

Zeitschrift: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Band: 36 (1969-1970)
Heft: 90

Artikel: Découverte et mise en valeur des bauxites australiennes : le projet de Chittering (Australie Occidentale)
Autor: Campana, B. / Cocquio, S. / Jaquet, J.-M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-196635>

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: 17.07.2025

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

Découverte et mise en valeur des bauxites australiennes: le projet de Chittering (Australie Occidentale)

avec 15 figures, 1 carte et 5 tables

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

Abstract

Zusammenfassung

Riassunto

Préface

1. Remarques sur l'industrie de l'aluminium et de ses minerais
2. Les réserves de bauxite et la capacité productive de l'Australie
3. Caractères géologiques généraux des bauxites australiennes
4. Les gisements de Chittering
 - 4.1. Situation géologique et géographique
 - 4.2. Les gîtes de bauxite
 - 4.2.1. Le profil latéritique
 - 4.2.2. Facteurs contrôlant la genèse des gîtes et critères de prospection
 - 4.2.3. Composition minéralogique
 - 4.2.4. Composition chimique
 - 4.2.5. Variation de la composition chimique dans le profil
 - 4.3. Méthodes d'étude
 - 4.3.1. Séquence des opérations
 - 4.3.2. Notions de réserves et de teneurs
 - 4.3.3. Sondages et analyses
 - 4.4. Le projet industriel
 - 4.4.1. Réserves et teneurs en minerai brut et caractéristiques des gîtes de Chittering
 - 4.4.2. Exploitation et raffinage des bauxites

Remerciements

Bibliographie

Abstract

This article is intended as a complement of a previous paper on the recent discovery and characteristics of large iron ore and bauxite reserves in Australia.

It has been shown in the previous article that the hematitic, high-grade iron ore depo-

* Bureau Géologique et Minier Bruno Campana, Lausanne (Suisse) et Perth (Australie Occidentale)

sits (57–68% Fe) discovered in 1961–63, following the exploration programmes and direction of B. CAMPANA in the central portion of the Hamersley Range, contain reserves now estimated at 9,000 million tons.

This paper deals with the Australian bauxite reserves, and particularly with the deposits discovered by the authors in the Chittering area, near Perth (Western Australia), between 1965 and 1969.

The bauxite reserves of Australia, all of lateritic origin, are of the order of 2,900 million tons, and form about 30% of the estimated world reserves. They are situated in the States of Western Australia (Darling Range, Kimberley) and Queensland (Weipa), and in the Northern Territory (Gove). A large industry is being developed to mine the deposits and to refine the ore. The installed capacity of alumina should reach 4.5 million tons in 1972, i. e. about 25% of the present world production. The investments already exceed US \$ 500 million and are expected to reach US \$ 1,100 million in 3 years time.

The formation of the bauxite deposits is described. An ancient erosional surface, probably Tertiary in age, has been recognised over hundreds of thousand of square miles. A zone of weathering, showing very often a complete lateritic profile, contain all the bauxite deposits of Australia, as well as the iron ore deposits of the Hamersley Province. Paleoclimatic, morphological, structural and, for the iron ore deposits, stratigraphic controls have been clearly recognised.

The ancient erosional surface is represented, in the Perth area, by the Darling Range Plateau, on which developed the bauxite deposits of Chittering and of the Darling Range in general. The related lateritic-bauxitic profile is described in detail, together with the local controls governing the bauxite concentrations.

Mineralogical and chemical compositions of the Chittering bauxites are indicated: gibbsite, iron oxydes and hydroxydes, and quartz are the main constituents; there is also a certain amount of clachite, and probably some alumina bound in the iron minerals lattice. This form of alumina is difficult to extract by the normal Bayer process.

The chemical composition of the Chittering ore, much similar to the Darling bauxites in general, is summarized. The methods applied for the computation of reserves and grades are also given. To date, research work has costed about Aust. \$ 600,000 (Sw. Fr. 3 million).

It is stressed that the chemical-mineralogical composition of the Chittering bauxite is such that an economical extraction of the alumina is possible, in spite of its lower grade (30–40% extractable alumina). As the deposits are superficial, with an average depth of about 9', the open-cast mining is very simple and inexpensive. As for the geographical situation, it is very favourable, the deposits being situated near a large city with a well-equipped deep port, and along a modern railway.

The Project reserves *proven* by pattern-drilling (generally on a 100 yard grid) exceed 40 million tons. The *indicated* (by scout-drilling) and *potential* reserves are over 100 million tons.

An alumina plant, with an initial capacity of 800,000 tons alumina a year, is planned, to be possibly completed by a smelter.

The project is carried out by a joint venture group, formed by the Colonial Sugar Refining Co. in Sydney, Hancock & Wright Prospecting Co. in Perth and by the Geological-Mining Office B. Campana in Lausanne (Switzerland).

The investments envisaged at present for mining and alumina production are estimated at about Aust. \$ 120-130 million (Sw. Fr. 600 million).

Zusammenfassung

Vorliegende Arbeit ist die Fortsetzung eines vorhergehenden Artikels (Bull. Nr. 86) über die Entdeckung und die Eigenschaften der weitausgedehnten Vorkommen von Eisen und Bauxit in Australien. In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass die hochgradigen hematitischen Eisenerze (57–68% Fe), die 1961–63 mit dem Explorationsprogramm unter der Direktion von B. CAMPANA im zentralen Abschnitt der Hamersley-Kette entdeckt wurden, eine Reserve von etwa 9000 Mill. Tonnen darstellen.

Hier werden die Bauxitreserven Australiens, im speziellen die von den Autoren 1965 und 1969 entdeckten Lager in der Gegend von Chittering bei Perth (Westaustralien) behandelt.

Die Bauxitreserven Australiens, die alle lateritischen Ursprungs sind, betragen um die 2900 Mill. Tonnen und erreichen etwa 30% der Weltreserven. Sie liegen in den Staaten Westaustraliens (Darling Range, Kimberley) und Queensland (Weipa) und in den nördlichen Territorien (Gove). Eine bedeutende Industrie ist im Entstehen, die die Erze fördert und raffiniert. Die Kapazität von Aluminiumoxyd (Tonerde) sollte 1972 4,5 Mill. Tonnen erreichen, das wären etwa 25% der heutigen Weltproduktion. Die Investitionen übersteigen bereits 500 Mill. US \$, und sie sollen in 3 Jahren 1100 Mill. US \$ erreichen.

Die Entstehung der Bauxitlager werden beschrieben. Eine alte, wahrscheinlich tertiäre Erosionsfläche konnte über Hunderte von Tausenden von Quadratmeilen erkannt werden. Eine vollständig laterisierte Verwitterungszone enthält alle Bauxitlager Australiens und ebenso die Eisenerzlager in der Hamersley-Provinz. Die paleoklimatischen, morphologischen und tektonischen Verhältnisse der Lagerstätten liessen sich klar erkennen.

Die alte Erosionsfläche im Gebiet von Perth ist auf dem Plateau der Darling-Kette aufgeschlossen. Hier entstanden die Bauxitlager von Chittering und der Darling-Kette. Das Laterit-Bauxit-Profil wird im Detail beschrieben.

Der mineralogische und chemische Aufbau der Chittering-Bauxite wird behandelt: Gibbsite, Eisenoxyde, Eisenhydroxyde und Quarz sind die wichtigsten Bestandteile. Sicher sind Clachite und wahrscheinlich auch Aluminiumverbindungen im Gitter der Eisenminerale enthalten. Aluminiumoxyd in dieser Form ist mit dem Bayer-Process schwer zu extrahieren.

Die chemische Zusammensetzung der Chittering-Erze, die der der Darling-Bauxite gleicht, wird besprochen. Die Methoden für die Berechnungen der Reserven und Erzgehalte werden ebenfalls behandelt. Bis heute haben diese Untersuchungen etwa 600 000 Aust. \$ gekostet (3 Mill. Schw. Fr.).

Es sei betont, dass die chemisch-mineralogische Zusammensetzung der Chittering-Bauxite, trotz des niedrigen Al_2O_3 -Gehaltes (30–40%), eine ökonomische Herstellung von Aluminiumoxyd ermöglicht.

Da die Lager an der Oberfläche liegen (mittlere Tiefe etwa 9') ist der Abbau einfach und billig. Geographisch liegen die Lager günstig. Die Nähe einer grossen Stadt mit Hafen und moderner Eisenbahn erleichtern die Arbeiten.

Die mit «pattern-drilling» ermittelten Reserven überschreiten 40 Mill. Tonnen. Die Reserven, die mit «scout-drilling» erhalten wurden, sind über 100 Mill. Tonnen.

Eine Aluminiumoxyd Produktion von 800 000 Tonnen ist projektiert.

Das Projekt wird durch die Colonial Sugar Refining Co. in Sydney, die Hancock & Wright Prospecting Co. in Perth und vom Geological-Mining Office B. Campana in Lausanne ausgeführt.

Die in Aussicht gestellten Investitionen für Abbau und die Produktion von 800.000 t. Aluminiumoxyd werden auf 120-130 Mill. Aust. \$ geschätzt (ungef. 600 Mill. Schw. Fr.).

Riassunto

Questo lavoro completa un precedente articolo sulla recente scoperta e le caratteristiche dei grandi giacimenti di ferro e di bauxite in Australia.

Si mostrò nel lavoro precedente che i giacimenti di ferro ematitici a alto tenore (57–68% Fe) scoperti nell'Australia Occidentale nel 1961–1963, secondo i programmi d'esplorazione e sotto la direzione geologica di B. CAMPANA, nella parte centrale della Hamersley Range, contengono delle riserve di minerale stimate oggi a 9 miliardi di tonnellate.

Questo articolo tratta i giacimenti bauxitici australiani, e descrive particolarmente i giacimenti di Chittering, presso la città di Perth (Australia Occidentale), scoperti dagli autori di questo scritto tra il 1965 e il 1969.

Le riserve bauxitiche australiane ritrovate negli ultimi 14 anni sono tutte di origine lateritica e ammontano a circa 2,9 miliardi di tonnellate. Esse formano il 30% almeno delle riserve mondiali e sono situate nell'Australia Occidentale (Darling Range e Kimberley), nel Northern Territory (Gove) e nel Queensland (Weipa). Una vasta industria di coltivazione della bauxite e d'estrazione dell'allumina sta sviluppandosi in queste zone. Si stima che la capacità installata per la produzione dell'allumina raggiungerà 4,3 milioni di tonnellate nel 1972, cioè circa 25% della produzione mondiale attuale. Gli investimenti sono tuttora di 2 miliardi di franchi e raggiungeranno la cifra di 4,5 miliardi fra 3 anni.

Vengono descritti i «controlli geologici», cioè i fattori genetici che hanno prodotto le accumulazioni bauxitiche. Un'antica superficie d'erosione, d'età probabile terziaria, è stata riconosciuta su centinaia di migliaia di km². A questa antica superficie sottostà un correlativo profilo d'alterazione pedologica profonda (fino a 30 m.), che ha sovente caratteristiche lateritiche complete, e che contiene tutti i giacimenti di bauxite e i nuovi grandi giacimenti di ferro dell'Australia Occidentale. Sono stati nettamente riconosciuti il controllo *paleoclimatico*, *morfologico* (e per i giacimenti ematitici di ferro anche il controllo strutturale e stratigrafico) delle riserve nuovamente scoperte.

L'antica superficie d'erosione è rappresentata presso Perth, dall'altipiano della Darling Range, su cui si svilupparono appunto i giacimenti bauxitici di Chittering. Il profilo lateritico bauxitico caratteristico è descritto dettagliatamente, insieme con i fattori (controlli) locali della concentrazione di minerali d'alluminio.

Sono indicate la composizione mineralogica e chimica delle bauxiti di Chittering. Prevalgono la gibbsite, gli ossidi e idrossidi di ferro e il quarzo. Comune è pure la presenza del gel clachite e forse anche di una forma d'allumina legata al reticolo cristallino dei minerali di ferro (e quindi di difficile estrazione con il normale procedimento di Bayer).

I risultati sperimentali sulla composizione chimica delle bauxiti di Chittering (e delle bauxiti della Darling Range in generale) sono descritti brevemente. Si indicano pure i metodi applicati nel computo delle riserve e del tenore del minerale. I lavori di ricerca costarono circa 3 milioni di franchi svizzeri.

Si mostra che la composizione chimica-mineralogica delle bauxiti di questa zona sono tali da permettere un'estrazione economica, malgrado il loro tenore alquanto basso in valore assoluto (30–40% di allumina estraibile). La loro situazione geografica è pure molto favorevole, a poche decine di chilometri da una grande città con porto marittimo profondo, e lungo una moderna linea ferroviaria. Trattandosi di vaste coltri di bauxite superficiali, d'uno spessore medio di 3 m., la sfruttamento a cielo aperto è semplice e poco costoso.

Per il progetto di Chittering, le *riserve provate* (con una rete di sondaggi sistematici generalmente disposti a 90 m. di distanza) superano 40 milioni di tonnellate. Le *riserve*

indicate (da sondaggi di prospezione) e le *riserve potenziali*, cioè dedotte con criteri geologici, superano 100 milioni di tonnellate.

È progettata una raffineria d'una capacità iniziale di 800.000 tonnellate di allumina annue, seguita probabilmente da impianti per la produzione del metallo.

Il progetto è l'opera d'un consorzio (joint venture) che raggruppa Colonial Sugar Refining Co. di Sydney, Hancock & Wright Prospecting Co. di Perth, e l'Ufficio Geologico-Minerario B. Campana di Losanna.

