mn et Fe des échantillons. Ainsi, dans le cas de la fraction grossière du minerai tamisé, la relation Mn-Fe s'exprime par: (% Fe) = 48,5 – 0,85 (% Mn), avec un coefficient de corrélation de Pearson de –0,83. La pente de la droite de régression est voisine de 45 degrés, ce qui signifie que la somme Mn + Fe varie assez peu. Il en va de même pour les échantillons pris sur les sections naturelles. En revanche, la corrélation est moins bonne pour les échantillons de sondage (présence d'impuretés).

3.6. Méthodes d'étude et problèmes d'échantillonnage

Pour l'étude des gîtes principaux (A, B, G et H, voir la carte), qui n'ont que peu ou pas de recouvrement, la séquence des opérations est la suivante:

3.6.1. Séquence des opérations

1. Cartographie géologique, à l'échelle 1 : 2400 sur plans à contours, des surfaces minéralisées, des schistes intercalaires stériles et de la brèche de chert.

2. Echantillonnage du niveau minéralisé le long des sections naturelles («chip sampling»).

3. Sondages sur profils NS et EW dans les parties les plus intéressantes du gîte. Les sondages sont espacés de 60 m. Certains de ces sondages préliminaires ont été poussés loin en profondeur pour essayer de toucher la dolomie non altérée et tester la présence possible de gîtes de la classe I, mais sans y parvenir: on a dû interrompre le forage à une profondeur de 70 m environ à cause du niveau hydrostatique. La méthode employée est la percussion et les échantillons sont prélevés par tranches de 3 ou 5 pieds.

Un programme de sondages en grille carrée de 60 m de côté est prévu pour le stade suivant de l'étude.

4. Creusement de puits et de tranchées sur les parties minéralisées pour tests en masse («bulk sampling») et chip sampling. Les puits sont espacés de 30 m sur une grille carrée. Leur profondeur moyenne est d'environ 1,80 m.

5. Concassage et tamisage du matériel tiré des puits en 3 fractions: grossier + 1"; moyen –1" + 1/2"; fin –1/2".

6. Analyse préliminaire de tous les échantillons pour le Fe et le Mn, suivie d'analyses complètes pour le minerai.

Mentionnons encore les méthodes géophysiques telles que la gravimétrie (ROWSTON, 1965) ou la prospection électrique qui sont envisagées pour tester la présence de gîtes profonds sous la carapace siliceuse du haut plateau.

Table V

Comparaison entre les résultats donnés par les différentes méthodes d'échantillonnage

Gîte	Chip-sampling sur sections naturelles			Chip-sampling ds. les puits			Sondages			Tests en masse (concassé et criblé)											
	Mn	Fe	Mn+Fe	Mn	Fe	Mn+Fe	Mn	Fe	Mn+Fe	Grossier (+1")			Moyen (–1" + 1/2")			Fin (–1/2")			Total		
	Mn	Fe	Mn+Fe	Mn	Fe	Mn+Fe	Mn	Fe	Mn+Fe	Mn	Fe	Mn+Fe	Mn	Fe	Mn+Fe	Mn	Fe	Mn+Fe	Mn	Fe	Mn+Fe
A	31,5	24,8	56,3	21,4	30,5	51,9	11,0	24,4	35,4	29,6	24,2	53,8	22,3	28,3	50,6	13,6	26,5	40,1			
G	33,2	25,7	58,9	24,1	24,4	48,5	17,9	23,6	41,5	39,7	14,3	54,0	35,1	18,3	53,4	26,8	19,7	46,5			
Tous ¹	31,0	25,9	56,9	22,5	28,0	50,5	14,8	24,5	39,3	30,0	23,0	53,0	22,2	26,4	48,6	13,8	22,3	36,1	22,0	23,9	45,9

¹ Moyenne pondérée de tous les gîtes.

3.6.2. Comparaison des méthodes d'échantillonnage

La grande variabilité horizontale et verticale rend délicate l'estimation des teneurs moyennes et des réserves. Aussi est-il intéressant de comparer les résultats obtenus en considérant les types suivants d'échantillons, le «cut-off» étant fixé à 30 % Mn + Fe:

1. «Chip sampling» sur sections naturelles
2. «Chip sampling» dans les puits
3. Cuttings de sondages (par tranches de 1,50 m)
4. Matériel tiré des puits et tamisé en trois fractions (voir sous 3.6.1.)

