

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES
74, rue de la Fédération - Paris - 15ème - Tél. 783 94-00

DIRECTION DU SERVICE GEOLOGIQUE ET DES LABORATOIRES
Boîte postale 818 - 45-Orléans-La Source - Tél. 87-06-60 à 64

~~~~~

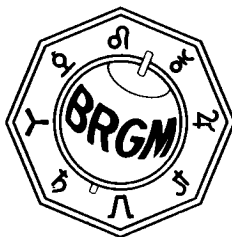
## DISTRIBUTION DES GISEMENTS DE PLOMB-ZINC ET D'ARGENT

---

ÉLÉMENTS DE GITOLOGIE PRÉVISIONNELLE  
POUR LA RECHERCHE DU PLOMB ET DU ZINC  
DANS LE MONDE

par

J. BOULADON



Département GITOLOGIE  
Boîte postale 818 - 45-Orléans - La Source  
Tél. 87-05-06

Ce document a été établi pour servir de base de travail à une réunion ayant pour objet de préciser les régions les plus favorables à une intervention du Bureau pour la recherche de gisements de plomb zinc.

Il comprend les paragraphes suivants :

|                                                                                                                                                        |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| I - Répartition du plomb et du zinc dans l'écorce terrestre .....                                                                                      | p. 2  |
| II - Principaux types d'environnement géologique privilégiés pour le plomb et le zinc :                                                                |       |
| A - Groupe des gîtes grossièrement stratiformes dans des sédiments carbonatés ou détritiques de couverture, sans volcanisme ni plutonisme associé..... | p. 3  |
| B - Groupe des gîtes rigoureusement stratiformes dans une série volcano-sédimentaire synorogénique.....                                                | p. 9  |
| B' - Cas des gîtes métamorphisés .....                                                                                                                 | p. 15 |
| C - Groupe des gîtes riches en argent et de formes diverses (filons et amas) liés au plutonisme tardi-orogénique et au volcanisme associé.....         | p. 17 |
| III - Autres types de gisement de plomb et de zinc .....                                                                                               | p. 27 |
| IV - Métallogénie actuelle du plomb et du zinc .....                                                                                                   | p. 31 |
| V - Production actuelle et réserves des principaux pays producteurs de plomb-zinc .....                                                                | p. 32 |
| VI - Marché du plomb et du zinc.....                                                                                                                   | p. 36 |
| VII - Sélection de zones favorables à la recherche du plomb et du zinc.....                                                                            | p. 37 |

ANNEXE 1 - Compléments résumant les apports des participants et donnant les conclusions de la réunion du 14 février 1969..

ANNEXE 2 - Note sur l'argent.

#### BIBLIOGRAPHIE

La réunion du 14 février 1969 a donné lieu à un certain nombre de remarques et a abouti aux conclusions que nous avons résumées à la fin de cette note.

Etaient présents : Mme J. Sarcia ; MM. les Professeurs Raguin, Routhier, Leutwein et Pélissonnier ; M. Bauchau ; MM. Agard, Bertraneu, Blanchot, Bouladon, Burnol, Dudan, Gautsch, G. Gérard, Guigues, Jaeger, Lambert, Lille, Loughon, Morer, Munck, Perichaud, Prouhet, Renaud, Sainte Claire Deville, Sakowitsch, Scolari, et Vincent.

## R E S U M E

L'objet de ce travail était de préparer un document devant servir de base de discussion à une réunion ayant pour but de définir les régions du monde paraissant les plus favorables à une intervention du B.R.G.M. pour la recherche de gisements de plomb - zinc.

Ce travail a été exécuté sur crédits propres du Service de géologie des gîtes minéraux.

On peut ranger la plupart des gisements de plomb et de zinc actuellement exploités, en trois grands groupes, correspondant chacun à un certain type d'environnement géologique :

- A) Sédiments de couverture, sans volcanisme ni plutonisme ;
- B) Série volcano-sédimentaire synorogénique ;
- C) Plutonisme tardi-orogénique et volcanisme associé.

A ces trois catégories, il faut ajouter un groupe B', ou des gîtes métamorphisés, qui comprend relativement peu de gisements, mais quelques-uns des plus gros du monde.

Les pays les plus favorables à la recherche du plomb et du zinc, pour le B.R.G.M., sont actuellement les suivants :

- Le Canada, avec deux centres d'intérêt : l'un oriental (bouclier et Appalaches) pour les groupes A et B ; l'autre occidental (Colombie britannique) pour les groupes B' et C ;

- L'Australie pour les groupes A, B et B' ;

- La Turquie (groupes A et C) ;

- L'Espagne (groupes A, B et C) ;

- L'Iran (groupes A, B et C) ;

- La Grèce (groupe C) ;

- Le Pérou (groupe C).

## I - REPARTITION DU PLOMB ET DU ZINC DANS L'ECORCE TERRESTRE

Contrairement à certains métaux, comme le mercure ou le molybdène, le plomb et le zinc forment de très nombreuses concentrations économiquement intéressantes. On a montré récemment que les cinq plus gros districts plombifères du monde ne constituaient que 30 % du tonnage de ce métal actuellement connu (et en partie exploité) sur notre terre, alors que les cinq plus gros gisements de mercure en représentent 95 %, et les cinq plus gros gisements de molybdène 67 % (Laffitte et Rouveyrol, 1964). L'enquête que nous venons de faire et qui a porté sur 260 gisements de Pb-Zn en activité, nous a révélé qu'une centaine d'entre-eux correspondaient à des concentrations de plus de 200.000 t. de métal (partiellement exploitées bien sûr).

Pourtant la teneur moyenne en plomb de l'écorce terrestre n'est que de 16 g/t, soit 300 fois moins que la teneur en fer. La teneur en zinc est huit fois plus forte, de l'ordre de 120 g/t. Parmi les roches de l'écorce, le plomb et le zinc sont relativement abondants dans les granitoides : le plomb, dont le rayon ionique est très voisin de celui du potassium, se localise préférentiellement dans les feldspaths ; le zinc par contre, dont le rayon ionique est très proche de celui du fer, suit les ferro-magnésiens, en particulier, la biotite. C'est ainsi qu'en France, dans la région de Villefort, les études de A. Bernard et J. Cl. Semama (1968) ont montré que le granite de la Borne tient en moyenne 90 g de Pb et 38 g de Zn à la tonne, alors que les micaschistes qui l'entourent immédiatement contiennent beaucoup moins de Pb (25 g/t) et plus de Zn (84 g/t) ; tout se passe comme si le zinc avait migré hors du granite en même temps que la biotite se développait dans les schistes encaissants.

Cette richesse particulière des granitoïdes en plomb et zinc explique l'existence de tout un groupe de gîtes manifestement liés à des plutons monzonitiques ou dioritiques. Elle explique aussi, dans une certaine mesure, la présence de zinc et de plomb, à côté du cuivre, dans certains dépôts liés au volcanisme. Par contre, l'origine des gisements de Pb-Zn stratiformes dans les calcaires, les dolomies ou les grès de couverture ; pose encore bien des problèmes.

## II - PRINCIPAUX TYPES D'ENVIRONNEMENT GEOLOGIQUE PRIVILEGES

Les types de gisements de plomb zinc sont nombreux : H. Schneiderhöhn (1955) en distinguait quinze : treize de filiation plutonique (dans lesquels il incluait les gisements stratiformes de couverture...) et deux de filiation volcanique. Si l'on tient compte des résultats des études effectuées depuis, et si l'on fait un effort de réflexion dans le sens indiqué par Schneiderhöhn, c'est-à-dire en considérant d'abord l'environnement géologique des gisements, on voit cet ensemble, assez hétéroclite au premier regard, se simplifier considérablement.

Une telle simplification choquera sans doute certains spécialistes par les rapprochements qu'elle implique et qu'ils jugeront arbitraires. Mais il ne faut pas oublier que le but visé ici est seulement de proposer des idées d'ensemble valables à l'échelle planétaire. Une enquête exhaustive sur les gisements de plomb-zinc du monde est en cours à l'Ecole des Mines, sous la direction de H. Pelissonnier ; actuellement menée par Ch. Bauchau, à qui nous sommes redevables d'informations précieuses sur les chiffres de production et de réserves, cette enquête aboutira évidemment à une classification beaucoup plus nuancée que celle que nous proposons ici.