Gli investimenti attualmente previsti per lo sfruttamento delle bauxiti e la produzione dell'allumina sono di circa 120-130 milioni di dollari australiani, equivalente a 600 milioni di franchi.

Préface

Dans un article précédent, publié dans ce même bulletin (CAMPANA, 1968), il a été montré que les gisements de minerai de fer et de bauxite découverts en Australie au cours de ces 14 dernières années ont modifié, à l'échelle mondiale, l'économie des matières premières pour la sidérurgie et la fabrication de l'aluminium. Dans l'histoire minière, ces découvertes sont sans doute parmi les plus importantes de notre siècle, et elles ont placé l'Australie parmi les grands fournisseurs de minerai de fer et de bauxite (ou d'alumine). Leur signification pour l'économie minière est d'autant plus marquée qu'elles ont été suivies par des découvertes importantes de minerais de nickel, de cuivre, de phosphates, de gaz naturel et de pétrole.

L'article précédent a surtout été voué à la description des gîtes de fer hématitiques à haute teneur dans la partie centrale de la chaîne de Hamersley, reconnus par CAMPANA en 1961-63 et étudiés en détail, particulièrement par COCQUIO et JAQUET, au cours de longues campagnes de prospection en 1965-68 (CAMPANA, COCQUIO & JAQUET, 1968). Les réserves totales des gîtes de fer à haute teneur (57-68 % Fe) sont estimées aujourd'hui à 9 milliards de tonnes.

Dans les pages suivantes nous donnerons un aperçu des réserves de bauxite en Australie, tout en indiquant leur caractéristiques, leur mode de gisement et l'état actuel de leur mise en valeur. Nous décrirons en particulier le projet d'exploitation et de raffinage des bauxites de Chittering, situées près de Perth, en Australie Occidentale, découvertes et étudiées par les auteurs de cette note au cours des années 1965-69. La description de ces gisements nous a paru particulièrement intéressante à cause de leurs caractères spéciaux (communs à toute la Province de la Darling Range), qui les différencient nettement des gîtes pour ainsi dire classiques exploités jusqu'ici. Une fois reconnus, ces caractères ont montré que les réserves de la Darling Range se placent parmi les plus importantes du monde, malgré leur teneur relativement basse en alumine.

1. Remarques sur l'industrie de l'aluminium et des minerais :

Progrès, besoins et conditions de productivité

On n'exagère probablement pas en considérant l'aluminium comme le métal qui trouve, dans la technologie moderne, les usages les plus divers et à bien des points de vue les plus nécessaires. A partir des objets familiers à toute ménagère, il a rapidement gagné du terrain dans le domaine de l'industrie lourde : fabrication de wagons de chemin de fer, de bateaux, d'avions, de lignes de transmission électrique, pour finalement devenir un

des matériaux essentiels dans le bâtiment... Ses caractéristiques naturelles bien connues (légèreté, résistance à la corrosion, conductivité électrique, etc.) lui assurent un avenir incontestable. Ainsi, la consommation de ce métal a augmenté, dans la dernière décennie, de 12,7% par an en moyenne, passant de 3 millions de tonnes en 1954 à plus de 9 millions en 1969, pour atteindre probablement 13 millions de tonnes en 1974.

Les lignes qui suivent, extraites de l'allocution présidentielle (MEYER, 1969) donnée à l'assemblée annuelle de 1969 de l'ALUSUISSE S.A., résument bien la situation actuelle:

«La consommation mondiale a atteint en 1968 un peu plus de 8,5 millions de tonnes, soit quelque 10% de plus qu'en 1967. Dans le monde libre, l'augmentation de consommation se situe à presque 13% et en Europe Occidentale même à 15%. L'accroissement le plus important a été enregistré en Allemagne Fédérale avec 23%... Pour l'Italie, l'augmentation est de 14%, et en Grande-Bretagne de 11%. Notre pays enregistre un accroissement de 10%...» Notons qu'en Australie-même, l'augmentation a été de 22%.

Pour satisfaire à cette demande croissante, d'importantes usines pour le raffinage des bauxites (produisant de l'alumine pure) et pour la production d'aluminium ont été érigées dans différents pays. La grande quantité d'énergie électrique nécessaire à la production de l'aluminium par électrolyse (environ 18 kwh par kilogramme de métal produit) détermina, dans le passé, l'emplacement des fonderies dans les pays disposant d'énergie électrique bon marché, tels que l'Amérique du Nord ou la Norvège, par exemple. Mais récemment, cette tendance a été modifiée par l'intérêt à placer les fonderies (mais pas nécessairement les usines d'alumine) aussi près que possible des centres de consommation: ainsi des fonderies d'une capacité dépassant 300 000 tonnes par an viennent d'être envisagées au Japon, pays où le prix de l'énergie électrique est assez élevé. Il n'en va pas de même pour la production de l'alumine par raffinage de la bauxite; cette production s'obtient généralement, on le sait, par le procédé chimique Bayer, lequel ne requière pas de grandes quantités d'énergie. En revanche, le procédé n'est rentable que pour des usines à forte capacité, en principe pas inférieure à 300 000 tonnes d'alumine par an. Une usine de cette capacité peut atteindre un coût très élevé, comme le montre la construction, par ALUSUISSE, de l'usine de Gove, sur les côtes nord de l'Australie (fig. 1). La production prévue est de l'ordre de 1 million de tonnes d'alumine par an, et le coût de la construction est estimé à 1,5 milliard de francs (MEYER, 1969). Ces investissements se justifient par le bénéfice tiré du raffinage des bauxites, dont la valeur marchande n'est que d'une trentaine de francs au plus par tonne, alors que la même quantité d'alumine, obtenue à partir de 2-3 tonnes de bauxite, dépasse 250 fr. En plus de réserves de bauxite très importantes et bien situées (30 millions de tonnes par usine au minimum), de telles mise de fonds requièrent de préférence des pays politiquement stables, technologiquement assez avancés, et peu inclinés à l'expropriation des intérêts étrangers...

C'est dans ce contexte économique que l'Australie est venue s'insérer, au cours des cinq dernières années, comme l'un des principaux fournisseurs de bauxite et surtout d'alumine pour les usines d'aluminium du monde non-communiste; ¹⁾ elle est même sur la voie de devenir le principal producteur, ainsi que le montrent les données qui suivent.

¹⁾ Ainsi le consortium EURALLUMINA a pu réaliser une usine d'alumine en Sardaigne d'une capacité initiale de 600.000 tonnes, extraites des bauxites australiennes. Les grosses capacités des cargos modernes, qui pourront bientôt dépasser 100.000 tonnes, ont grandement réduit l'incidence des frais de transport du minerai.

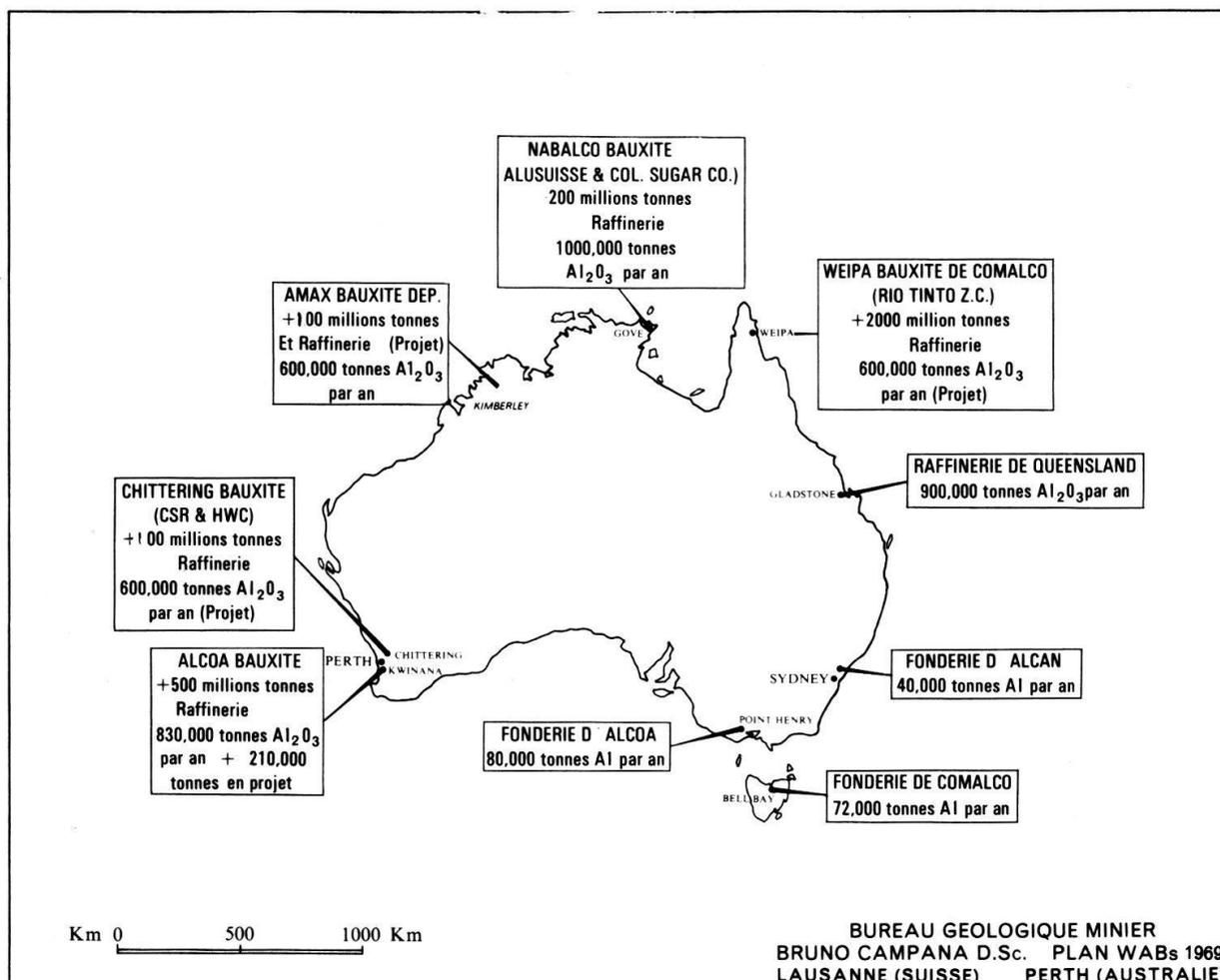


Fig. 1: Distribution des gisements de bauxite et des raffineries pour la production de l'alumine en Australie.

2. Les réserves de bauxite et la capacité productive de l'Australie: Réalizations et projets

La distribution des principaux gisements de bauxite découverts en Australie, leurs réserves et l'emplacement des usines productrices d'alumine et de métal sont indiqués sur la figure 1.

Les réserves principales, toutes découvertes au cours des 15 dernières années, sont données dans la table I.

Table I

Région	Réserves reconnues (millions de tonnes)
<i>Queensland</i> (York Peninsula) Gîtes de Weipa et autres	+ 2000
<i>Northern Territory</i> Gîtes de Gove	+ 200
<i>Australie Occidentale</i> Région de Kimberley Région de Perth (Darling Range) Gîtes de Jarrahdale et autres Gîtes de Chittering	+ 100 500 (?) + 100
Réserves totales	+ 2900

On voit ainsi que les réserves australiennes connues atteignent 30% au moins des réserves mondiales, aujourd'hui estimées à 9-10 milliards de tonnes. Si l'on ajoute aux réserves prouvées les tonnages probables et les réserves de teneur marginale qui pourraient s'avérer économiques dans l'avenir, il en découle que les gisements bauxitiques d'Australie contiennent environ 40% des réserves mondiales.

Ces grandes découvertes, ainsi que la stabilité politique, économique et sociale de l'Australie, ont déterminé en quelques années la création de vastes installations et infrastructures pour l'exploitation de la bauxite et la production de l'alumine; à une échelle plus modeste, une industrie pour l'extraction de l'aluminium a aussi été établie. Des six grandes sociétés internationales de l'aluminium, cinq participent déjà, par des investissements considérables, à la nouvelle industrie australienne (fig. 1); parmi elles figure depuis trois ans ALUSUISSE, comme nous venons de le mentionner.