La table V et la figure 6 résument les résultats obtenus dans les gîtes A et G, ainsi que sur l'ensemble des gisements.

On peut faire les remarques suivantes à leur propos:

1. Les variations de teneur maximales sont d'environ 5% pour le Fe et de 16% pour le Mn.

2. Le «chip sampling» sur sections naturelles a été fait en général sur du minerai propre, sans matrice, plutôt que sur du minerai à basse teneur. Cela explique la haute teneur en Mn et Mn + Fe.

3. Le «chip sampling» dans les puits donne, pour le Mn, des valeurs plus petites que sur sections naturelles. On peut l'expliquer par le fait que les puits ont été foncés selon une grille régulière, alors que les sections naturelles propres à l'échantillonnage se trouvent en général dans du minerai dur à bonne teneur. Le fort pourcentage de Fe est dû à l'abondance de cet élément dans plusieurs puits du gisement A.

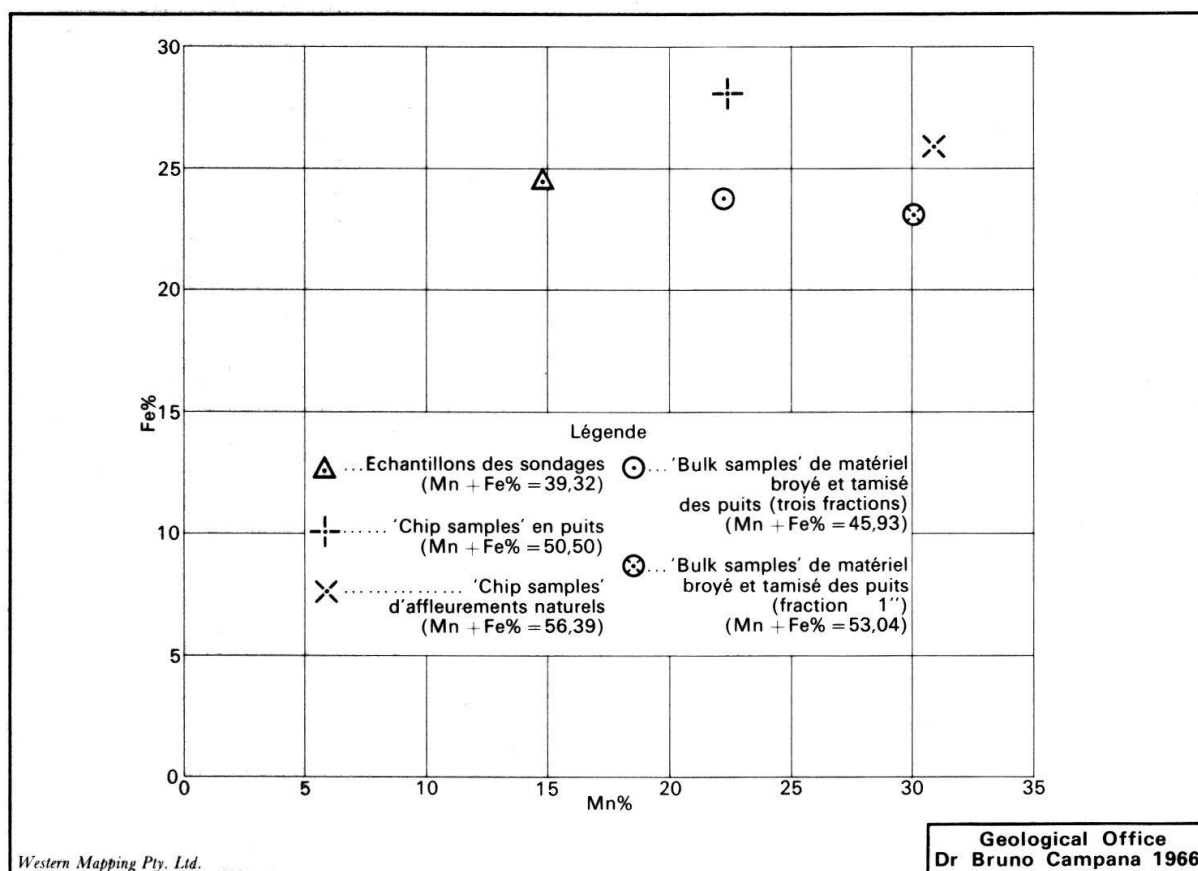


Diagramme des moyennes pondérées générales pour les divers types d'échantillonnage