Sur 260 gisements examinés, tous en activité, dont une centaine importants (c'est-à-dire dépassant 200.000 t. de métal), 225 (dont 90 importants) se répartissent entre trois types principaux d'environnement géologique :

- A - Groupe des gîtes grossièrement stratiformes dans des sédiments carbonatés ou détritiques de couverture, sans volcanisme ni plutonisme associé. A ces gîtes stratiformes dans la couverture, il faut évidemment joindre les filons associés dans le socle proche, à condition que ces filons aient la même paragenèse et le même chimisme que les gîtes stratiformes voisins ; c'est le cas par exemple d'Aouli pour Mibladen (Maroc).

Ce groupe présente les caractères suivants :

1 - Situation géologique. La couverture dans laquelle se trouve la minéralisation peut être non plissée (Mid Continent american), ou plissée, ce qui semble le cas le plus fréquent (Appalaches, Atlas, Alpes orientales, etc..) Mais presque toujours la minéralisation apparaît en liaison avec des structures positives (paléinsules de H. Pelissonnier), qui correspondent à des paléoreliefs du socle et qui se manifestent dans la couverture par des biseaux stratigraphiques, des changements latéraux de faciès, des failles vivantes et des brèches variées.

En ce qui concerne ces dernières, on peut, avec W.H. Callahan (1964), distinguer parmi les gisements de ce groupe :

- les gîtes "sur discordance", accompagnant des biseaux stratigraphiques et des brèches de glissement en bordure de talus ou de récif. Ex. : SE Missouri (USA) et Pine Point (Canada) ;

- les gîtes "sous discordance", souvent localisés dans des brèches de dissolution (structures d'effondrement recouvertes par une série sédimentaire plus récente et non affectée) et que Bernard et Leleu (1967) interprètent comme des dépôts karstiques. Ex. Tri State, Illinois, Vallée du Mississippi (USA).

Le rôle des facteurs tectoniques (cassures, shear zones, accidents profonds) n'est pas négligeable non plus dans la localisation de la minéralisation. Il faut citer à ce propos le cas des gîtes tunisiens (Fedj Assene, El Akhouat, etc.) manifestement liés aux axes de diapyrisme : la minéralisation, accompagnée de célestine, se loge dans des calcaires fracturés, au contact de Trias diapyr, formé en surface d'une brèche dolomitique à éléments variés.

2 - Age des formations encaissantes. Il est très variable et peut être précambrien (Broken Hill en Zambie, Balmat aux USA), cambrien (Laisvall en Suède, l'Iglesiente en Sardaigne, Austinville en Virginie), silurien (Vallée du Mississippi, et Tzuli en Chine), carbonifère (Tri State, SE Missouri, Illinois), triasique (Largentièrre, les Malines, Mechernich, Alpes orientales, Hte Silésie), liasique (Bou Beker - Touissit, Mibladen, Ouarsenis, Figeac), crétacé (Reocin, Mesloul et beaucoup de gîtes tunisiens).

3 - Conditions de sédimentation des roches encaissantes : généralement marines et peu profondes, parfois continentales. On aura par exemple : des alignements de récifs bordés de brèches d'écoulement (dans lesquelles se localise la minéralisation) ; ou des dépôts de dolomie lagunaire à traces organiques ; ou des épandages de grès à ripple-marks ; dans lesquels des paléochenaux semblent guider la minéralisation.

D.F. Sangster (1967) a proposé de distinguer différents types de gisement selon la nature de la roche encaissante. La minéralisation peut se trouver :

- dans des dolomies récifales étendues (c'est-à-dire non restreintes à la région minéralisée). Ex. Pine Point (Canada), Bou Beker-Touissit (Maroc), Hte Silésie, etc. Le rapport Zn/Pb dans ces gisements varie de 1,5 à 4 (+) ;

- dans des dolomies restreintes au voisinage immédiat du gîte. Ex.: Monteponi (Sardaigne). Les Malines (Cévennes), Reocin (Espagne), etc. Le rapport Zn/Pb est du même ordre que précédemment (3 à 5) ;

- dans des calcaires (ou dans des dolomies à veines de calcite). Ex. Mezica (Yougoslavie), Turlan (URSS), Tzuli (Chine), etc. Ici par contre le rapport Zn/Pb est inférieur à 1.

- dans des grès : Mechernich (Allemagne occid.), Largentière (Cévennes), Laisvall (Suède); Zeida (Maroc), etc. Le rapport Zn/Pb est aussi inférieur à 1, et le plus souvent nul.

Ainsi dans les deux derniers types, le plomb est seul ou prédominant. Manifestement un environnement dolomitique est favorable au dépôt du zinc sous forme de sulfure (++).

---

(+) Le chiffre de 10 donné pour Pine Point par Sangster n'est plus vrai aujourd'hui ; il ne correspondait pas à l'ensemble du gisement.

(++) Il n'en va pas de même pour le développement de la smithsonite (amas calaminaire) qui se produit mieux dans les calcaires que dans les dolomies.

4 - Morphologie des gîtes. Elle est très variée :

- corps stratiformes allongés, appelés "runs", axés sur des flexures, des cordons de brèches sédimentaires, des paléochenaux, etc. et toujours limités à certains horizons privilégiés (dolomie bréchique, dolomie brune, légèrement bitumineuse, niveau à chert, grès à ciment siliceux, etc.) ;

- remplissage de cassures, élargies par remplacement partiel des épontes, ou de cavités de dissolution recoupant la stratification. Ces cavités peuvent être liées aux phénomènes de dissolution et de recristallisation (de la dolomie) qui accompagnent la minéralisation principale ; celle-ci cimente alors des brèches d'effondrement. Elles peuvent aussi lui être postérieures (paléokarst par exemple) et s'accompagner du remaniement d'une partie de cette minéralisation ; c'est ce que A. Bernard et M. Leleu ont décrit récemment au Laurium (+).

- amas calaminaires (Ouarsenis en Algérie, Angouran en Iran, Vazante au Brésil), développés tardivement (par oxydation supergène) le long de cassures minéralisées, ou à l'aplomb de runs riches en blende ;

- enfin filons véritables, et éventuellement amas (Les Malines), dans le socle sous-jacent ou voisin (Aouli...).

5 - Paragénèse. Elle est toujours simple et le minerai, souvent géodique, a parfois une texture colloforme qui suggère que le dépôt s'est fait à température et pression ordinaires. Les minéraux métalliques comportent essentiellement : galène (pauvre en argent), blende (et shalenblende) ; peu de pyrite (et de melnicovite), de marcasite, parfois de chalcopryrite. La gangue, souvent réduite à une recristallisation de la dolomie (ou de la calcite) encaissante, comporte généralement un peu de quartz, de la barytine, parfois de la fluorine. Localement la fluorine est abondante (Illinois).

---

(+) Cette minéralisation sulfurée, qui s'est produite à la partie supérieure d'un karst sénescant et immergé, se retrouve sans doute, au moins partiellement, dans certains des gîtes "sous discordance" de W.H. Callahan (1964).

6 - Chimisme. Du point de vue chimique, on peut souligner la relative pauvreté de la galène et de la blende en éléments mineurs (Ag. Bi.). Le minerai tout venant ne dépasse généralement pas 30 g. d'Ag. à la t. (une exception : celui de Largentière dans les Cévennes, qui atteint 75 g.). L'antimoine peut devenir localement abondant dans la galène (comm. orale J. Loughnon). On doit remarquer l'abondance de thallium dans la pyrite de Hte Silésie, et celle de nickel et de cobalt (sous forme de siegenite) à la base de certains gisements du Missouri (+). Il faut noter la présence fréquente de vanadium (sous forme de vanadite) et plus rare de molybdène (sous forme de wulfenite) dans la phase oxydée des gisements (ex. Mibladen au Maroc ; Broken Hill en Zambie, etc.). Enfin, on observe très souvent une dissémination de mouches d'oxydes de manganèse autour des minéralisations de ce groupe.

7 - Origine. Ce groupe de minéralisation en plomb-zinc, classiquement appelé téléthermal (ce qui souligne l'absence de volcanisme et de plutonisme proche), a fait l'objet ces dernières années de très nombreuses discussions. C'est le principal champ de bataille du conflit entre syngénétistes et épigénétistes. On considèrerait en effet autrefois que ces minéralisations guidées par des zones de fractures, des flexures, des écrans marneux, etc. s'étaient mises en place par remplacement des calcaires et des dolomies, presque toujours légèrement disloqués, dans lesquels on les trouve.