Au début de l'année 1969, les investissements totaux se chiffraient à 2 milliards de francs; ils atteindront probablement 4,5 milliards d'ici trois ans. En ce qui concerne les exportations de bauxite, d'alumine et d'aluminium en provenance d'Australie, les prévisions sont les suivantes pour les années 1970-71 (Table II):

Table II

Produit	Tonnes	Valeur par tonne (francs)	Valeur globale (millions de francs)
Bauxite	5 millions	25	125
Alumine	1,9 millions	280	532
Aluminium	45 mille	2500	112
		Total	769

**GEOLOGICAL MAP OF PERTH AREA
(WESTERN AUSTRALIA)
SHOWING BAUXITE DEPOSITS
PROSPECTED IN RELATION TO
CHITTERING ALUMINA PROJECT.**

Scale in Kilometres
0 5 10 15 20 25

MAIN GEOLOGICAL UNITS

QUATERNARY—Marine and continental sediments
PERTH BASIN
CRETACEOUS—Marine and continental sediments

MIDDLE PROTEROZOIC—Sedimentary rocks
ARCHAEAN—Sedimentary rocks

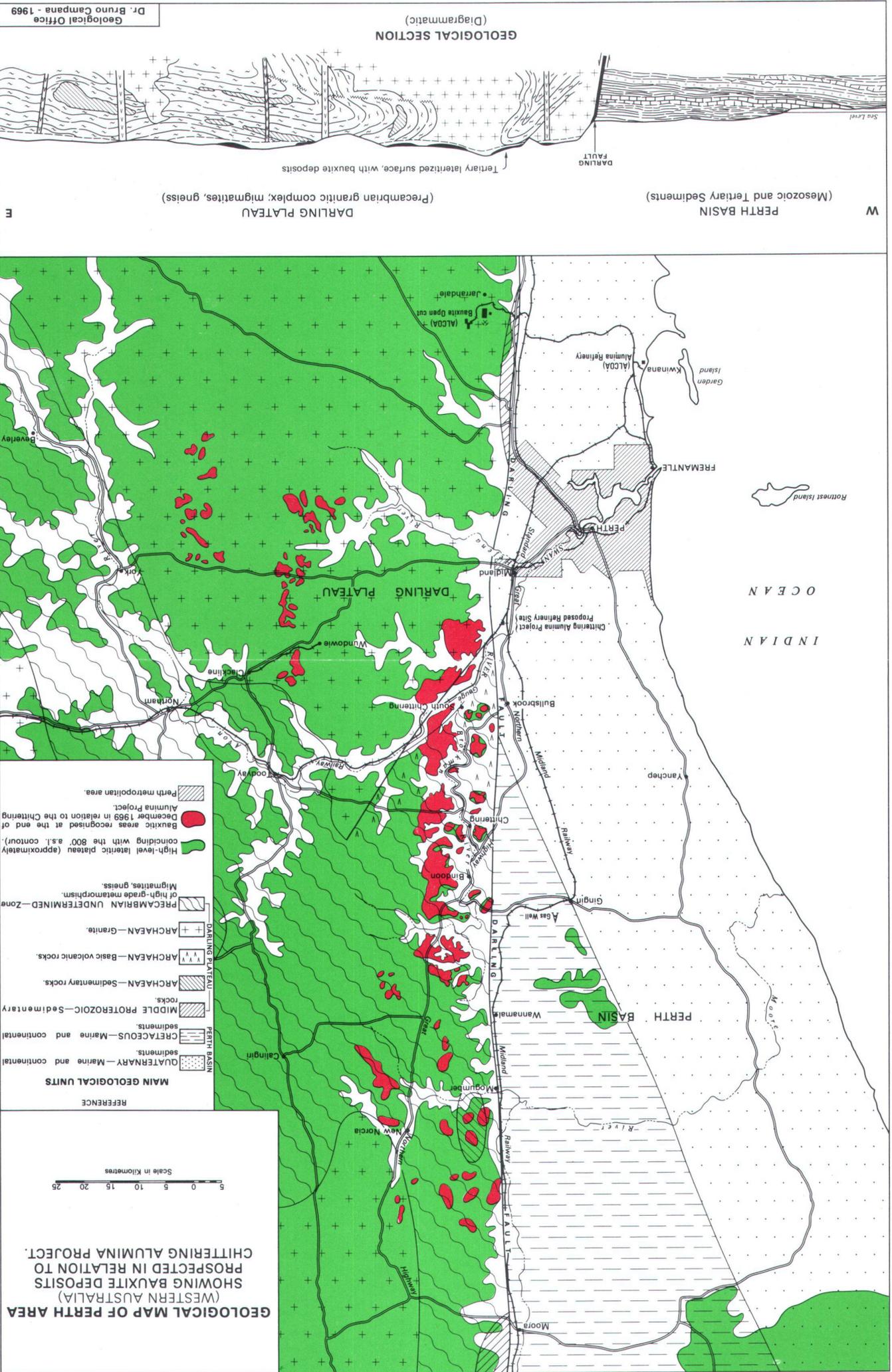
ARCHAEAN—Basic volcanic rocks
ARCHAEAN—Granite

PRECAMBRIAN UNDETERMINED—Zone of high-grade metamorphism
Migmatites, gneiss

High-level laterite plateau (approximately coinciding with the 800' a.s.l. contour)

Bauxitic areas recognised at the end of December 1969 in relation to the Chittering Alumina Project

Perth metropolitan area



PERTH BASIN (Mesozoic and Tertiary Sediments)

DARLING PLATEAU (Precambrian granitic complex; migmatites, gneiss)

Tertiary lateritized surface, with bauxite deposits

DARLING FAULT

(Diagrammatic)

Geological Office
Dr. Bruno Campana - 1969

Fig. 2: Carte géologique de la région de Perth (Australie Occidentale) montrant les unités stratigraphiques et tectoniques (Bassin de Perth et Bouclier archéen) et la surface soulevée du cycle d'érosion tertiaire (en vert) du Plateau de Darling. Les gisements bauxitiques reconnus par les auteurs sont indiqués en rouge.

Quant à la capacité installée, on prévoit qu'elle atteindra, en 1972, le chiffre de 4,3 millions de tonnes d'alumine, soit environ 25 % de la production mondiale actuelle.

3. Caractères géologiques généraux des bauxites australiennes

Les bauxites australiennes appartiennent toutes à la catégorie des gisements latéritiques. Elles se sont formées sur une *surface d'érosion profondément altérée*, d'une importance capitale pour l'économie minière de l'Australie. En effet, tous les grands gisements résiduels récemment reconnus en Australie Occidentale sont étroitement liés à cette surface; mentionnons les gîtes de fer hématitiques et limonitiques de Hamersley (CAMPANA et al., 1964; CAMPANA, 1968), les gisements de manganèse du Pilbara, également étudiés par les auteurs de cette note (CAMPANA, COCQUIO et JAQUET, 1967) et que nous nous proposons de décrire dans un travail ultérieur; des gîtes importants de nickel latéritique, et enfin les bauxites de la Darling Range et de Kimberley (fig. 1). Les gisements de Gove et de Weipa se sont aussi formés dans un profil latéritique que nous considérons comme l'équivalent géologique de celui d'Australie Occidentale.

Dans cet Etat, l'ancienne surface topographique a été découverte et décrite par l'un de nous dans la Hamersley Range et nommée «Hamersley Surface» (CAMPANA et al., 1964). Cette surface est l'aboutissement d'un cycle d'érosion d'âge tertiaire, que la morphologie permet de distinguer aisément du cycle d'érosion actuel. Ses formes de relief sont arrondies, mais assez accentuées; elles accusent des pentes de 15 % et plus, qui montent plus ou moins graduellement du niveau de la mer jusqu'à plus de 1400 m d'altitude, revêtues et figées par leur cuirasse latéritique qui les a préservées de l'érosion. On a ainsi un contrôle *paléoclimatique* fort net, reconnaissable aujourd'hui par les formes topographiques anciennes, qui seules montrent un profil latéritique.

On a décrit (CAMPANA, op. cit.) les conditions climatiques qui ont favorisé la formation des cuirasses latéritiques ferrugineuses et les gîtes de la Hamersley Range; rappelons-les brièvement, car elles peuvent également s'appliquer aux latérites alumineuses: Précipitations saisonnières abondantes (GRUBB, 1964, p. 10), se déversant sur des roches en climat chaud (augmentant le pouvoir dissolvant des eaux superficielles), suivies par des périodes sèches causant des fluctuations très marquées du niveau hydrostatique et favorisant ainsi le lessivage souterrain et les processus de séparation géochimique. Il convient de mentionner aussi les *contrôles structural et morphologique* agissant sur la formation des latérites par le biais du drainage: ce dernier, conditionné à la fois par les structures géologiques (failles, synclinaux inclinés, etc.) et par la position topographique des couches, favorise grandement un lessivage profond et actif.

Des conditions génétiques semblables à celles de la Hamersley Range se retrouvent à 1500 km plus au sud, dans la Darling Range, où un segment du Bouclier archéen soulevé par des mouvements verticaux forme le *Plateau de Darling* (fig. 2, 3 et 4). L'ancienne surface topographique y est nettement reconnaissable, soit par son expression morphologique, soit par le profil latéritique qui l'accompagne et qui contient, comme nous allons le voir, des gisements bauxitiques très étendus. PRIDER (1965) a nommé cette surface «Darling Range Surface» et la considère comme un équivalent de la «Hamersley Surface», tout en lui attribuant un âge pliocène plutôt que miocène. Cet auteur note que la cuirasse latéritique s'étend de 25 m d'altitude (à Bushmead, à l'est de Perth), jusqu'à 600 m au sommet du Mt. Saddleback. Nous avons noté les mêmes phénomènes dans la région de Chittering, où les surfaces latéritiques isolées par l'érosion récente sont situées entre 160 et 600 m d'altitude. Remarquons enfin que le relief de la «Darling Surface» est moins accentué que celui de son homologue dans la Hamersley.



Fig. 3: Gisements de bauxite de Chittering (Australie Occidentale) : à l'arrière-plan les forêts d'eucalyptus couvrent les surfaces à latérite bauxitique (Bx) du Plateau de Darling Range. Le soubassement granitique du bouclier archéen affleure sur la partie droite de la photo. A gauche s'étend le Bassin de Perth.

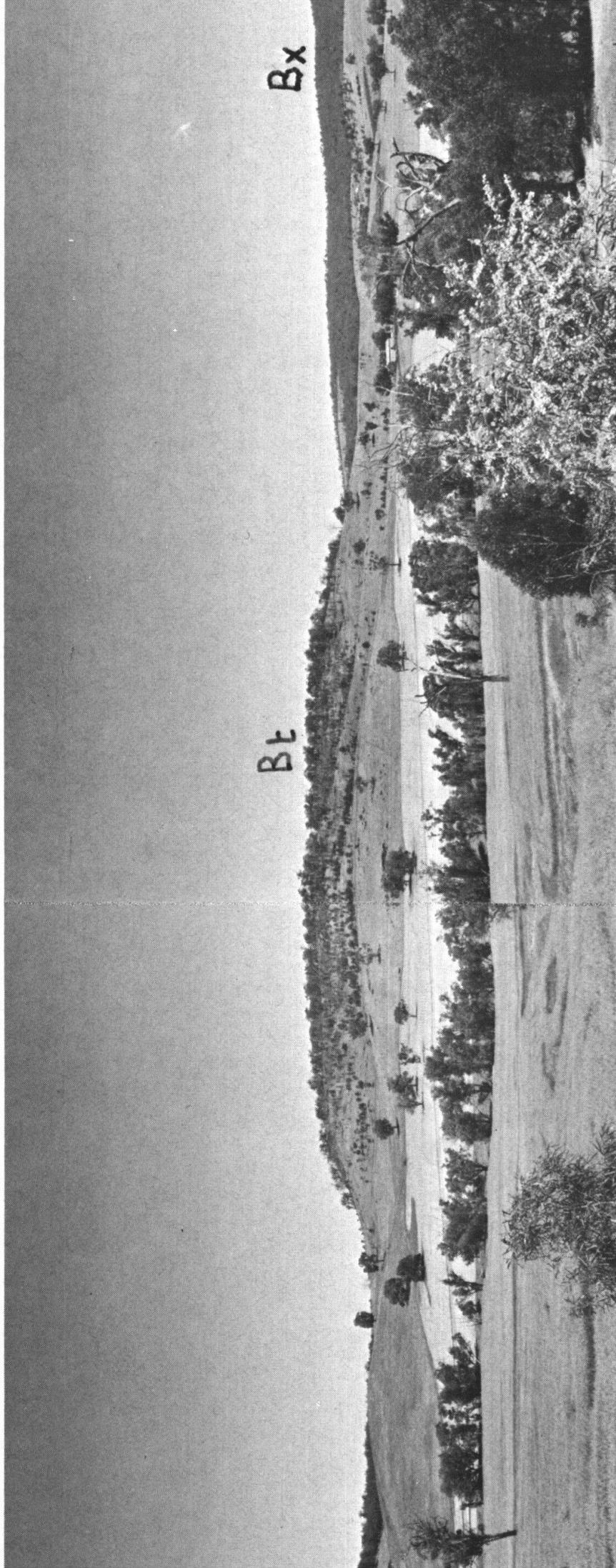


Fig. 4: Gisements de bauxite de Chittering (Australie Occidentale): Bt = butte-témoin du Plateau de Darling Range, près de la grande faille de Darling qui le sépare du Bassin de Perth. Les forêts des collines à l'arrière-plan couvrent les surfaces bauxitiques (Bx).

Les latérites de l'Australie Occidentale se sont développées sur les pentes de collines tertiaires à différentes altitudes et ne sont donc nullement liées à la morphologie d'une pénéplaine. Les produits finaux du processus de latéritisation varient en grand avec la latitude et le type de soubassement, et en petit avec l'altitude et la morphologie locale, lesquelles déterminent des *contrôles* finement réglés; ces derniers ne sont pas très apparents pour le géologue peu familier avec ces formations, mais ils jouent un rôle de premier plan, comme on le verra plus en détail, dans la localisation des gîtes de bauxite.

4. Les gisements de Chittering

4.1. Situation géographique et géologique

Les gîtes de bauxite de Chittering sont situés, comme on vient de le voir, en Australie Occidentale, aux abords de Perth, la capitale. Ils forment la partie nord de la Province bauxitique de la Darling Range, chaîne qui s'étend parallèlement à la côte de l'Australie sur une distance de plus de 400 km.