Fig. 6

4. Les échantillons donnés par les sondages sont probablement les plus représentatifs de la masse du minerai in situ *avant toute bénéficiation*, car ils traversent toute la zone minéralisée et sont implantés pratiquement au hasard. Ajoutons néanmoins que la nature du sous-sol (cavités, fractures, etc.) produit une certaine contamination des cuttings par de la matrice argilo-ferrugineuse meuble. Aussi les teneurs moyennes (15% Mn, 25% Fe, 40% Mn + Fe) établies par cette méthode sont-elles considérées comme une *estimation minimale* des teneurs réelles.

5. Sur un total de 179 puits foncés dans les gîtes (à l'exclusion de H), 43 ont été choisis visuellement pour des tests en masse. La sélection a retenu le matériel qui paraissait de meilleure qualité, aussi les moyennes obtenues ne sont-elles pas valables pour l'ensemble de la zone minéralisée, mais seulement pour les *blocs les plus riches*.

6. La fraction grossière donne des résultats très comparables à ceux obtenus sur les sections naturelles, surtout pour le Mn. On voit donc que cette dernière méthode permet d'estimer la teneur de la fraction grossière du minerai tamisé.

7. Le «chip sampling» dans les puits donne, pour la Mn, une moyenne semblable à celle trouvée par les tests en masse. La différence pour le Fe est accidentelle: un test statistique de «t» effectué sur les moyennes respectives du Mn, du Fe et de leur somme a montré que les différences ne sont pas significatives. On peut donc en conclure que la *méthode rapide du «chip sampling» dans les puits donne les mêmes résultats que les tests en masse*.

En résumé, les échantillons de sondage donnent une estimation minimale des teneurs de la zone minéralisée (minerai + matrice). Le «chip sampling» dans les puits et l'échantillonnage en masse donnent les valeurs moyennes pour le minerai provenant de blocs sélectionnés. Enfin, le «chip sampling» sur les sections naturelles permet d'estimer la teneur du minerai de meilleure qualité (par exemple «lump ore»).