Des observations récentes ont montré que dans plusieurs cas, le dépôt de la minéralisation s'était fait sinon pendant la sédimentation, du moins en cours de diagenèse, et que cette minéralisation était reprise, sous forme de fragments détritiques, dans des slumpings, des ravinements ou des terriers d'organismes fouisseurs (Rouvier 1967) au sein de sédiments immédiatement postérieurs. J.C. Samama (1968) a proposé un modèle paléohydrogéologique pour expliquer la genèse des minéralisations dans les grès à l'Argentière (Ardèche).

J'ai constaté moi-même à Madagascar (Toarcien du Kelifely, Bouladon et alt., 1966) ; que la blende et la galène pouvaient accompagner la pyrite dans un dépôt très pauvre mais remarquablement uniforme (2 à 4 cm de puissance, 40 à 50 km d'extension) au sein de strates absolument tranquilles. Le même fait avait d'ailleurs été décrit dans le Keuper de la région de Trèves (Allemagne), où les "Bleiglanz Banke" s'étendent sur des centaines de kilomètres avec des teneurs infimes et une puissance très faible (1 % Pb sur 10 cm). H. Schneiderhöhn (1955) place cette minéralisation, pauvre et étendue, parmi les gîtes de précipitation dans les eaux continentales ou épicontinentales.

---

(+) A Fredericktown, dans les biseaux gréseux qui bordent les paléoreliefs du socle, on a dénombré 2 Mt de réserves à 2,3 Pb avec 1,4 % Cu, 0,46 % Ni et 0,28 % Co (Cornwall, 1966).

Il existe donc certainement dans le grand groupe des gîtes de couverture, que nous avons appelé groupe A, des dépôts syn ou diagénétiques. Mais par ailleurs, les aspects épigénétiques sont fréquents, et dominent même dans certains gîtes du groupe, en particulier à l'échelle du microscope.

R.L. Stanton (1966) a proposé une méthode chimique permettant de déterminer si une minéralisation stratiforme s'est mise en place par remplacement (auquel cas les sulfures se substituent à certains éléments du sédiment, dont la quantité baisse alors systématiquement dans les zones minéralisées), ou par dépôt sédimentaire (en ce cas, il y a simplement addition des sulfures au sédiment, sans variation systématique de certains éléments de celui-ci). Il serait intéressant d'appliquer cette méthode aux gîtes qui nous occupent ici (Stanton ne l'a appliqué qu'à des gîtes volcanogènes).

Cependant, même si l'on prouvait que la syngénèse est le cas le plus général, la question de l'origine de la minéralisation ne serait pas résolue pour autant. En effet, on peut l'attribuer au lessivage de produits d'altération formés sur le socle voisin, mais on peut aussi invoquer une origine exhalative liée à un volcanisme, même très lointain (dans le même bassin de sédimentation ou dans un autre, peu importe pourvu que ces bassins communiquent, au moins temporairement). L'analyse isotopique de certains éléments, en particulier du Pb et du S permettra peut-être de résoudre cette épineuse question (Lancelot, Sarazin et Allègre, 1963).

8 - Importance économique. Les runs minéralisés qui ont 100 à 600 m de long et 15 à 60 m de large, avec une puissance de l'ordre de 2 à 5 m, forment le plus souvent un système complexe, à différents niveaux communiquant entre eux par des fractures transverses. L'ensemble occupe une surface de 3 à 10 km de long et de 200 m à 1 km de large. Il n'existe donc pas, à proprement parler, de corps minéralisé bien individualisé et l'unité la mieux adaptée à ce groupe de gisements est le champ plutôt que le corps (+).

Le tonnage de métal contenu dans un tel champ varie de 50.000 t. pour les plus petits (Figeac) à 1 ou 2.000.000 t. (Bou Beker - Touissit, Laisvall).

---

(+) Nous adoptons ici les unités spatiales utilisées par H. Pelissonnier pour les études économiques de gisements :

- le corps minéralisé, de dimension inférieure à 1 km ;
- le champ : 1 à 10 km ;
- le district : 10 à 100 km ;
- l'aire : au-dessus de 100 km.

Le district, lui, peut atteindre 5, 10 et même 15 millions de tonnes de métal (SE Missouri, Tri State, Hte Silésie).

Ce groupe, avec 62 gîtes examinés (dont 25 importants), fournit actuellement 25 % de la production mondiale de plomb et de zinc (24 % pour le zinc, 25 % pour le plomb) ; il contient 24 % des réserves mondiales de plomb et de zinc (23 % pour le zinc, 25 % pour le plomb) ; et il a fourni 39 % de la production passée de zinc et 25 % de la production passée de plomb. Son importance économique se maintient donc, sauf pour le zinc, où un certain fléchissement est dû à l'expansion du groupe B (tableau I).

B - Groupe des gîtes rigoureusement stratiformes dans une série volcano-sédimentaire synorogénique. Il s'agit de minéralisations plus ou moins pyriteuses de zones orogéniques, minéralisations interstratifiées soit à la partie supérieure d'une série volcanique (avec alternance de tufs, agglomérats et laves, généralement rhyolitiques ou andésitiques), soit dans les sédiments qui la surmontent.

Ce volcanisme est, en principe, de type calco-alcalin, ou du moins comporte des termes calco-alcalins dans un ensemble tholéitique (Fonteilles, 1967).

Il importe de le distinguer nettement du volcanisme tardi-orogénique, plus nettement calco-alcalin, et toujours lié à un plutonisme sub-volcanique, dont nous verrons qu'il est responsable des minéralisations du troisième groupe.

Il ne s'agit pas non plus, du moins en général, du volcanisme initial (appelé ophiolitique dans les Alpes) dont l'intérêt économique est faible et ne concerne pratiquement que le cuivre. Le volcanisme spilito-kératophyrique, souvent précoce lui aussi et dont on sait qu'il peut donner de petits gisements de cuivre associés à des dépôts pyriteux importants (Madneuli au Caucase ; Sazaré au Japon ; ou Sain Bel en France), ne fournit généralement pas non plus de plomb-zinc en quantités notables.

Les caractéristiques de ce groupe de gisements peuvent se résumer ainsi :

|    |                     | groupes |    |    |    |        |
|----|---------------------|---------|----|----|----|--------|
|    |                     | A       | B  | B' | C  | divers |
| Pb | production annuelle | 25 %    | 13 | 18 | 35 | 9      |
|    | réserves            | 25      | 27 | 24 | 22 | 2      |
|    | production passée   | 25      | 7  | 21 | 34 | 13     |
| Zn | production annuelle | 24      | 27 | 14 | 27 | 8      |
|    | réserves            | 23      | 41 | 13 | 21 | 2      |
|    | production passée   | 39      | 16 | 14 | 18 | 13     |

Tableau I - Répartition (en %) par groupes de la production annuelle actuelle, des réserves et de la production passée cumulée (exprimées en poids de métal contenu).

1 - Situation géologique. Ils se situent toujours dans des zones orogéniques, fosses géosynclinales ou plus simplement fosses intracratoniques, dont le remplissage, formé de sédiments marins de type flysch, a généralement été plissé et écaillé, au cours de l'orogénie, ce qui a entraîné un remodelage, plus ou moins poussé, de la minéralisation syngénétique primitive.

2 - Age des formations encaissantes. Il peut être précambrien (Timmins, Mt Isa, etc.), cambro-silurien (Bathurst), silurien (Read Rosebery et Captain's Flat en Australie ; Carboire et Pierrefitte en France) ; dévonien (Rammelsberg ; Kuchke en Iran ; Tishinsk dans l'Altaï), carbonifère (Tynagh en Irlande), miocène (Kosaka et les gîtes de Kuroko au Japon).

3 - Situation dans la série volcano-sédimentaire. On peut distinguer grossièrement trois types de gisements dans ce groupe, d'après leur position dans la série volcano-sédimentaire :

a) les uns sont interstratifiés dans la partie purement volcanique de la série, c'est-à-dire pratiquement dans des tufs et des agglomérats à intercalations de laves, généralement rhyolitiques (avec accumulation de la minéralisation dans des "cherty tuffite" qui apparaissent à la zone de passage de rhyolites à andésites). Ce sont les classiques amas pyriteux du précambrien canadien à cuivre et zinc (Timmins, Mattagami, Noranda, Flin-Flon, etc.), et plus près de nous dans le temps les gisements kuroko du Miocène japonais à Cu-Zn-Pb (Kosaka, Shakanai, etc.). On retrouve ce type au Paléozoïque dans l'Altaï (Tishinsk) et surtout dans l'Oural, au Miocène en Algérie (Oued el Kebir, près Cavallo). Dans tous ces gisements, sauf le dernier, Zn domine largement sur Pb, plus nettement d'ailleurs au Précambrien ( $Zn/Pb = 20$  à  $30$  au Canada) qu'au Miocène ( $Zn/Pb = 3$  à  $5$  au Japon).