Les premiers gîtes de bauxite à basse teneur y ont été découverts vers 1960, bien que la présence de latérite alumineuse ait été signalée vers 1930 déjà. Les caractéristiques de ces gisements n'ont jamais été décrites en détail, mais il est connu que la société ALCOA y exploite plusieurs mines à ciel ouvert, dont la production annuelle de plus de 2 millions de tonnes alimente une usine d'alumine située à Kwinana, sur la côte au sud de Perth.

Le projet dans lequel les auteurs sont engagés depuis 1965 a son centre de gravité à South Chittering, 50 km au NE de Perth, mais les gîtes étudiés s'étendent sur une longueur de plus de 100 km au N et au S de cette localité.

Dans ses grandes lignes, la géologie de la région de Perth est assez simple (voir la carte et le profil, fig. 2). D'ouest en est, on a les unités suivantes:

- *Plaine côtière ou Bassin de Perth*: Il s'agit d'un bassin sédimentaire faiblement plissé, dont la série, partiellement reconnue en sondage, va du Silurien à l'Actuel. Ce bassin renferme des gisements de gaz (forages de Gingin et de Dongara).

- *Darling Range*: C'est une chaîne de collines granitiques et gneissiques couvertes de forêts et atteignant 350 m d'altitude (fig. 5). Cette unité est séparée du bassin côtier par une faille complexe, la Darling Fault, qui s'étend sur plus de 300 km en direction NS. La Darling Range forme le bord occidental du Bouclier précambrien australien et consiste en un complexe plissé de gneiss plus ou moins granitisés et de schistes cristallins, entrecoupés par place de dykes de dolérite et de roches vertes. Comme nous l'avons dit, ces roches ont subi une intense altération superficielle et de vastes lambeaux d'une ancienne *surface latéritique* (plateau), disséquée par l'érosion, subsistent sur les parties hautes des collines. Les gîtes de bauxite sont toujours étroitement liés à cette surface.

- *Plaine intérieure*: La Darling Range passe insensiblement à la plaine intérieure semi-désertique qui s'étend dans la direction de Kalgoorlie. Son substratum est formé des séries cristallines et métamorphiques du Bouclier.

4.2. Les gîtes de bauxite

4.2.1. Le profil latéritique (fig. 6, 7, 8)

Nous avons mentionné le rôle essentiel que les phénomènes d'altération superficielle ont joué dans la genèse de nombreux gîtes australiens. Dans la Darling Range le profil d'altération, qui peut atteindre une profondeur de 30 m, est constitué des niveaux suivants (fig. 13):



Fig. 5: Gisements de bauxite de Chittering: forêt naturelle sur le Plateau de Darling Range.



Fig. 6: Gisements de bauxite de Chittering: type d'affleurement naturel (bauxite pisolitique décomposée par altération superficielle).

– «*Hardcap*» : Cette croûte ou cuirasse à structure pisolithique et bréchiforme (fig. 10) se trouve en surface ou sous une faible épaisseur de sol. Elle est très riche en oxydes et hydroxydes de fer et contient aussi de la silice (quartz) et de l'alumine sous forme de gibbsite et de boehmite (très rare). On y observe la présence de bois fossile limonitisé et occasionnellement de galets de quartz. Des structures en «tuyaux» verticaux remplis de gravier pisolithique meuble y abondent.

– *Gravier pisolithique meuble* : à matrice argilo-sableuse : Il s'agit du produit de la désagrégation de la croûte ou de l'horizon bauxitique sous-jacent. Les pisolithes qui le constituent sont essentiellement goethitiques. Ce niveau constitue le recouvrement stérile qui est enlevé au moment de l'exploitation.

– *Sable siliceux* blanc, très pur : Il semble provenir de la destruction ultime de la croûte et pourrait aussi correspondre à des roches du soubassement très riches en quartz. Comme ce sable ne recouvre pratiquement jamais de bauxite exploitable, il est considéré comme un indice défavorable lors de la prospection.

– *Horizon bauxitique* (fig.5), Il est constitué presque entièrement de pisolithes et concrétions gibbsitiques pouvant atteindre 10 cm de diamètre. Le fer y est un peu moins abondant qu'en surface et la proportion de silice (quartz essentiellement) dépasse rarement 10%. Ce niveau est mal consolidé et l'on note l'absence quasi-totale de matrice argileuse, sauf à la base. Son épaisseur peut atteindre 10 m. Avec le hardcap, il constitue le minerai exploité dans la Darling Range. Les diverses textures de cet horizon sont visibles sur les coupes de la fig. 8.

– *Argile lithomargique* : C'est une argile kaolinique riche en quartz et plus ou moins colorée par des oxydes de fer. Elle passe insensiblement au niveau bauxitique vers le haut et à la roche en place vers le bas. Selon GRUBB (1964), cette argile peut être considérée comme le produit duquel est dérivée la bauxite, qui se serait formée par hydratation aux dépens de l'argile.

– *Soubassement* : Il est constitué par des roches acides, mis à part quelques dykes de dolérite, qui vont des granites francs aux micaschistes en passant par des gneiss. Leurs directions structurales sont parallèles à la Darling Fault, c'est-à-dire NS.

Suivant les conditions ou *contrôles* mentionnés ci-dessous, ce profil peut être plus ou moins complet, se réduisant parfois à l'argile lithomargique dans les vallons ou à une mince croûte au sommet des collines.

4.2.2. Facteurs contrôlant la genèse des gîtes et critères de prospection

La formation du profil latéritique et celle des gîtes de bauxite dépend de l'action conjuguée de plusieurs facteurs de nature diverse. Dans le cas de Chittering, outre les phénomènes de mobilité chimique dus aux mouvements du niveau hydrostatique sur lesquels l'observation directe a peu de prise, les «contrôles» et indices suivants ont été mis en évidence et se sont révélés très utiles lors des opérations de prospection :

1) *Contrôles pétrographique et structural*

Comme on l'a vu, les bauxites de la Darling Range sont toutes situées sur un soubassement de roches acides ; dans les rares cas où la latérite recouvre des dolérites, la teneur

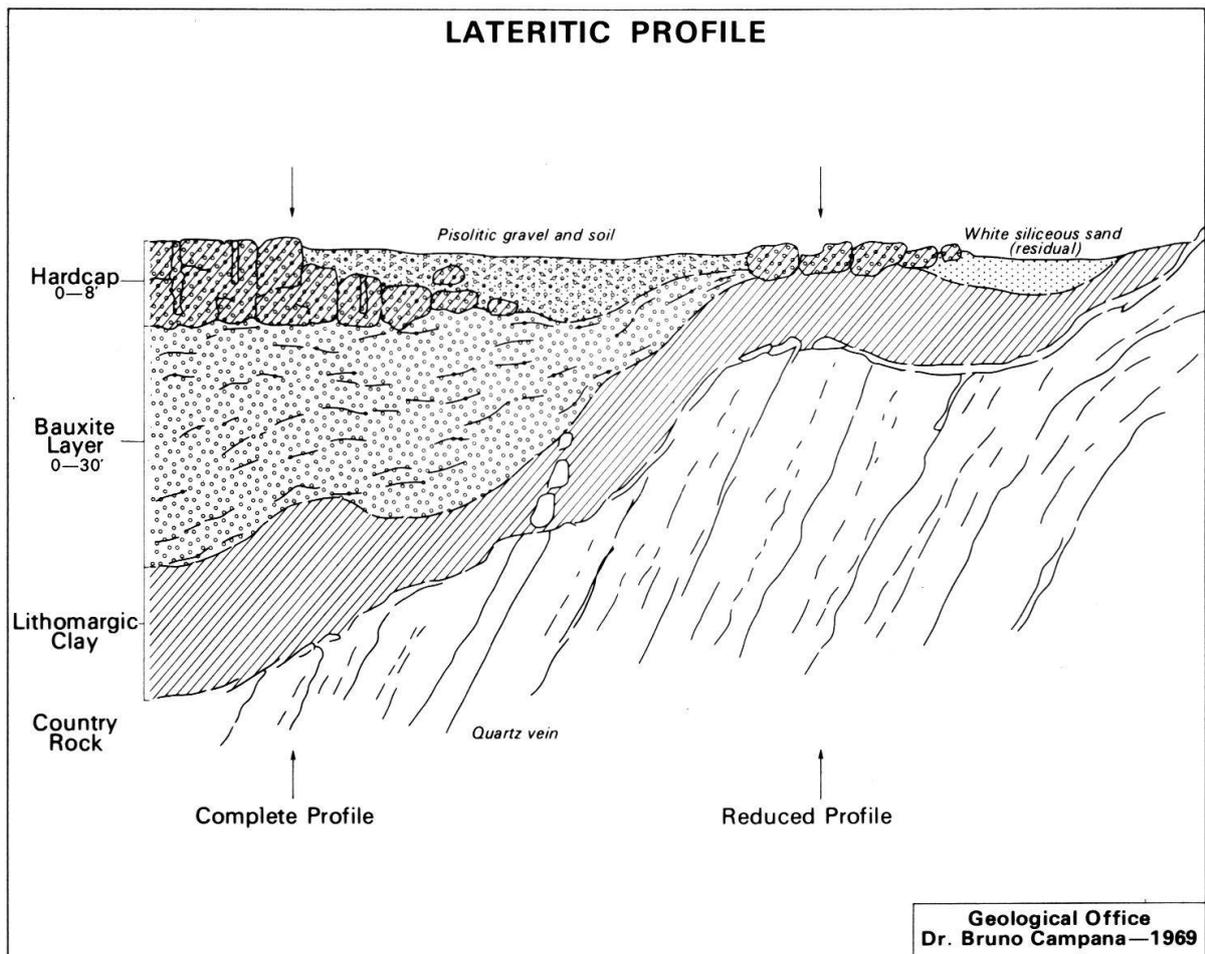


Fig. 7: Schéma du profil latéritique du Plateau de Darling Range, montrant les variations latérales et verticales.

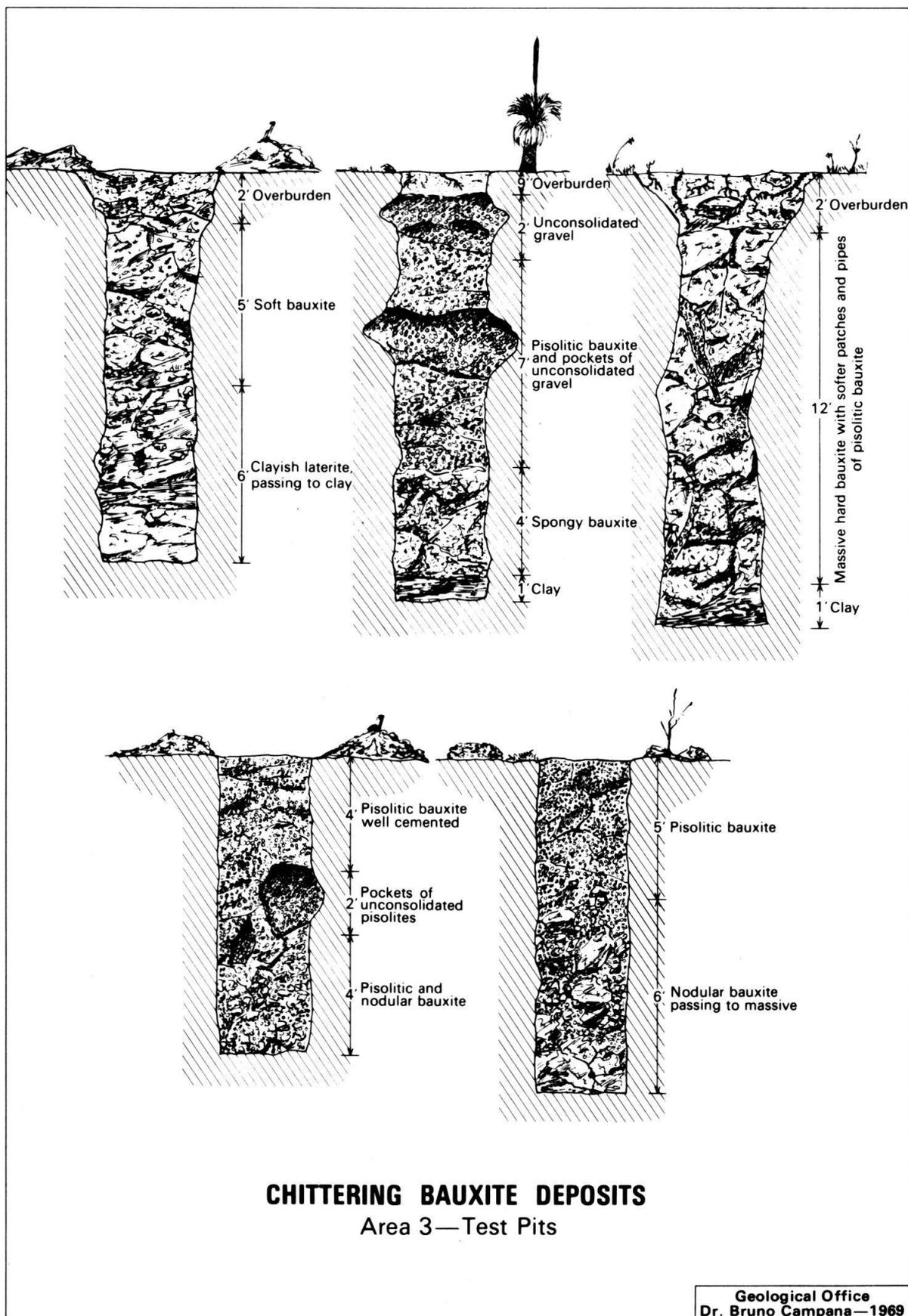


Fig. 8: Profils des puits dans la couche de bauxite, montrant les variations des caractères physiques.

en alumine baisse au dépens de celle en fer. Le manque de levés géologiques détaillés empêche d'être plus spécifique, mais il est probable que certaines roches sont des roches-mères particulièrement favorables du fait de leur composition chimique ou de leurs propriétés physiques (présence d'une foliation verticale favorisant le drainage, par exemple). Des études sont en cours pour déterminer si la forme des amas bauxitiques est en relation avec les directions structurales.