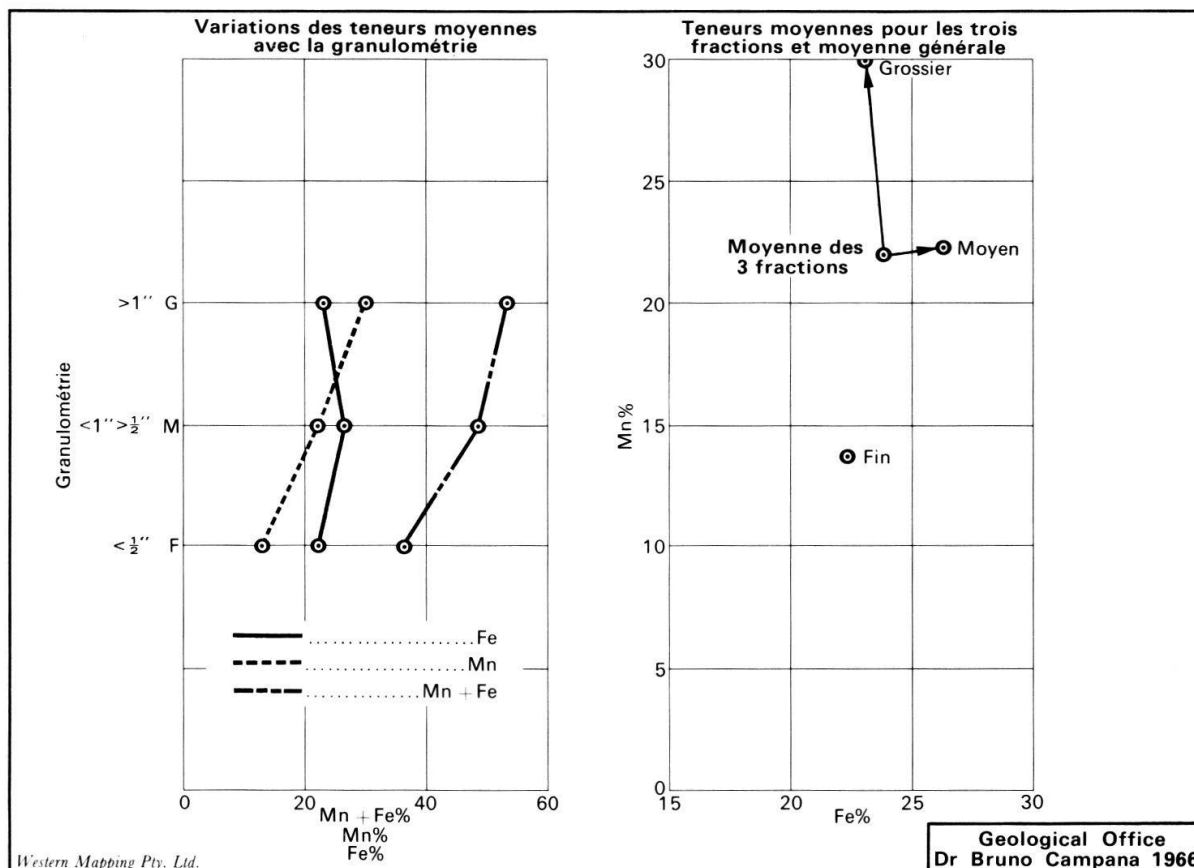


Fig. 7

Matériel broyé et tamisé provenant du "bulk sampling" des puits

3.7. Enrichissement du minerai par tamisage

Les quelque 50 tests effectués jusqu'à présent montrent que l'enrichissement du minerai est possible.

Après broyage et tamisage en 3 fractions, les teneurs varient comme indiqué sur la figure 7. On voit que la teneur en Mn *augmente avec la granulométrie*. Les différences entre les moyennes des 3 fractions sont significatives avec un coefficient de sécurité de 99% (test «t»), ce qui prouve que cette augmentation n'est pas fortuite. En ce qui concerne le Fe, la variation n'est pas significative et l'on peut considérer que sa quantité demeure *constante* dans les 3 fractions (env. 24%).

En comparant, pour le Mn, la teneur moyenne de l'ensemble des 3 fractions, avec celle de la classe +1'', on voit que *l'augmentation est d'environ 8%*.

Ces études préliminaires devront être poursuivies, en particulier pour déterminer le pourcentage en poids des trois fractions sur l'ensemble des gîtes («recovery»). On peut d'ores et déjà dire, sur le plan qualitatif, que l'on arrivera à produire du minerai de ferromanganèse en «lumps» titrant 30% Mn et 23% Fe.

3.8. Réserves et teneurs moyennes

Etant donné le nombre limité de sondages effectués à cette date, les réserves provisoires sont données en tonnes par pied vertical, supposant un poids spécifique de 3,9 (9 pieds cube à la tonne). Les résultats sont résumés sur la table VI. Les *réserves probables* sont estimées à 60 millions de tonnes de minerai ayant une teneur in situ, avant tout traitement, de 15-17% Mn, 25% Fe et 40-42% Mn + Fe.

Bien que les teneurs soient relativement faibles, les réserves sont assez grandes et la position des Ripon Hills, entre la province ferrifère de Hamersley et la côte, peut rendre ces gîtes exploitables dans un proche avenir.

Table VI

Réserves probables des gîtes de Ripon Hills

Gisement	Tonnes/pied vert.	Epaisseur (pieds)
A	244.500	40 ¹
G	257.000	35 ¹
H	834.000	35 ¹
B + C	327.500	30 ²
D, E, F, I	291.300	20 ²
Total	1.954.300	30

¹ Basé sur les résultats des sondages préliminaires.

² Supposé.