b) d'autres sont interstratifiés dans la zone de passage des tufs aux sédiments, c'est-à-dire dans des schistes à intercalations, généralement minces, de tufs, de grauwackes et de calcaires impurs. Ces schistes, souvent carbonés, évoquent un milieu marin peu profond ; R.L. Stanton (1960) parle, à propos de Bathurst, de vastes lagunes où l'eau circulait mal, en bordure d'une zone en cours d'affaissement rapide. Dans ce type, on peut ranger les gîtes paléozoïques de Bathurst (Nouveau Brunswick) et de Buchans (Terre Neuve), de Read Rosebery (Tasmanie), de Kuchke (Iran). Le rapport  $Zn/Pb$  varie de  $2$  à  $4$  ; il est donc légèrement inférieur à celui du type précédent.

c) d'autres enfin sont interstratifiés dans des sédiments du même type, mais où l'apport volcanique est extrêmement discret, et ne se traduit que par la présence de quelques éléments pyroclastiques dans les roches détritiques, ou par de très rares intercalations de tufs altérés. Parfois (Ordovicien supérieur de Carboire) c'est latéralement, dans le même horizon mais à plusieurs dizaines de kilomètres, qu'apparaissent les premières formations volcaniques indubitables. Il est évident que le caractère volcanogène de telles minéralisations peut passer inaperçu et paraître douteux. Il me semble pourtant que leur caractère rigoureusement concordant et leur ressemblance avec les minéralisations du type b) invitent à les placer dans le même groupe.

Dans ce dernier type, on peut ranger Rammelsberg (Harz), Mt Isa (Queensland), Captain's Flat (New South Wales), Carboire et Pierrefitte (dans les Pyrénées), et enfin le district de Tynagh (en Irlande). Tous ces gîtes ont prêté et prêtent encore à discussion ; mais l'accord semble réalisé, du moins pour les plus célèbres : Rammelsberg et Mt Isa, en faveur d'une interprétation volcanogénétique. Le cas de Tynagh semble assez convaincant aussi : la minéralisation, très fine et de structure généralement colloforme, y est interstratifiée dans des calcaires et dolomies carbonifères, de type récifal, dans lesquels on a reconnu des intercalations argileuses passant latéralement à des tufs.

Le rapport Zn/Pb est ici inférieur à 2, sauf pour Carboire où il atteint 6.

4 - Morphologie des gîtes. Elle dépend de l'intensité des déformations subies par les formations encaissantes. Si ces déformations sont faibles, la minéralisation se présente en couches minces, relativement étendues, particulièrement minces et étendues si le contexte est purement sédimentaire : c'est ainsi que dans le type c) la couche minéralisée peut atteindre 600 à 800 m de long, avec une puissance de quelques mètres. Parfois, il existe deux couches se relayant, à deux niveaux stratigraphiques voisins de quelques dizaines de mètres (Rammelsberg, Carboire).

Si les déformations subies sont intenses, le minerai flue dans les charnières ou sur les flancs des plis pour donner des amas lenticulaires, dont l'axe est parallèle à la linéation locale. Il en est ainsi, en particulier dans les gîtes canadiens (Bathurst), ainsi qu'à Tishinsk, Kosaka, etc. Ces amas ont 50 à 300 m de long et 6 à 30 m de largeur avec une puissance du même ordre.

5 - Paragénèse. De même que la forme des gîtes dépend des déformations subies, le grain du minerai est fonction du degré de métamorphisme qui affecte les formations encaissantes ; et le minerai primitif, de structure colloforme, avec melnicovite et schalenblende, est toujours très fin (2  $\mu$ ). C'est ainsi qu'en Australie les gisements de Mac Arthur River et Mount Isa, situés dans les mêmes formations, correspondent à deux stades de métamorphismes différents : insensible à Mac Arthur River, épizonal à Mt Isa ; or le minerai de Mac Arthur River est si fin que l'on n'arrive pas à le traiter par flottation avec un rendement satisfaisant.

La paragénèse des gisements de ce groupe est plus complexe que celle du précédent et montre une certaine zonalité. Elle se caractérise d'abord par l'abondance de pyrite (ou de pyrrhotine, provenant essentiellement de la transformation de pyrite par métamorphisme). La pyrite, accompagnée de marcasite et souvent associée à un dépôt de silice, est particulièrement abondante à la base stratigraphique du dépôt plombo-zincifère, qu'elle déborde latéralement formant autour de lui, en plan, une auréole caractéristique ; c'est le cas à Rammelsberg, à Mt Isa, à Nenagh (Irlande), aussi bien que dans les gîtes japonais (Kosaka) ou le minerai pyriteux "keiko" auréole et supporte le minerai kuroko.

A la partie supérieure du dépôt plombo-zincifère, on constate au contraire un enrichissement en galène avec souvent développement de barytine (Rammelberg, Tynagh, Kosaka).

Le reste de la paragénèse comporte, outre la blende et la chalcopryrite, un peu de cuivre gris, quelques sulfo-sels d'argent, parfois du mispickel, de la bournonite, plus rarement : cobaltine, breithauptite, gersdorffite.

La magnétite apparaît dans certains gîtes métamorphisés (Pierrefitte). Il est exceptionnel qu'on trouve de l'énargite dans les gîtes de ce groupe ; on en signale cependant à Huelva, et à Oued el Kebir (Algérie) avec des sulfo-antimoniures de plomb.

Dans la gangue, outre la silice de la base ("kniest" de Rammelsberg ; "keiko" de Kosaka) souvent mêlée d'un peu de séricite ou de chlorite ("cherty tuffite" du Canada), et la barytine, on doit signaler la présence éventuelle de gypse sous jacent à la minéralisation (Kosaka), et celle, exceptionnelle, de fluorine et de carbonates manganésifères (Read Rosebery).

6 - Chimisme. Les teneurs en argent du tout venant des gîtes de ce groupe, sans être très élevées, sont généralement supérieures à celles des gîtes du groupe A : elles varient de 25 à 250 g à la tonne, avec une accumulation autour de 80 à 100 g.

Le cuivre est toujours présent, avec des teneurs de l'ordre de 0,3 à 2,5 % pour 3 à 11 % Zn et 0,2 à 8 % Pb. Le tellure est habituel dans les gîtes de ce groupe, particulièrement dans les plus cuprifères (+).

La présence d'or n'est pas négligeable : Kosaka par exemple produit 400 kg d'or par an pour 12.000 t. de Zn, 10.000 t. de Cu, 4.000 t. de Pb et 20 t. d'Ag.

Enfin, le rapport Zn/Pb, nous l'avons vu, varie de 20 à 0,8 à mesure que baisse la teneur en cuivre et que l'on passe de l'environnement purement volcanique à un environnement essentiellement sédimentaire.

7 - Origine. La nature syngénétique et l'origine volcanique des gîtes de ce groupe sont à peu près unanimement reconnues aujourd'hui, du moins pour les types a) et b) (Kinkel, 1966). Le type c), nous l'avons dit, fait encore l'objet de quelques discussions ; et pourtant, dès 1955, H. Schneiderhöhn avait souligné le caractère syngénétique de Rammelsberg et de Mount Isa, et proposé pour ces gisements une origine exhalative, en liaison avec le volcanisme sous-marin dont ils renferment des témoins (sous forme de quelques intercalations de tufs altérés).

#### 8 - Importance économique

Les lentilles minéralisées, qui ont 200 à 800 m de long et 1 à 25 m de puissance, sont souvent groupées par deux ou par trois, de sorte que l'unité minéralisée est plutôt le champ, de 1 à 2 km de long et 200 à 300 m de large. Le tonnage de métal contenu dans un tel champ varie de 100.000 t. à 6 Mt.

Le district minéralisé lui-même ne comporte parfois qu'un seul champ (c'est le cas de Rammelsberg par ex.). Les principaux districts minéralisés du groupe B sont, par ordre d'importance décroissante (++) :

- 
- (+) La chalcoppyrite de certains amas pyriteux à Cu-Zn contient jusqu'à 660 g de tellure à la tonne, alors que la blende en est très pauvre. Mais le tellure est encore plus abondant dans les gisements à Cu-Ni.