2) *Contrôle climatique*

On a observé, à l'échelle de la Province, que les gîtes les plus importants se situent dans les parties de la chaîne où les précipitations actuelles sont les plus abondantes. En allant vers le nord et vers l'est, la pluviosité diminue fortement et quoique les autres conditions demeurent inchangées (soubassement, relief, etc.), le profil latéritique diminue d'épaisseur, sa teneur en oxyde de fer augmente et la bauxite disparaît. Pratiquement, les limites N et E de la bauxite coïncident avec celles de la forêt de jarrah (*eucalyptus*). On peut donc supposer que les isohyètes, au moment de la formation de la bauxite, avaient une forme sensiblement parallèle aux actuelles.

3) *Contrôle topographique*

Ce contrôle a été très largement employé lors de l'exploration. D'une part, à l'échelle de la Province, on n'a pas trouvé jusqu'ici de latérite alumineuse commerciale au-dessous de l'altitude limite de 250 m. D'autre part, c'est sur les *pentas de croupes et collines allongées* («ridges») faisant partie de l'ancienne surface que l'on a localisé les gîtes les plus importants; ce sont donc ces «ridges» qui ont été choisies comme principales zones de sondage («target»). Il est probable que le drainage a été optimum sur les pentes, où il a favorisé le lessivage complet de la roche-mère, alors que les points hauts montrent en général un profil réduit et les dépressions humides la seule présence d'argile lithomargique (fig. 10, profils E, F, G).

4) *Végétation*

Il a été remarqué qu'il existe un lien entre la présence de certains arbres et la nature de la latérite. Ainsi, l'*eucalyptus* blanc croît de préférence sur l'argile, alors que l'association du jarrah (*eucalyptus* foncé) et de l'*eucalyptus* rouge indique une latérite bauxitique.

En résumant les données fournies par ces indices, on peut dire que les gîtes de bauxite, dans cette province, sont à rechercher sur des roches acides du Bouclier, dans une certaine zone climatique, au-dessus d'une certaine altitude et sur une ancienne surface topographique latéritisée, aux endroits où celle-ci a un certain relief.

La forme des gîtes est tabulaire, mais leur épaisseur varie beaucoup (2 à 10 m), ainsi d'ailleurs que leur forme, très capricieuse (fig. 9, 10 et 13). Comme étendue maximale d'un seul tenant, on peut citer le chiffre de 3 km².

4.2.3 Composition minéralogique

Basée sur de nombreuses analyses aux rayons X effectués par les auteurs, par la compagnie CSR (1968-1969) et par GRUBB (1964), la composition minéralogique du niveau bauxitique peut s'établir comme suit (Table III):

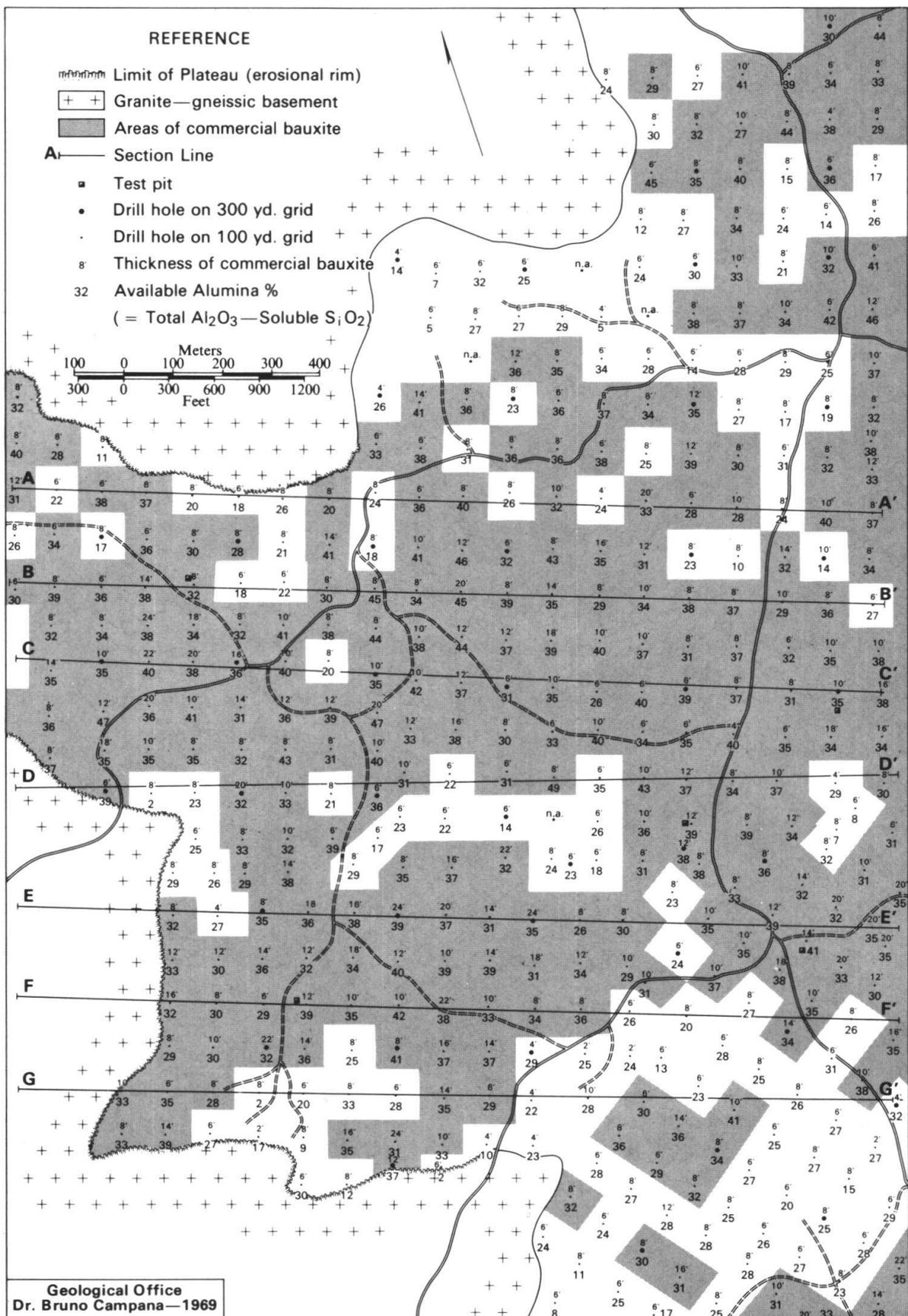


Fig. 9: La couche de minerais commerciale est délimitée par le réseau des sondages espacés de 91 m (100 yards), précédés d'un réseau de sondages à 273 m de distance.

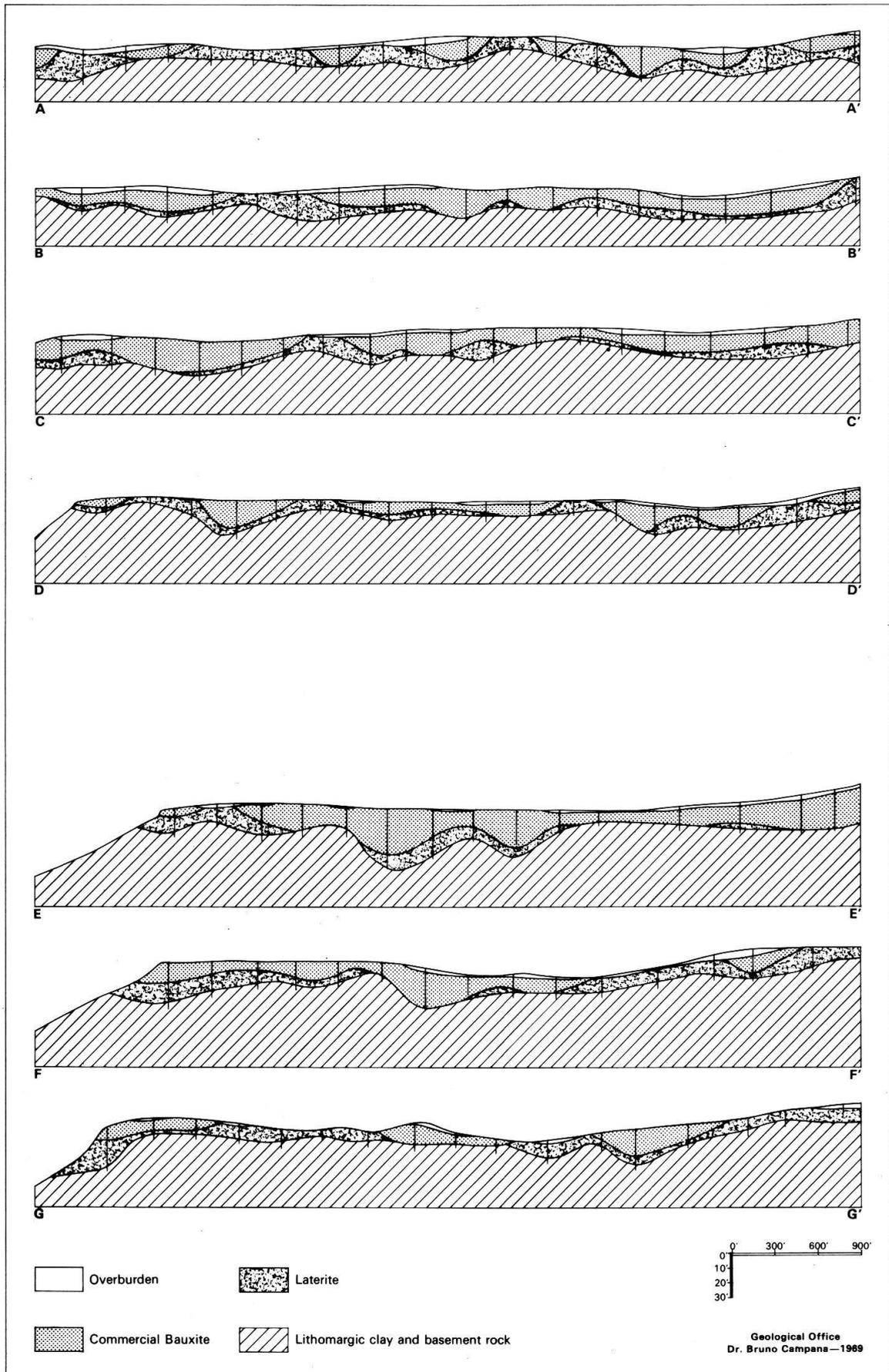


Fig. 10: Profils géologiques montrant les relations entre la latérite et la bauxite sur le soubassement cristallin. On notera l'emplacement des sondages à 91 m de distance, qui se terminent dans l'argile blanchâtre de la lithomarge.

Table III

Minéral	%
Gibbsite	30-90
Boehmite	5
Goethite	0-20
Hématite	0-25
Quartz	5-30
Kaolinite	0-10
Min. argileux type mica	0- 3
Anatase	0- 3

La somme de ces minéraux n'atteint que rarement 100% et l'on constate, par comparaison avec les analyses chimiques, qu'une partie de l'alumine n'est pas sous forme cristallisée. On a pu démontrer que ce défaut est dû à la présence du gel *cliachite* et probablement aussi à celle d'une forme d'alumine liée au réseau cristallographique des minéraux de fer lattice-bound alumina»). On verra plus loin l'incidence de cette alumine amorphe (baptisée «alumine fantôme» par les chimistes) sur les processus d'extraction.

Les minéraux obéissent à certains critères dans leur répartition à l'intérieur de la roche; nos observations et celles de GRUBB indiquent les suivants:

On a vu que le niveau bauxitique est généralement de structure pisolithique et que sa matrice est peu abondante. Les pisolithes exhibent un zoning plus ou moins marqué; certaines d'entre elles consistent en un gros noyau de goethite ou de maghemite entouré d'une mince enveloppe alumineuse; d'autres montrent de très nombreuses couches concentriques où alternent gibbsite, goethite, quartz et cliachite; d'autres enfin ont un noyau poreux très riche en gibbsite et cliachite. La matrice peut être très finement oolithique et contenir un peu de boehmite. Ce minéral, qui se forme sous des conditions de déshydratation extrêmes, semble provenir directement de la kaolinite, constituant originel de la matrice (GRUBB, 1964). Fort heureusement la boehmite, dont la présence est nuisible dans le procédé Bayer (car elle provoque un ensemencement et précipitation précoce de l'alumine), est très rare à Chittering.