4. Conclusions

Les gîtes de ferro-manganèse des Ripon Hills sont situés dans une vaste structure synclinale comprenant une série dolomitique surmontée en transgression et après une lacune de 300 millions d'années, d'une série clastique plus ou moins silicifiée. Ces formations ne comprennent pas ou peu de «roches-mères» pour le minerai de Fe-Mn. Aussi a-t-on fait l'hypothèse que la source de la minéralisation se trouvait dans les sédiments du Manganese Group, érodés et repris lors de la transgression des Waltha Woorra Beds. Le Mn Group affleure plus au sud, où il se place stratigraphiquement entre la Carawine Dolomite et les Waltha Woorra Beds.

On a aussi confirmé l'existence d'au moins deux cycles d'altération et de silicification susceptibles de mobiliser le Mn, l'un prépermien, l'autre Mésozoïque-Tertiaire.

Les gîtes, typiquement résiduels, sont contrôlés par la présence soit du contact dolomie-brèche de chert, soit par les termes basals des Waltha Woorra Beds. Leur forme est en lentilles-couches, souvent localisées dans de petits synclinaux. Quant au minerai, il consiste en un mélange d'oxydes et d'hydroxydes de Mn et de Fe. Les variations latérale et verticale des propriétés physiques et chimiques sont grandes dans la zone minéralisée, et différents types d'échantillonnage ont été évalués et comparés.

Enfin, on a établi la possibilité d'enrichir le minerai par concassage et criblage.

Les réserves probables sont actuellement de l'ordre de 60 millions de tonnes de minerai à 15-17% Mn, 25% Fe et 40-42% Mn + Fe, et on envisage une production annuelle de l'ordre de 1 million de tonnes.

Remerciements

Les auteurs sont reconnaissants à la Mt Sydney Manganese Co., de Perth, W.A., pour sa permission de publier une partie de leur rapport de 1967.

Des résultats de travaux antérieurs dus à la Sentinel Mining Co., de Perth, et à Rio Tinto South. Pty. Ltd ont été aimablement fournis par ces compagnies.

La collaboration du staff de Hancock & Wright, de Perth, a été très appréciée lors du travail de terrain.

Enfin, la préparation du manuscrit a bénéficié de l'aide de J. Jaquet.

Que toutes ces personnes ou organisations trouvent ici l'expression de notre reconnaissance.

Bibliographie

- CAMPANA, B. (1966): Stratigraphic-structural-paleoclimatic controls of the newly discovered iron ore deposits of West Austr. Mineralium Deposita, n° 1, 53-59.
- (1968): La découverte des grands gisements de fer et de bauxite en Australie. Bull. Ass. Suisse Géol. Pétrol., 35, n° 86.
- CAMPANA, B., COCQUIO, S. & JAQUET, J.-M. (1967): The manganese deposits of Ripon Hills, W.A. Rapport non publié, 1-33.
- (1968): The iron ore deposits of the Mt Lockyer-Dales Gorge-Wittenoom-Mt Bruce-Parraburdoo areas, Hamersley Range, W. A. Rapport non publié, 1-58.
- DE LA HUNTY, L. (1963): The geology of the Manganese deposits of Western Australia. Geol. Surv. of West Austr. Bulletin 116.
- (1964): Notice explicative de la feuille au 1:250.000 Balfour Downs, W. Austr., Bureau of Mineral Resources, Canberra.
- (1965): Investigation on manganese deposits in the Mt Sydney-Woodie Woodie area, Pilbara Goldfield. Geol. Surv. of West. Austr. Annual Report for 1964.
- (1966): Manganese nodules in the Middle Proterozoic shale in the Pilbara Goldfield, W.A. Geol. Surv. of West. Austr. Annual report for 1965, 65-68.
- HORWITZ, R. (1966): Provisional subdivisions of the Precambrian in Western Australia. Geological Survey of West. Austr. Annual Report for 1965.
- LAMEY, C. (1966): Metallic and Industrial Mineral Deposits. McGraw Hill, New York.
- LOMBARD, A. (1956): Géologie sédimentaire. Masson, Paris.
- NOLDART, A. J. & WYATT, J. D. (1962): The geology of portion of the Pilbara Goldfield. Geological Survey of West. Australia Bulletin, n° 115.
- ROWSTON, D. L. (1965): Gravity survey of manganese deposits in the Mt Sydney-Woodie Woodie area, Pilbara Goldfield. Geol. Survey of West. Austr. Annual Rep. 1964.