- (++) Certaines de ces évaluations nous ont été aimablement communiquées par MM. Bauchau et Péligon.

|             |                                                   |
|-------------|---------------------------------------------------|
| Mt Isa      | : 8,3 Mt. de plomb + zinc (production + réserves) |
| Rammelsberg | : 6,3 Mt.                                         |
| Bathurst    | : 5,7 Mt.                                         |
| Tynagh      | : 4 Mt.                                           |
| Timmins     | : 3,5 Mt.                                         |
| Buchans     | : 3,3 Mt.                                         |
| Mattagami   | : 3 Mt.                                           |
| Shakanaï    | : 2,5 Mt.                                         |
| Chisel Lake | : 1,5 Mt.                                         |
| etc.        |                                                   |

L'ensemble des gisements du groupe B (50 gîtes examinés dont 25 importants) fournit actuellement 27 % de la production mondiale de zinc et 13 % de celle de plomb ; et il contient 41 % des réserves de zinc et 27 % de celles de plomb ; tandis qu'il n'a fourni que 16 % de la production passée de zinc et 7 % de celle de plomb. Le groupe B est donc plus zincifère que plombifère, mais son importance économique va en croissant pour le plomb comme pour le zinc (tableau I).

B' - Cas des gîtes métamorphisés. Il faut faire une place à part aux gîtes stratiformes qui, datant du Précambrien ou du Cambrien, ont subi un métamorphisme particulièrement intense, qui rend leur identification difficile et les a fait classer par Schneiderhöhn (1955) dans un groupe à part, celui des "gîtes polymétamorphisés complexes". C'est ce que nous appelons, à cause de certaines analogies avec le groupe B, le sous-groupe B'. Son importance économique en matière de plomb-zinc est considérable. Il comprend en effet :

- le district de Broken Hill en Australie (Nouvelles Galles du Sud), qui, avec cinq compagnies exploitantes, est le plus gros producteur de plomb-zinc du monde : plus de 550.000 t. de métal en 1967 (273.000 t. de Pb, 277.900 t. de Zn et 382 t. d'Ag). Réserves : 2 Mt. de Pb ; 2 Mt de Zn et 2.200 t. d'Ag.

- le gîte de Sullivan au Canada (Colombie britannique), avec une production annuelle de l'ordre de 200.000 t. de métal. Réserves : 3,5 Mt. de Pb ; 4 Mt de Zn et 2.150 t. d'Ag. ;

- le district, nouvellement découvert, d'Anvil (Territoire du Yukon, Canada) avec les gîtes de Vangorda (en exploitation) et de Faro (en préparation). Réserves : 3,5 Mt de Pb ; 2,5 Mt de Zn et 1.800 t. d'Ag. ;

- enfin le gîte de Sherrit Gordon au Canada (limite Manitoba-Saskatchevan), ceux de Vihanti et d'Orijarvi en Finlande, etc.

Ces gîtes présentent plusieurs caractéristiques essentielles du groupe B : ils sont interstratifiés dans des micaschistes, leptynites, amphibolites et gneiss, souvent au contact d'un horizon de quartzite qui correspond au dépôt de silice chimique ("cherty-tuffite", "kniest", etc.) dont nous avons parlé ; ils comportent souvent à leur base, sur les quartzites, une zone à pyrrhotine extrêmement étendue (Sullivan) ; ils forment des épaississements le long de "drag folds". Mais les dimensions ne sont plus les mêmes : les épaisseurs atteintes, à Broken Hill et à Sullivan, sont de l'ordre de 100 m pour des amas de 2.000 m de long

Le métamorphisme de Sullivan, où existent des corps gabbroïques, a un cachet "greenschist" (avec albite, chlorite, tremolite, clinozoisite.) auquel se superpose une intense tourmalinisation. Celui de Broken Hill (gneiss à sillimanite) s'accompagne du développement local de pegmatites, et de skarn à rhodonite et grenat manganésifère. Parfois un granite apparaît au voisinage du gîte (Anvil, Orijarvi).

Les paragénèses témoignent de l'élévation de température correspondante (600° à Broken Hill, contre 250° à Rammelsberg), non seulement par la recristallisation de la blende, le développement de la pyrrhotine (à la place de la pyrite) et de la magnetite, mais par l'apparition de minéraux nouveaux à cachet granitique : stannine et parfois cassitérite (Sullivan), molybdenite, fluorine, etc.

Du point de vue économique, et comme pour les gîtes du groupe A, il ne faut plus parler ici de corps minéralisé, mais de champ (dont l'extension va de 2 à 7 km).

L'ensemble production + réserves, c'est-à-dire le tonnage de métal contenu, atteint ici des valeurs considérables (évaluations de M. Bauchau).

|                         |   |                |
|-------------------------|---|----------------|
| Broken Hill (Australie) | : | 27 Mt de métal |
| Sullivan (Canada)       | : | 23 " "         |

précédant les gîtes du groupe A :

|             |   |                  |
|-------------|---|------------------|
| Tri State   | : | 18,5 Mt de métal |
| Hte Silésie | : | 14               |
| Missouri    | : | 9,5              |

eux-mêmes suivis des gîtes du groupe B dont nous avons donné la liste.

D'une façon générale, le sous-groupe B, avec une douzaine de gîtes seulement (dont 9 importants) fournit actuellement 18 % de la production mondiale de plomb et 14 % de celle de zinc ; il contient 24 % des réserves de plomb et 13 % de celles de zinc ; il a fourni à ce jour 21 % de la production passée de plomb et 14 % de celle de zinc. A la différence du groupe B, il est donc un peu plus plombifère que zincifère. Son importance économique paraît stationnaire (tableau I).

C - Groupe des gîtes, riches en argent et de formes diverses (filons et amas), liés au plutonisme tardi-orogénique et au volcanisme associé.

Il s'agit, comme dans le groupe B, de minéralisations apparaissant dans des "ceintures" orogéniques, mais à une étape postérieure et plus près de la surface. C'est sans doute la raison pour laquelle ce groupe de minéralisations est mieux représenté dans les chaînes récentes (chaînes andines et chaînes alpines) que dans les chaînes hercyniennes ou précambriennes (voir la carte). Nous verrons pourtant que, même dans ces dernières, il existe quelques minéralisations du même type.

## 1 - Situation géologique

On peut distinguer avec Aubouin et Borrello (1966) deux types de chaînes récentes :

- le type géosynclinal ou alpin caractérisé, entre autres, par une sédimentation de type flysch et continuellement marine, la présence d'ophiolites, une tectonique de nappes de charriage, et un métamorphisme général. La partie eugéosynclinal du dispositif alpin est en quelque sorte extérieure aux masses continentales qui encadrent la chaîne.

- le type liminaire ou andin se développe au contraire en bordure du continent, mais à l'intérieur de celui-ci, comme le montre la réapparition du socle ancien sur la côte du Pacifique. Il se caractérise par l'absence de flysch (remplacé par des grès rouges au Jurassique et au Crétacé, et des formations terrigènes continentales au Tertiaire), d'ophiolites (remplacées par des épanchements sous-marins de trachy-andésites et de spilites du côté interne, c'est-à-dire dans la zone côtière), de charriages (remplacés par le chevauchement de la série chilienne sur la série argentine), et de métamorphisme général. Par contre, la tectonique de failles paraît plus marquée dans ce type de chaîne à cause de l'absence de charriage.

Dans les deux types de chaîne, il existe un magmatisme tardi-orogénique se traduisant par la mise en place de plutons grano-dioritiques (monzonites et quartz diorites) associés à un volcanisme andésitique de type calco-alcalin. On considère généralement ce magmatisme intermédiaire (dit "sialo-simique") comme dû à une hybridation du magma simique avec la croûte sialique. Quoi qu'il en soit le magmatisme tardi-orogénique est générateur de minéralisations polymétalliques dans les chaînes andines comme dans les chaînes alpines. La question a été traitée par J.C. Serre en ce qui concerne le cuivre (porphyry-copper et gîtes associés). Les minéralisations en plomb, zinc, argent et or sont constamment liées aux minéralisations cuprifères, sinon toujours dans les mêmes gisements du moins dans les mêmes districts.

Dans ces districts, les filons et amas minéralisés en plomb et zinc peuvent se grouper en trois types suivant leur position par rapport aux intrusions plutoniques responsables (Routhier, 1963) :

a) les filons intra-plutoniques, extrêmement rares en matière de plomb zinc. Il faut signaler cependant le gisement de cuivre de Butte (Montana), encaissé dans une batholite de quartz monzonite et qui avait produit au total en 1938 : 1.700.000 t. de zinc métal, 370.000 t. de plomb et 15.300 t. d'argent (et 57 t. d'or) pour 5.000.000 t. de cuivre.