4.2.4. Composition chimique

Une terminologie particulière et un certain nombre de relations chimiques ont été utilisées au cours de cette étude; elles sont les suivantes:

$$\text{Al}_2\text{O}_3\text{tot} = \text{Al}_2\text{O}_3\text{gib} + \text{Al}_2\text{O}_3\text{kaol} + \text{Al}_2\text{O}_3\text{fan} \quad \text{Relation 1}$$

$$\text{Alumine totale} = \text{alum. de gibbsite} + \text{alum. de kaolin} + \text{«alum. fantôme»}$$

$$\text{SiO}_2\text{tot} = \text{Qz} + \text{SiO}_2\text{sol} \quad \text{Relation 2}$$

$$\text{Silice totale} = \text{Quartz} + \text{silice soluble}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3\text{av} = \text{Al}_2\text{O}_3\text{tot} - \text{Al}_2\text{O}_3\text{kaol.} \cong \text{Al}_2\text{O}_3\text{tot} - \text{SiO}_2\text{sol} \quad \text{Relation 3}$$

$$\text{Alumine disponible} = \text{alumine totale moins alumine de kaolin} \cong \text{alumine totale moins silice soluble}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3\text{gib} \cong 1,89 \times \text{H}_2\text{O} \quad \text{Relation 4}$$

$$\text{Gibbsite} \cong 1,89 \times \text{perte-au-feu}^1$$

¹: On admet que la quasi-totalité de la perte-au-feu provient de la gibbsite.

Définitions

SiO₂sol: Silice liée à de l'alumine dans la kaolinite, dans le rapport d'environ 1/1.

Al₂O₃ext: Alumine extraite par digestion caustique standard (trihydrate) à l'échelle semi-industrielle¹.

Al₂O₃fan: Alumine sous forme de cliachite ou «lattice-bound».

H₂O: Perte-au-feu.

La Table IV donne les caractéristiques des deux principaux types de bauxite, établis sur la base de leur rapport Al₂O₃tot / H₂O:

Table IV: Composition chimique des 2 principaux types de bauxite

Constituent	Type I	Type II
Al ₂ O ₃ tot	39,5	41,9
Al ₂ O ₃ av	37,9	37,8
Al ₂ O ₃ gib	27,4 ²	37,8 ²
Al ₂ O ₃ ext	20–27.4	31–37.8
Al ₂ O ₃ fan	10,5	0,0
Fe ₂ O ₃	32,9	19,0
SiO ₂ tot	9,6	13,7
Qz	8,0	9,6
SiO ₂ sol	1,6	4,1
TiO ₂	3,5	2,6
H ₂ O	14,5	22,5 ³
Rapport H Al ₂ O ₃ tot / H ₂ O	2,70	1,86
Extractibilité	Basse	Normale

En examinant les rapports et différences entre ces deux types extrêmes, on arrive aux conclusions suivantes concernant leur composition chimique:

1) Teneur en alumine relativement basse (la bauxite d'exportation contient en général plus de 45 % d'alumine extractible).

2) Forts pourcentages en fer et silice; notons toutefois que cette dernière est principalement sous forme de quartz, lequel ne réagit pas lors du procédé Bayer, et n'est donc pas nuisible à l'extraction de l'alumine.

3) Rapport Al₂O₃tot / H₂O (H) variant de 1,6 à 2,7 sur l'ensemble des résultats.

Ce dernier point mérite un examen plus attentif, car il joue un rôle important lors de l'extraction de l'alumine.

On sait que la perte-au-feu se produit lors de la décomposition par la chaleur de minéraux à radicaux OH⁻. Dans le cas présent, il s'agit de la gibbsite (Al₂O₃ · 3H₂O), de la boehmite (Al₂O₃ · H₂O), de la goethite (Fe₂O₃ · nH₂O) et de la kaolinite (Al₂O₃ · 2SiO₂ · 2H₂O). Les contributions respectives de la boehmite et de la kaolinite, relativement peu hydratées et par ailleurs peu abondantes, sont à peu près compensées par celle de la

¹: En théorie, devrait être égale à Al₂O₃gib.

²: Valeur calculée par la Relation 4. La valeur réelle pourrait être un peu plus basse.

³: Une partie de cette H₂O ne provient pas de la gibbsite.

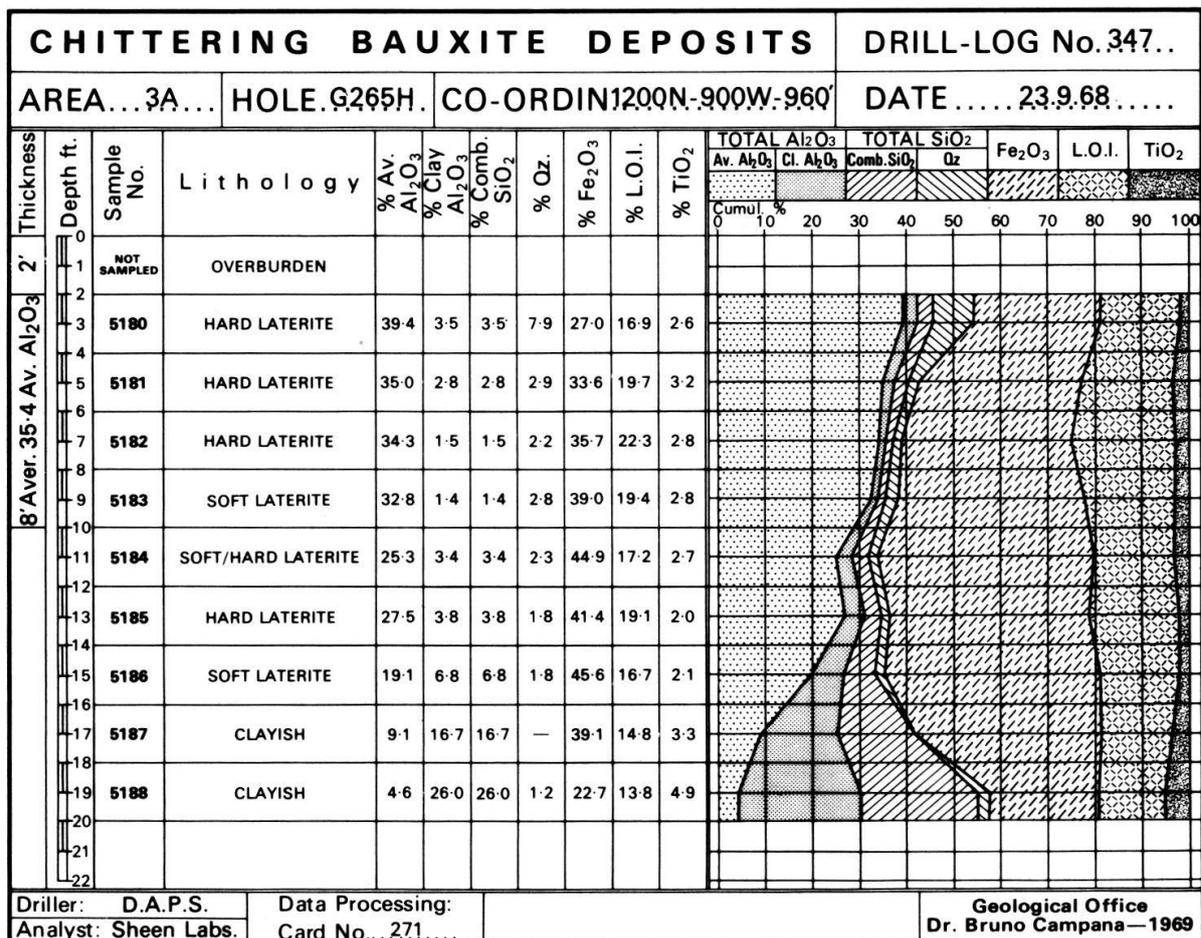
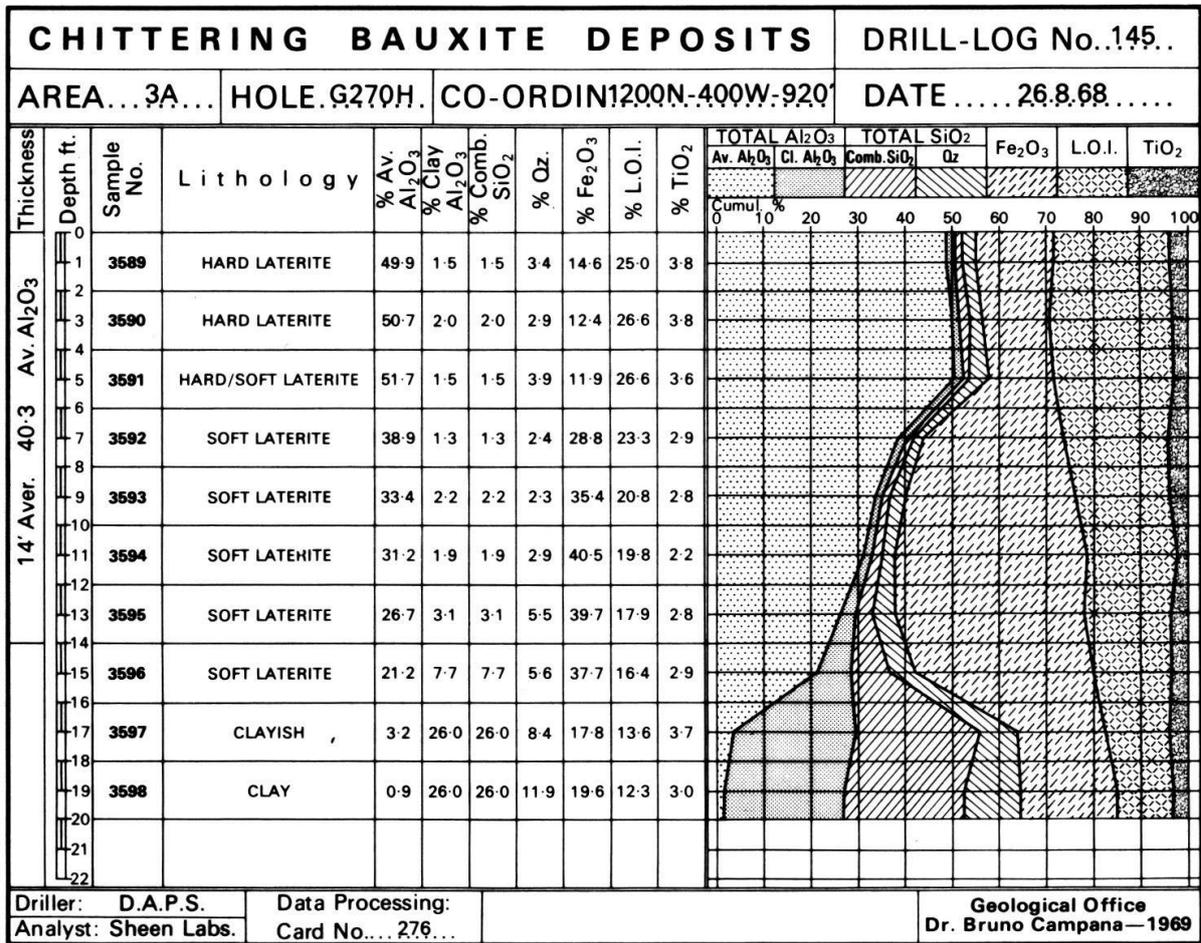


Fig. 11: Log de sondage montrant la variation verticale de la composition chimique

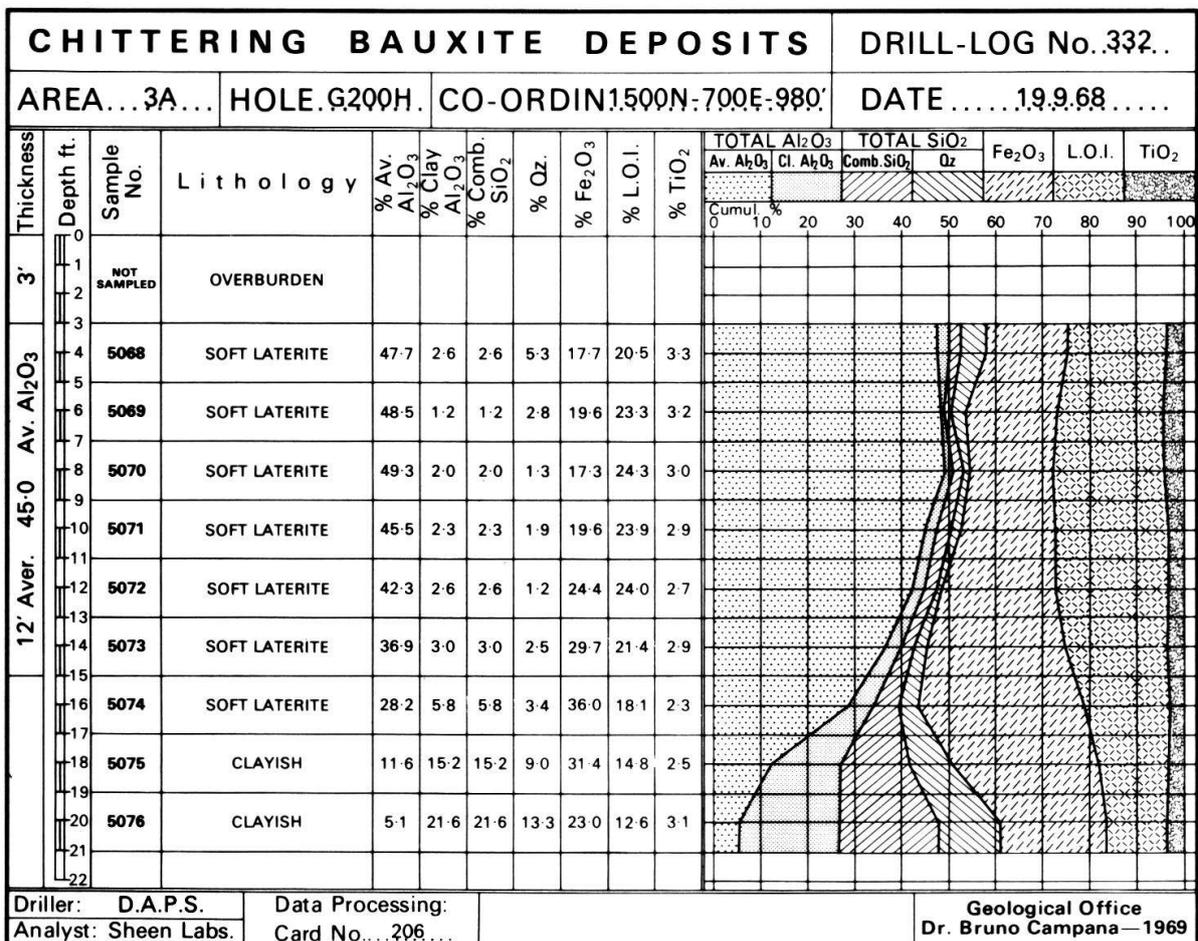
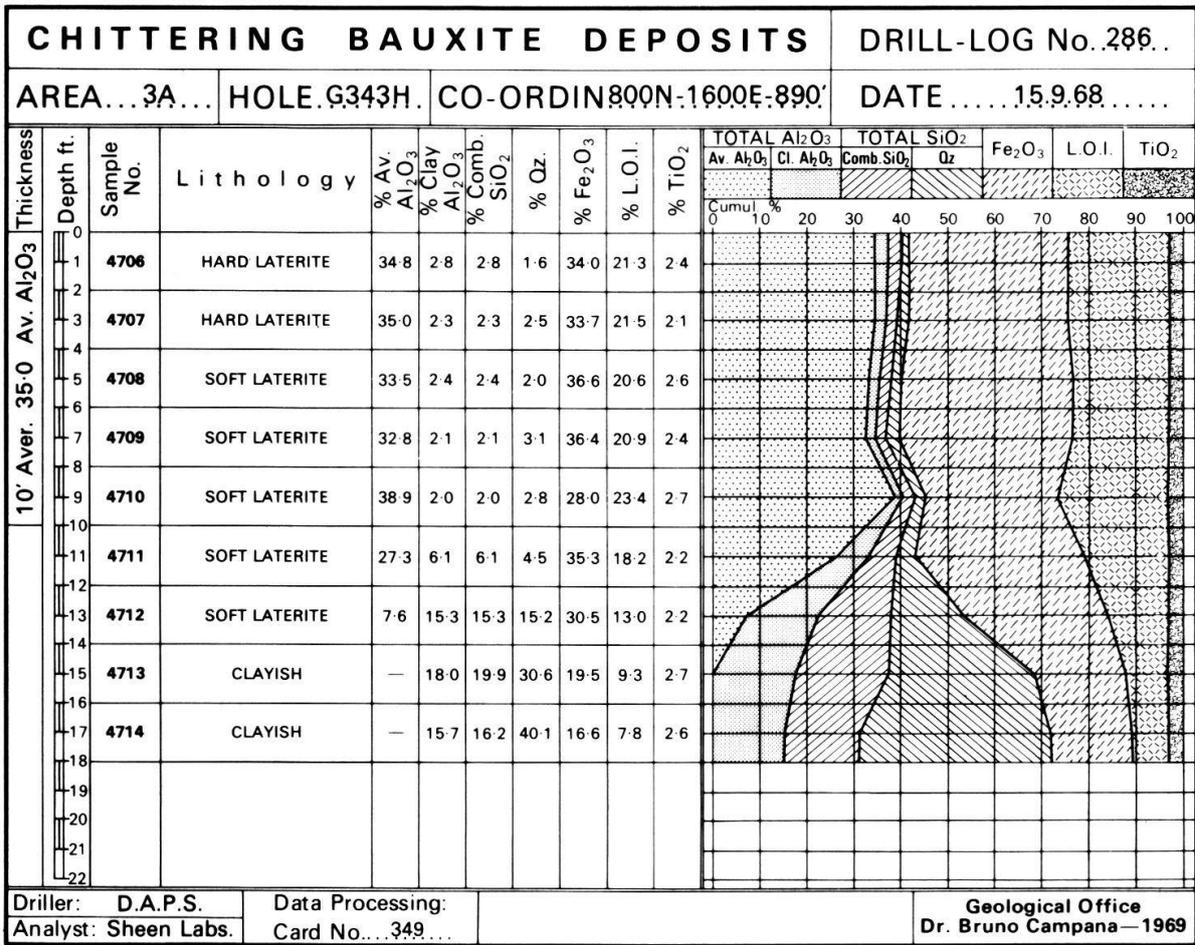


Fig. 12: Voir fig. 15

goethite; par conséquent, on considère le rapport $Al_2O_3_{tot} / H_2O$ et attribue toute la perte-au-feu à la gibbsite, au lieu du rapport $Al_2O_3_{av} / H_2O$ avec une perte-au-feu corrigée. Cette approximation s'est révélée suffisante dans la pratique.

Comme le rapport H est égal à 1,89 dans le cas idéal de la gibbsite, on peut établir que:

1) Tout rapport H plus grand que 1,89 indiquera un *excès d'alumine* sous une forme peu ou pas hydratée, dite «alumine-fantôme», laquelle n'est pas extractible par la digestion trihydrate standard.

2) Tout rapport H plus petit que 1,89 indiquera un *excès d'eau*, probablement absorbée dans un gel alumineux ou siliceux.

Le cas 1) est beaucoup plus fréquent que l'autre, ce qui amène à des bilans alumineux du type:

Gibbsite	%	
	27,4	extractible
Alumine de kaolin	1,6	non-extractible
«Alumine-fantôme»	10,5	difficilement extractible par le processus Bayer normal.
Alumine totale	39,5	

Les conditions de digestion pour extraire l'«alumine-fantôme» ont demandé des études très détaillées et complexes. Les nombreux tests de digestion effectués dans les laboratoires ont abouti à une relation empirique, mais satisfaisante, liant l'alumine extractible aux divers autres composants chimiques de la bauxite (CSR, rapports internes non publiés).

4.2.5. Variations de la composition chimique dans le profil

La répartition des divers éléments chimiques en horizontale dans un gîte donné est assez variable, et l'on n'a pas encore élucidé les facteurs qui la contrôlent. Les variations en verticale sont par contre mieux connues, et en général, les sondages ont révélé les modifications suivantes en descendant dans le profil (fig. 11 et 12):

- Augmentation¹, puis diminution de l'alumine disponible. L'alumine de kaolin augmente brusquement à une certaine profondeur (argile lithomargique).
- Augmentation de la silice soluble et du quartz.
- Augmentation, puis diminution du fer.
- Diminution de la perte-au-feu.
- Constance du titane.

4.3. Méthodes d'étude

La prospection des bauxites de Chittering a été basée essentiellement sur les facteurs contrôlant la répartition des gîtes, tels qu'ils ont été décrits dans les pages précédentes.

4.3.1. Séquence des opérations

1) Délimitation du plateau latéritique sur photos aériennes et recherche des petites collines et croupes qui constituent les premiers «targets».

2) Levés géologiques sur le terrain, récolte de spécimens de latérite et confirmation des «targets». Estimation des *réserves potentielles en matériel bauxitique* (la définition des différents types de réserves sera donnée plus loin).

3) Sondages de reconnaissance («scout drilling») implantés à intervalles plus ou moins réguliers le long des pistes. Considérés comme représentatifs de la partie du plateau à

¹: Sous la couverture stérile, qui n'a en général pas été analysée.

étudier, ils sont utilisés pour calculer les *réserves et teneurs indiquées*, sans toutefois délimiter les gîtes.

4) Sondages à maille régulière («pattern drilling»). Ils sont implantés sur la base des résultats précédents; leur maille initiale, carrée, est de 300 yards (environ 270 m); elle est ensuite resserée à 100 yards (90 m) dans les zones favorables. A ce stade, les gîtes sont grossièrement délimités, et les teneurs et densité moyennes de la bauxite déterminés (fig. 9). On calcule alors les *réserves prouvées*.

Les étapes suivantes peuvent être considérées comme faisant partie du développement:

5) Creusement de puits et récolte d'échantillons en masse qui seront utilisés pour des tests de digestion à l'échelle semi-industrielle.

6) Sondages de contrôle sur une maille de 50 yards, rendus souvent nécessaires par la forme très irrégulière des gîtes. On recalcule alors les *réserves* de façon plus précise.

7) Déboisement de l'emplacement des futures carrières.

8) Sondages de développement sur une maille de 50 pieds (env. 16 m) destinés au planning du profil de la carrière et au contrôle des teneurs.

10) Exploitation.

4.3.2. Notions de réserves et de teneurs

En Australie Occidentale, le minerai commercial de bauxite est défini comme suit:

Alumine extractible	plus de 30%
Silice soluble	moins de 6%
Epaisseur	plus de 2,5 mètres

C'est sur la base de ces «cut-offs», que nous avons basés tous nos calculs de réserves. Quant aux catégories de ces dernières, elles peuvent être définies comme suit:

1) *Réserves potentielles* en matériel bauxitique: On mesure approximativement la surface du plateau latéritique échantillon né par les recherches de surface et on estime l'épaisseur des horizons qui surmontent l'argile lithomargique. Connaissant la densité in situ (1,5 — 2,0), on peut calculer le tonnage de latérite alumineuse.

2) *Réserves indiquées*: Sur la base des «cut-offs» mentionnés plus haut, les résultats des sondages ont été subdivisés en plusieurs classes suivant la teneur et l'épaisseur du niveau bauxitique. Ainsi, l'on aura des sondages dits: «stériles», «indicatifs», «marginaux» et «commerciaux».

Les sondages sont considérés comme représentatifs de la partie du plateau où ils ont été implantés; par conséquent, le pourcentage des sondages se répartissant dans les diverses classes sont transformés en pourcentage de la surface, puis en pourcentage du tonnage total. Par exemple, si 46% des sondages sont classés dans la catégorie «marginale», 46% du tonnage total sera de qualité «marginale».

A ce stade, on ne pourra donc pas encore dire si ces différents tonnages sont dispersés ou s'ils sont répartis en gîtes exploitables, car l'espacement des sondages peut dépasser la dimension maximale d'un corps minéralisé.

3) *Réserves prouvées*: Les sondages sont classifiés comme pour 2). On obtient ensuite des groupes de sondages de même classe qui définissent dans le terrain des gîtes et des blocs (voir la fig. 9, représentant un bloc qui peut se subdiviser finalement en plusieurs corps minéralisés; la classification des sondages a été simplifiée pour les besoins du dessin). Les réserves sont ensuite calculées par la méthode des polygones ou par la méthode statistique (HAZEN, 1958).

Remarquons que la délimitation des zones de minerai commercial est basée sur les résultats d'analyse d'échantillons prélevés par un réseau de sondages relativement serrés. Le calcul des réserves de Chittering a demandé jusqu'ici (30 janvier 1970), plus de



Fig. 13 et fig. 14: Gisements de bauxite de Chittering: sondeuse en opération.