b) les filons et amas péri-plutoniques qui sont les plus nombreux. Les amas (parfois de type sharn) se développent dans les calcaires au contact des intrusions granodioritiques ou monzonitiques, ou le long de zones fracturées émanant de ces intrusions. Les filons, qui affectent parfois la bordure des intrusions, se poursuivent sur de longues distances dans les roches encaissantes ; leur paragenèse, souvent télescopée, va de meso à épithermale.

c) les filons dans les laves, généralement plus courts et toujours épithermaux, sont encaissés dans les andésites connexes des plutons précédents. On remarquera qu'il ne semble pas y avoir ici de minéralisation stratiforme dans les laves et les tufs qui les accompagnent.

## 2 - Age des minéralisations et de leur environnement

Les gîtes de ce groupe étant extrêmement nombreux (105 gîtes actuellement exploités ont été examinés, dont 28 dépassent 200.000 t. de métal), nous les grouperons en trois ensembles :

a) les gîtes des chaînes récentes, qui constituent la grosse majorité (85 % des gîtes examinés, en nombre et en tonnage produit annuellement ; 93 % des réserves du groupe) et que l'on peut diviser en trois aires (ou ceintures) orogéniques :

- les gîtes des chaînes andines (Montagnes Rocheuses et Cordillère des Andes), associés à des intrusions monzonitiques de la phase laramienne (limite Crétacé supérieur - Tertiaire) dans des séries sédimentaires variées, allant du Précambrien au Crétacé. Du N au S, les principaux sont :

- le district de Coeur d'Alène (Idaho), encaissé dans des schistes et quartzites précambriens à intrusions monzonitiques ;

- le district de Salt-Lake City (Utah) avec Tintic, Park City, etc, dans des calcaires carbonifères à intrusions monzonitiques ;
- le district de Leadville et celui de Silverton au Colorado, dans des calcaires carbonifères recoupés par des diorites et monzonites ;
- le district de l'Arizona et du Nouveau Mexique, dans des calcaires carbonifères aussi, à intrusions granodioritiques ;
- les gisements du Mexique (San Francisco del Oro, Fresnillo, etc.) dans des calcaires, calcschistes et grauweekes du Crétacé inférieur, à intrusions de diorites, micro-monzonites et andésites ;
- les gisements du Pérou (Cerro de Pasco, Casapalca, Huaron, Atacocha, Santander, Milpo, etc.) dans des grès, conglomérats et calcaires triasiques ou jurassiques traversés par des micromonzonites quartzifères ;
- Matilda et Pulacayo en Bolivie, dans des grès rouges crétacés recoupés par des dacites ;
- Aguilar en Argentine, etc.
- les gîtes des chaînes alpines (Sierra Nevada, Kabylie, Karpathes, Dinarides, Rhodope, Caucase, Iran). Associés à des intrusions monzonitiques généralement miocènes, dans des séries sédimentaires dont l'âge va du paléozoïque au crétacé, les principaux de ces gîtes sont d'W en E :
  - le district de Carthagène (Espagne) dans des calcaires triasiques recoupés par des andésites post-miocènes ;
  - Aïn Barbar et Kef Oum Theboul (région de Bône) en Algérie, associés à des intrusions de microgranite miocène dans des marnes crétacées ou dans le flysch oligocène ;
  - Banska Stiavnica (Tchécoslovaquie) dans les calcaires triasiques recoupés par des granodiorites tertiaires ;
  - Herja (district de Maramuresh) en Roumanie, en liaison avec des intrusions subvolcaniques d'âge tertiaire ;
  - le district de Trepça (Yougoslavie), dans des calcaires paléozoïques, des gneiss et des micashistes, autour de pipes trachy-andésitiques ;
  - Madjavoro (Bulgarie) dans des calcaires et schistes mésozoïques recoupés par des trachytes miocènes ;

- le district de Kassandra (Grèce), dans des gneiss et cipolins probablement mésozoïques, près d'une intrusion de micro-monzonite ;

- le district de Sadon, au Caucase (URSS), avec la mine Egidsk, dans des schistes jurassiques recoupés par des stocks de granite, probablement cimériens ;

- Ravange, et plusieurs gîtes d'Iran, dans des calcaires crétacés injectés par des microdiorites.

- les gîtes des chaînes asiatiques (Mandchourie, Corée, Japon, Chine) qui sont, au moins en partie, de même âge et de même type que les chaînes andines. Nous ne donnerons ici que quelques noms de gisements, mais on pourrait sans doute en trouver beaucoup d'autres. Citons, du N au S :

- le district de Tetyukhe (Sikhota Ali, URSS) : dans des calcaires jurassiques au contact de "roches éruptives jeunes" ;

- le district de Heian en Corée du Nord (mines Gunya et Maden) ;

- Young Wha et Uljin en Corée du Sud ;

- Kamioka et Nakatatsu (Japon) dans des calcaires au contact d'une intrusion de diorite quartzique ; et Hosokura dans des laves tertiaires ;

- le district de Ching-cheng-tsu (Liaoning, Chine) dans des calcaires allant du précambrien au cambro-silurien, près d'intrusions de quartz-monzonite post-permienne ;

- le gros gisement de Shui-kou-shan (Hunan, Chine) dans des calcaires carbonifères, près d'une intrusion de quartz-monzonite, etc.

Des gisements du même type se rencontrent aussi en Nouvelle Zélande (c'est le gîte de Tui, dans une andésite), et même en Afrique, où le district d'Abakaliki (Nigéria) se situe dans des schistes et grès du Crétacé inférieur, recoupés par des intrusions de diorite d'âge probablement tertiaire (comme les granites récents du Cameroun).

b) les gîtes des chaînes hercyniennes, du moins ceux que l'on peut rattacher à ce groupe parce qu'ils présentent la même liaison avec des plutons tardifs, la même paragenèse complexe (avec minéraux d'argent, et présence constante d'arsenic et d'antimoine), la même gangue carbonatée ferrière et plus ou moins manganésifère. Ces gîtes tardi-hercyniens, presque tous situés dans les massifs anciens d'Europe (Espagne, Portugal,

France, Allemagne, Tchécoslovaquie) et d'Afrique du Nord (Maroc), fournissent actuellement une production annuelle infime car la plupart sont épuisés.

Parmi les gîtes épuisés ou presque épuisés citons : Guadalcanal en Espagne ; Pontgibaud, Peyrebrune, les Bormettes, la Croix aux Mines, et le district de Villefranche de Rouergue en France ; Příbram en Tchécoslovaquie ; les filons du Massif schisteux rhénan et de Freiberg en Allemagne (+). Certains cependant sont encore exploités (Terramonte au Portugal, l'Aouam au Maroc) ou en recherches (St Salvy, Fournials en France). Leur richesse en argent donne en effet aux gisements de ce groupe un intérêt particulier, qui permet de surmonter le désavantage d'un tonnage souvent limité.

c) les gîtes des chaînes précambriennes sont beaucoup plus rares encore. La raison de cette rareté tient au fait que l'érosion a généralement fait disparaître des minéralisations qui étaient, lorsqu'elles se sont déposées, relativement proches de la surface (c'est le cas aussi pour les porphyry-copper par ex.). Néanmoins, il semble qu'on puisse rattacher à ce groupe le gîte de Keno (Territoire du Yukon), riche en Ag., avec mispickel et gangue carbonatée ;

### 3 - Morphologie des gisements

Elle est très variée. D'une façon générale, c'est dans les calcaires que ce type de minéralisation se développe le plus largement, donnant naissance à des skarns, à des amas et à des filons, tandis que dans les schistes, les grès ou même les laves, il n'apparaît guère que des filons.

Au contact de l'intrusion monzonitique, si l'on est dans les calcaires, on peut avoir un skarn zincifère, recoupé par des filons à plomb-zinc comme à Kamioka, ou un amas pyriteux recoupé par des filons à énargite comme à Cerro de Pasco. Mais le plus souvent on a directement des amas de substitution, grossièrement stratiformes, appelés "mantos" au Mexique, et dont l'épaisseur varie de quelques mètres à 30 m (Leadville) et même 60 m (Trepca) ; ces amas, qui ont une largeur égale à 2 ou 3 fois leur puissance, se poursuivent sur 100 à 900 m de long avec un axe parallèle à la linéation locale.