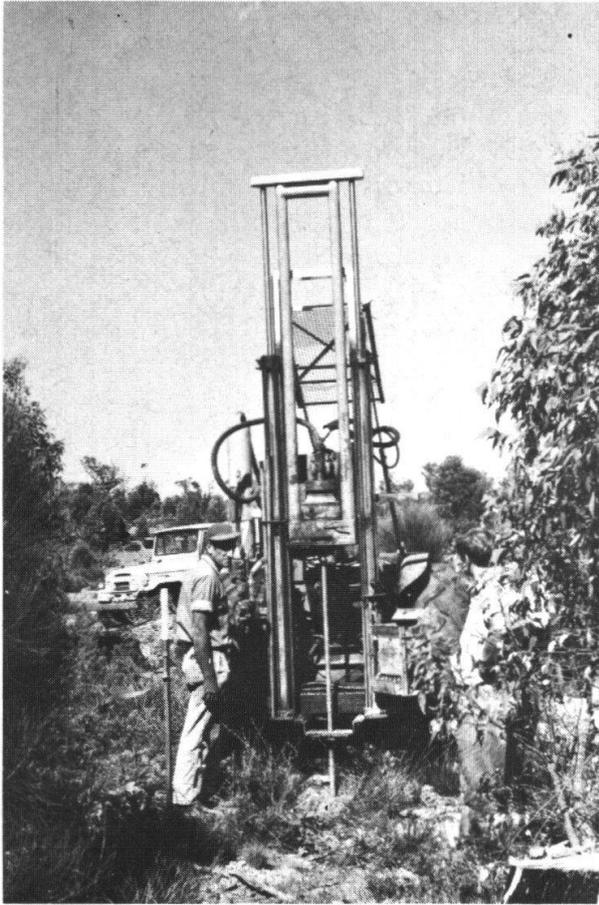
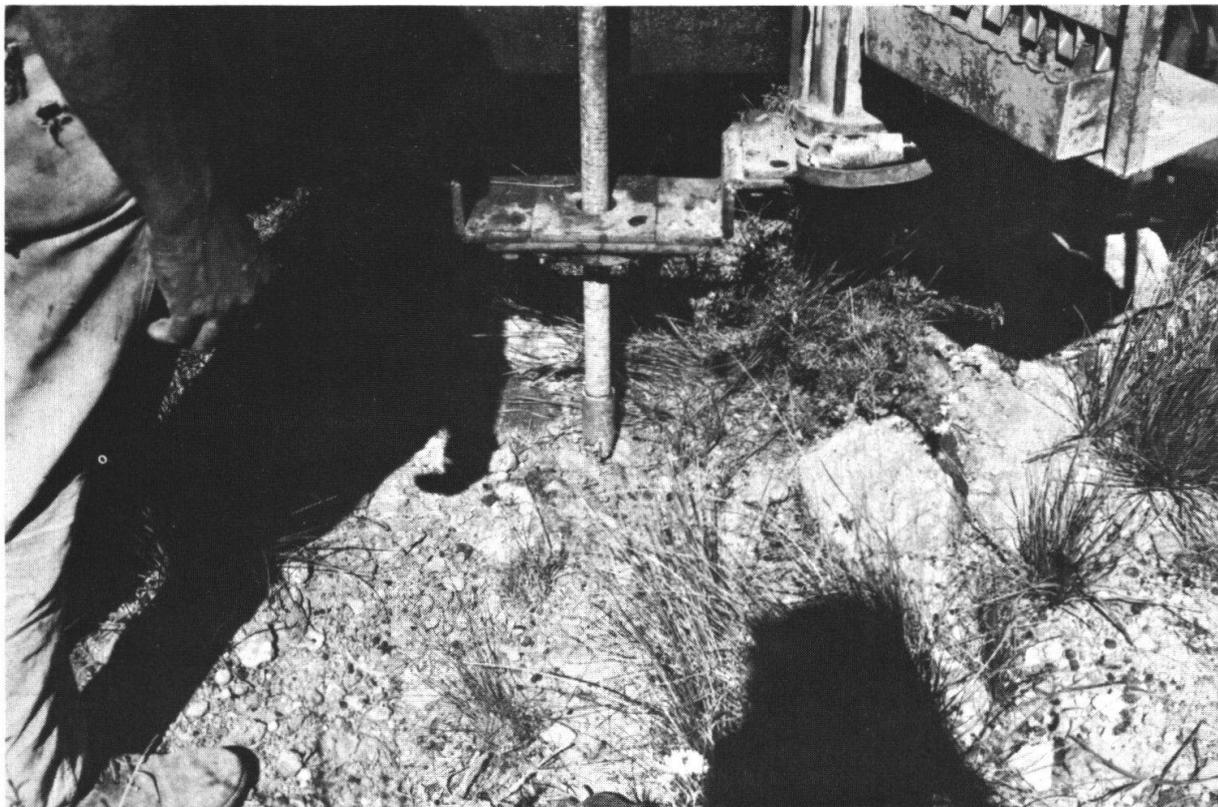


Fig. 15 et fig. 16: Gisements de bauxite de Chittering: détails des opérations de sondage sur la croûte bauxitique («hardcap»).



10000 mètres de sondages répartis en 3000 emplacements et environ 15000 analyses chimiques.

4.3.3. Sondages et analyses

Les sondages ont été effectués à l'aide d'une sondeuse du type «vacuum» (où les cuttings sont aspirés à l'intérieur des tiges), montée sur tracteur et forant des trous de 5 cm de diamètre (fig. 13, 14, 15, 16). Cette méthode s'est avérée plus rapide et plus sûre que celle utilisant le traditionnel «auger drill». Ainsi, le coût des sondages a pu être maintenu dans des limites modérées, de l'ordre de 16 fr. le mètre (1 aust. \$ par pied). Le rendement d'une telle sondeuse, manœuvrée par du personnel qualifié, est de 12-14 trous d'environ 4 mètres de profondeur, par jour.

Quant aux analyses chimiques, elles ont été faites suivant le schéma ci-après :

1) Chaque échantillon représentant une section verticale de 60 cm est analysé pour la perte-au-feu qui, rappelons-le, donne une approximation suffisante de la teneur en alumine extractible. Seuls les échantillons avec une perte-au-feu de plus de 17% sont retenus pour une analyse complète, consistant en :

2) Détermination de Al_2O_3 tot, SiO_2 tot, SiO_2 sol et Fe_2O_3 par fluorescence X ; la somme de ces composants plus la perte-au-feu soustraits de 100 donnent TiO_2 . De nombreux contrôles ont été faits par voie humide et spectrographie d'émission. Mentionnons enfin que tous les calculs liés à la méthode de fluorescence X sont effectués par un ordinateur branché sur la caméra.

3) Détermination de l'alumine extractible par digestion dans la soude caustique sous diverses conditions de pression et température, ou estimation par la relation 5). C'est ce stade qui présente le plus de difficultés du point de vue analytique, et les résultats obtenus par différents laboratoires ont souvent été significativement différents.

4.4. Le projet industriel

4.4.1. Réserves et teneurs en minerai brut et caractéristiques des gîtes de Chittering

Pour les gîtes reportés sur la carte et dont les principaux se trouvent aux environs de Chittering, les réserves à cette date sont les suivantes (Table V) :

Table V

Type de réserve	Région	Tonnage (millions de t)	Type de matériel
Potentielles	Chittering – New-Norcia Wundowie-York S de Chittering, Ebenezer, Yetar Spring, etc.	+ 100	Latérites alumineuses pas encore explorées et minerai commercial reconnu seulement par «scout-drilling» ou par sondages à maille de 270 m
Indiquées	York Barker Hill, etc.	+ 20	Minerai commercial
Prouvées	Chittering	41	Minerai commercial

Les travaux d'exploration continuent actuellement, avec deux équipes géologiques engagées dans les recherches régionales, et deux sondeuses en opération. Des nouvelles réserves importantes s'ajoutent régulièrement à celles prouvées ou indiquées jusqu'ici.

Les autres caractéristiques des gîtes sont leur proximité de Perth (30 km) et l'existence d'une voie ferrée passant à 2 km de l'emplacement prévu pour la première mine à ciel ouvert et la station de broyage principale. D'autre part, d'importants gisements de gaz naturel ont été découverts à proximité dans le Bassin de Perth (Gingin, voir la carte); ils pourraient constituer une source énergétique de grande importance pour la nouvelle industrie.

4.4.2. Exploitation et raffinage des bauxites

On a vu plus haut quels sont les facteurs économiques généraux gouvernant l'industrie de l'aluminium. Dans le cas du projet de Chittering, ils agissent de la façon suivante:

– Aucune exportation de bauxite n'est envisagée. Le minerai sera traité pour l'extraction de l'alumine dans le voisinage des gisements (fig. 2).

– L'usine doit avoir une vie assurée d'une trentaine d'années et sa capacité minimale, doit être de 800 000 t par an, ce qui nécessite l'exploitation d'environ 2,5 millions de tonnes de bauxite par an. Ainsi, on arrive à un total approximatif d'au moins 75 millions de tonnes de réserves. Toutefois, on prévoit d'accroître la capacité de production (à titre indicatif, une capacité de 1 250 000 t est prévue par ALCOA pour fin 1970 – voir Australian Mining, Nov. 69, p. 88).

– Le minerai doit avoir les spécifications mentionnées plus haut. La teneur en alumine extractible influence le coût de la production de deux façons – par les frais d'investissements et par ceux d'opération. Parmi les premiers, qui comprennent l'équipement minier et de transport, le complexe de traitement de la boue rouge mérite une mention particulière; en effet, la capacité de ce dernier est très sensible aux variations de teneur. Si par exemple, le pourcentage d'alumine extractible tombe de 35 à 30, le tonnage de bauxite minée par tonne d'alumine augmente d'environ 17% et le tonnage de boue rouge et de «sable» par tonne d'alumine, de 35%.

– Le coût de l'usine d'alumine et de ses équipements annexes va dépendre, entre autres, de leur *situation géographique*. La mise en place d'une infrastructure complète et de moyens de transport a été nécessaire dans le cas de Weipa et de Gove, tous deux situés en Australie Septentrionale; à Gove, les investissements seront de l'ordre de 1500 francs (300 aust. \$) par tonne d'alumine produite annuellement. La situation des gîtes de la Darling Range est bien meilleure dans ce domaine: quoique les teneurs soient plus basses, les investissements resteraient inférieurs à 700 francs (140 aust. \$) par tonne et par an, soit un investissement initial d'environ 600 millions de francs. A titre de comparaison, les chiffres cotés il y a trois ans par BRUBAKER (1967, p. 88) s'élevaient à 475–650 fr. (110–150 US \$) pour une usine à trihydrate, et à 610–780 fr. (140–180 US \$) pour une usine utilisant le monohydrate; ces chiffres sont sans doute dépassés aujourd'hui. Quant aux frais d'exploration et de recherche prévus pour le projet de Chittering, ils ne devraient pas dépasser 3 millions de francs; on sait que ce chiffre a du être multiplié plusieurs fois dans le cas des projets similaires en Australie Septentrionale.

En résumé, on a donc prévu un complexe se développant selon les étapes suivantes:

1) Exploitation à ciel ouvert de la bauxite, en commençant par la zone de South Chittering et produisant initialement 2,5 millions de tonnes de minerai par an.

2) Usine d'alumine à Midland (voir carte fig. 2), d'une capacité initiale de 800 000 tonnes.

3) Déplacement graduel de l'exploitation vers le nord et vers l'est, une fois que la zone de Chittering sera épuisée.

4) Etablissement éventuel d'une fonderie d'aluminium.

Mentionnons pour terminer que le projet de Chittering est l'œuvre d'un consortium («joint venture») groupant Colonial Sugar Refining Co. Ltd. de Sydney, Hancock & Wright Prospecting Co. de Perth, et le Bureau Géologique et Minier B. Campana, de Lausanne.

Remerciements

Un travail de cette ampleur est bien rarement dû à l'activité d'une seule équipe de chercheurs. Si notre Bureau a entrepris la première phase des recherches, qui amena la découverte des gisements décrits dans cette note, et s'il a ensuite établi et surveillé le programme des travaux pour le calcul des réserves disponibles, nous devons aussi beaucoup à la générosité de nos partenaires, la COLONIAL SUGAR REFINING Co. Ltd. (CSR) et HANCOCK & WRIGHT Co. Dans la deuxième phase des recherches, nos partenaires ont mis à notre disposition pour les travaux d'exploration des moyens financiers très considérables. De plus, CSR a grandement contribué à la solution des problèmes particuliers d'extraction et a préparé les plans du projet industriel, en collaborant étroitement avec nos équipes géologiques pendant toute la période de recherche.

Le Gouvernement de l'Australie Occidentale, et en particulier le MINES DEPARTMENT, dirigé par le Ministre, l'Hon. A. Griffith, nous a accordé une bienveillance soutenue, très nécessaire à la réussite de notre travail.

Mlle. M. RYAN, MM. E. LA MELA, Dr. Sc., et D. CAVALLI, B. Sc., géologues de notre Bureau, ont également collaboré, depuis deux ans, aux recherches et à l'élaboration des résultats. Nous les en remercions vivement.

Nous sommes très reconnaissants envers SHEEN LABORATORIES, DRILLING AND PROSPECTING SERVICES, AUSTRALIAN AERIAL MAPPING et WESTERN MAPPING pour leur collaboration dévouée.

M. A. SOMM, Dr. Sc., d'ALUSUISSE S.A. nous assista en 1965 pendant les trois premiers mois de reconnaissance géologique régionale; nous devons aux laboratoires de cette société les premières analyses d'échantillons de surface.

Les agriculteurs et éleveurs de la région, souvent mis à l'épreuve par les diverses opérations de prospection, nous ont toujours témoigné une compréhension amicale.

Bibliographie

- ANONYME (1969): Bauxite Production Increased. *Australian Mining*, vol. 61, no. 11, p. 88.
- BRUBAKER, S. (1957): *Trends in the World Aluminium Industry*. John Hopkins Press, Baltimore, USA.
- CAMPANA, B. et al. (1964): Discovery of the Hamersley Iron Deposits. *Proc. Aust. Mining & Metal.*, no. 210, pp. 1-30.
- CAMPANA, B., COCQUIO, S. & JAQUET, J.-M. (1967): The Manganese Deposits of Ripon Hills, W. A. Rapport non publié, pp. 1-33.
- CAMPANA, B. (1968): La découverte des grands gisements de fer et de bauxite en Australie. *Bulletin ASP-VSP*, vol. 34, no. 86, pp. 19-33.
- CAMPANA, B., COCQUIO, S. & JAQUET, J.-M. (1968): The Iron Ore Deposits of the Mt. Lockyer-Dales Gorge-Wittenoom-Mt. Bruce-Paraburdoo Areas, Hamersley Range, West. Australia. Rapport non publié, pp. 1-58.
- CAMPANA, B. & JAQUET, J.-M. (1968): Progress Report on the Bauxite Project in Perth Area. Rapport inédit, pp. 1-23.
- COLONIAL SUGAR REFINING Co. Ltd. (1968-1969): Mémoires et rapports internes non publiés.
- GRUBB, P. L. C. (1964): Bauxite from Jarrahdale, Western Australia. Commonwealth Scientific & Industrial Research Org., Mineragraphic Invest. Report no. 884, Melbourne.
- HAZEN, S. W. (1958): A comparative study of statistical analysis and other methods of computing ore reserves, utilizing analytical data from Maggie Canyon Manganese Deposit, Artillery Mountains Region, Mohave County, Ariz. US Bureau of Mines Report of Investigations 5375.
- MEYER, E. (1969): ALUSUISSE S. A., 80ème Assemblée Générale du 23 avril 1969, allocution présidentielle, pp. 1-10.
- PRIDER, R. T. (1965): The Laterized Surface of Western Australia. *Aust. Journal of Science*, vol. 28, no. 12.