---

(+) A Freiberg, il faut mettre à part la formation f-ba (à fluorine-barytine), beaucoup plus jeune et qui appartient au groupe A.

Les filons, qui coexistent toujours avec des amas si l'encaissant est calcaire, ont 0,5 à 10 m de puissance ; ils se suivent généralement sur 1 à 2 km de long et jusqu'à 500 ou 1000 m de profondeur, montrant alors dans leur paragenèse de très beaux exemples de zonalité verticale. La minéralisation y forme des "colonnes", ou zones d'enrichissement, de 100 à 300 m de longueur, dont la répartition périodique dans le plan du filon reflète celle de certaines irrégularités tectoniques, et dont l'espacement obéit à des lois statistiques valables à l'échelle du district.

#### 4 - Paragenèse

La liste est longue des minéraux métalliques présents dans ce groupe de gîtes. Citons les principaux, par ordre de fréquence décroissante :

- la blende, souvent argentifère (120 d'Ag à la tonne aux Bormettes), et généralement riche en Fe et en Cd, associée parfois à la wurtzite ;
- la galène, toujours argentifère (1 à 6 kg d'Ag à la tonne) ;
- la chalcopryrite (avec parfois des exsolutions de mackinavite) ;
- la pyrite, parfois aurifère ; il peut exister aussi un second dépôt, tardif, de pyrite, sous forme de melnicovite, associée à la marcasite ;
- le cuivre gris, généralement arsenié et argentifère (freibergite ; 1 à 14 % d'Ag) ;
- le mispickel, et parfois la löllingite ( $\text{Fe As}_2$ ) ;
- la pyrrhotine ;
- l'enargite et la luzonite ( $\text{Cu}_3\text{As}_4\text{S}_4$ ), souvent disposées en veines sécantes, dépourvues de blende ;
- la bournonite ( $2 \text{ Pb S}$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) qui peut, elle aussi, être argentifère (600 d'Ag à la tonne aux Bormettes) ;
- l'argentite et parfois l'akanthite ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ) ;
- les sulfo-antimoniures de Pb : boulangerite et jamesonite surtout ;

- les "argents rouges": pyrargyrite  $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$  et proustite  $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$  ;
- la polybasite et les "argents noirs" (pearceite, stéphanite, argyrodite) ;
- l'argent natif et l'électrum (association or-argent) ;
- la stibine, le cinabre, parfois le réalgar et l'orpiment, dans les parties hautes des filons (+) ;
- des minéraux de bismuth (bismuthinite, bismuth natif), la stannine, la scheelite, la molybdenite, parfois la cassiterite dans les parties profondes des filons ou dans les amas au contact des plutons.

La gangue comporte, par ordre de fréquence décroissante aussi :

- le quartz toujours présent, parfois à tendance améthyste, parfois calcédonieux ;
- la sidérite, généralement manganésifère, et toute une gamme de carbonates (ankerite, dolomie, calcite ; parfois dialogite) ;
- la barytine, plus rare ;
- la fluorine ;
- l'adulaire ;
- la rhodonite ;
- enfin les silicates des skarns (hedenbergite, diopside, épidote, grenat, ilvaite, actinote, fayalite, etc) et parfois la magnétite.

Une zonalité verticale remarquable apparaît dans cette paragenèse à la faveur des travaux, parfois très profonds (jusqu'à 1.000 m de profondeur à Fresnillo). C'est un cas fréquent au Mexique (San Francisco del Oro, Santa Eulalia, Santa Barbara), au Pérou (Cerro de Pasco, Casapalca), en Bolivie (Pulacayo) ; mais on l'observe aussi aux Etats-Unis (Tintic, Park City, Leadville) ; en Espagne (Carthagène), en France (les Bormettes), en Slovaquie (Banska Stiavnica), en Algérie (Kef oum Theboul). Le plomb et l'argent dominant à la partie supérieure, avec parfois or, stibine, cinabre, réalgar. En dessous, le zinc devient prédominant. Plus bas, c'est le tour du cuivre avec la pyrite et parfois la pyrrhotine, et éventuellement la scheelite, la molybdenite, la cassiterite.

---

(+) Bien que nous ne parlions pas ici des minéraux d'oxydation, parfois très abondants (mottramite et descloizite à Tsumeb par exemple) , il faut signaler la fréquence de la pyrolusite.

On rencontre parfois des sources thermales dans ces filons ; à Pulacayo par exemple, à 600 m de profondeur, on a trouvé des eaux chaudes (42 à 64° C) riches en CO<sub>2</sub>.

#### 5 - Zonalité régionale

A l'échelle du district, il existe aussi une disposition zonée des paragénèses autour des intrusions monzonitiques, ou seulement d'un centre chaud, comme c'est le cas à Butte où l'on rencontre, dans le batholite : une zone centrale cuprifère, puis une zone à zinc et plomb, et enfin une zone à carbonates manganésifères. Ce type de zonalité s'observe à Tintic et Bingham (USA), à Cerro de Pasco et Morococha (Pérou), à Kassandra (Grèce), à Yang-chia-chang-tzé (Laoning, Chine). La disposition est à peu près toujours la même : près de la monzonite domine le cuivre et le fer (pyrite, chalcoppyrite, cuivre gris, enargite, parfois pyrrhotine, magnétite), puis on passe au zinc (blende, avec chalcoppyrite, cuivre gris galène), au plomb-argent (galène, blende, tennantite, minéraux d'argent) et enfin aux carbonates manganésifères.

#### 6 - Chimisme

Bien que le rapport Zn/Pb varie d'un point à l'autre d'un même district, il reste compris pour l'ensemble des gîtes entre 0,1 (Tintic) et 8 (Matilda en Bolivie) ; les valeurs les plus fréquentes se situant entre 1 et 2 ;

La complexité chimique du groupe est frappante. On a déjà noté l'abondance relative d'argent et d'or, celle d'arsenic et d'antimoine (+), celle de manganèse. Le tellure est fréquent, parfois abondant (Pérou), et il joue le rôle de concentrateur d'or dans les filons auro-argentifères du groupe. Beaucoup d'autres éléments peuvent intervenir localement : W, Sn, Bi, Ge, Hg, etc.

#### 7 - Altération hydrothermale

C'est dans ce groupe de gisements que l'altération hydrothermale est la plus manifeste : séricitisation des microdiorites et des monzonites, propylitisation des andésites, silicification ou dolomitisation des calcaires sont des phénomènes habituels au voisinage de la minéralisation et peuvent servir de guide de prospection. C'est ainsi par exemple que fût

---

(+) A. Leutwein fait remarquer (communication orale) que l'antimoine domine sur l'arsenic dans les minéralisations de ce groupe en France (sauf les Vosges) et en Espagne, tandis qu'en Allemagne (et dans les Vosges) c'est l'arsenic qui prédomine sur l'antimoine.

découvert Tintic ; la chloritisation d'une couverture rhyolitique d'âge tertiaire a entraîné l'exécution de forages qui ont trouvé des amas minéralisés dans les calcaires paléozoïques sous jacents (Lovering, 1949).

On remarquera à ce sujet qu'à Cerro de Pasco l'alunite et le kaolin (qui indiquent un milieu acide) apparaissent autour des cassures à enargite, alors que la sericite (milieu alcalin) se développe du côté de la blende.

## 8 - Origine

Ce groupe de gîtes est évidemment le triomphe de l'hydrothermalisme classique, et l'on ne peut qu'admirer la variété des éléments métalliques mis en jeu dans les processus hydrothermaux liés au magmatisme sialosimique.

Si les gisements du groupe B ont un chimisme beaucoup plus simple, c'est probablement parce qu'ils sont en rapport avec un volcanisme de nature différente, sans doute moins contaminé et plus "proche" du manteau. Il serait intéressant à ce propos d'examiner si, d'une façon générale, le volcanisme synorogénique du groupe B ne correspond pas à une série tholeitique avec des termes calco-alcalins, alors que le volcanisme tardi-orogénique du groupe C correspondrait à une série entièrement calco-alcaline.

## 9 - Importance économique

S'ils sont beaucoup plus nombreux que ceux des deux groupes précédents, les gisements du groupe C, sont généralement plus petits.

Mis à part l'énorme corps minéralisé complexe de Cerro de Pasco (Pérou), qui contenait plus de 15 Mt de métal Pb + Zn (dont 14 Mt déjà exploités et 1,6 Mt de réserves), les amas dépassent rarement 200.000 t. à 1 Mt de métal, et les filons 50.000 t. à 200.000 t.

Le district minéralisé peut atteindre 9 Mt de métal contenu (Coeur d'Alène, Metaline), mais c'est exceptionnel. Le plus souvent, il reste inférieur à 5 Mt. (Trepça, Carthagène).

Parmi les districts hercyniens celui de Freiberg (Allemagne) a fourni près de 6 Mt de plomb (et 6.000.000 kg d'argent) (renseignement obligeamment communiqué par F. Leutwein).

Dans l'ensemble le groupe C, avec 105 gîtes examinés (dont 28 dépassent 200.000 t. de métal contenu), fournit actuellement 30 % de la production mondiale de plomb et de zinc (35 % pour le plomb et 27 % pour le zinc) ; il contient 21 % des réserves mondiales des mêmes métaux (22 % pour le plomb et 21 % pour le zinc) ; et il a fourni 34 % de la production passée de plomb et 18 % de celle de zinc. C'est donc un groupe plus plombifère que zincifère (du moins jusqu'ici) et dont l'importance économique, qui reste très grande, semble décroître (tableau I).

### III - AUTRES TYPES DE GISEMENTS

Les gisements de plomb et de zinc, qui ne font partie d'aucun des groupes précédents, ne représentent que 9 % de la production actuelle et 2 % des réserves de plomb et de zinc.

Signalons les plus importants :

#### 1 - Kupferschiefer

Les Kupferschiefer du Mansfeld (Allemagne orientale) et du SW de la Pologne (Lubin et Boleslawiec) sont essentiellement des gisements de cuivre. Mais ils produisent aussi Pb, Zn, Ag, Co et bien d'autres métaux. Il s'agit de minéralisations rigoureusement stratiformes dans le Permien supérieur lagunaire (Zechstein inf.). Le dépôt minéralisé est associé à des schistes noirs bitumineux à anhydrite, reposant sur des grès et surmontés par des calcaires marneux. Les zones les plus riches en plomb et en zinc apparaissent à la périphérie des zones riches en cuivre, et de préférence à la partie supérieure du dépôt. L'argent suit le cuivre. Il n'y a pratiquement pas d'antimoine.

Les teneurs du tout-venant du Mansfeld sont de : 2 à 3 % Cu ; 0,8 % Pb ; 1 % Zn ; et 100 à 180 g/t Ag.

#### 2 - Tsumeb (Afrique du SW), ainsi que Kipushi (Congo Kinshasa) et M'passa (Congo Brazzaville).

Ces trois gisements, que rapprochent une paragenèse riche en As et Ge (cuivre gris, énargite, germanite et renierite à Tsumeb et M'Passa ; cuivre gris, mispickel et renierite à Kipushi)) sont situés dans des dolomies précambriennes d'âge différent. La morphologie de ces gîtes

(peut-être karstique pour Toumeb) et l'absence de roche éruptive associée évoquent le groupe A, mais leur paragenèse les en distinguent.

Tsumeb a produit jusqu'ici plus d'un million de tonnes de plomb et de 500.000 t. de zinc ; les réserves sont du même ordre. Le tout-venant tient 14 % pb ; 2,5 % Zn et 50 g/t Ag.

### 3 - Bawdwin (Birmanie)

Ce gisement dont nous connaissons un frère, malheureusement bien petit, en Corse (Ghisoni), appartient à un type un peu différent des gisements du groupe B. Il apparaît comme une imprégnation pauvre en pyrite et grossièrement stratiforme le long d'une shear zone dans des tufs rhyolitiques redressés (paléozoïques à Bawdwin ; permien en Corse). Ces tufs montrent une altération hydrothermale intense (séricitisation et silicification). Le dépôt minéralisé, puissant de 20 à 30 m, présente une zonalité perpendiculaire au litage des tufs, avec concentration de Cu et Ag (avec un peu de Co) à la partie supérieure, puis une zone à Zn et Pb, et enfin Pb seul à la base. Outre le quartz et la séricite, la minéralisation est accompagnée d'adulaire et localement d'ankérite.

Bawdwin contenait 2,3 Mt de métal (dont 1,4 Mt déjà exploités). Le rapport Zn/Pb est de 0,6 à 0,7 pour Bawdwin comme pour Ghisoni.

### 4 - Le district d'Iglesias (Sardaigne)

Ce district réunit (Lauzac, 1964) :

- des filons à paragenèse relativement complexe (Ag, Bi, Co, Ni, As) et à gangue de sidérite et de quartz (Montevecchio), ainsi que quelques amas à pyrrhotine et fluorine localisés dans des marbres (Zurfuru). L'ensemble s'apparente manifestement au groupe C.

- des minéralisations grossièrement stratiformes dans les dolomies et les calcaires du Géorgien plissé, et présentant les caractères du groupe A (Monteponi), sauf la présence locale de concentrations d'argent ou de germanium avec cuivre gris et ankerite (San Giovanni).

Le même Géorgien présente en outre quelques minéralisations stratiformes moins importantes, dont les unes, à pyrite et blende, évoquent le groupe B ( Campo Pisano), et les autres semblent résiduelles et liées à une phase d'émersion anté-silurienne (Arenas).

Une telle complexité, mise en évidence par P. Zuffardi, n'est pas incompatible avec l'intérêt économique, au contraire : la variété des minéralisations en plomb-zinc d'un même district est souvent proportionnelle à l'importance de ce district (Bouladon, 1968). Celui d'Iglesias dépasse 2,5 Mt de Pb et 5 Mt de Zn, dont 1/5 encore à prendre. Le tout-venant tient en moyenne 1,5 % Pb et 5 % Zn.

#### 5 - Laurium (Grèce)

C'est un gîte assez complexe aussi, qui réunit (Leleu, 1966) :

- une minéralisation stratiforme pyriteuse du type B, interstratifiée au toit d'une diabase dans des marbres mésozoïques et dont l'importance est grande pour l'avenir de l'exploitation.

- un métamorphisme et une métallogénie de type C (avec présence d'As, Cu, Bi, Co, Ni, Ag et Au ; gangue de dialogite, ankerite, fluorine et barytine) liés à une intrusion de granodiorite tardi-orogénique.

- un dépôt tardif, essentiellement zincifère, caverneux et colloforme, dans un ensemble de cavités karstiques développées au sommet des marbres sous deux discordances, donc dans des conditions géologiques qui le rattachent au type A.

Du point de vue économique une telle convergence donne un intérêt toujours actuel à ce vieux gisement, qui a déjà produit 3 Mt de plomb et 12.000 t. d'argent. Le tout-venant actuel tient 5,5 % Pb, 6 % Zn et 0,2 % Cu.

#### 6 - Les gisements interstratifiés dans le Miocène et le Pontien de Tunisie et du Constantinois.

Ces minéralisations, d'âge très récent, sont à grain très fin (1 à 50  $\mu$ ).

Les unes, en Tunisie, sont pratiquement dépourvues de zinc. Elles imprègnent le conglomérat de base du Pontien, reposant sur des calcaires crétacés, au contact soit d'un diapyr triasique (Djalta, Dj. Semene), soit d'un important accident NE jalonnant un axe de diapyrisme (Sidi Bou Aouane). A 1 km de Sidi Bou Aouane, au J. Hallouf, on exploite en outre des cassures dans le calcaire crétacé. Puissantes de 0,5 à 3 m, longues de plus de 100 m, reconnues sur 60 m de haut, ces cassures sont cependant moins importantes que l'accident de Sidi Bou Aouane qui est minéralisé sur 500 m de long, 10 à 30 m de puissance et 150 m de profondeur ; l'ensemble de ce dispositif recèle environ 270.000 t. de plomb (dont 150.000 t. déjà exploitées). Les imprégnations dans le Pontien de Djalta et du Dj. Semene sont moins riches (moins de 100.000 t. de plomb). Les concentrés de plomb de ces différentes mines renferment tous un peu d'antimoine (1,62 % à Sidi Bou Aouane) et d'arsenic (2,95 % à Sidi Bou Aouane). Un peu de pyrite et de cuivre gris accompagnent la galène. La gangue est de calcite fine.

Une minéralisation un peu différente est celle d'Hamam n'Bails en Algérie, qui constitue par ailleurs le plus gros gîte d'antimoine d'Afrique du Nord. Il s'agit ici d'un dépôt oxydé stratiforme dans un calcaire lacustre miocène à intercalations argileuses. On compte cinq lentilles atteignant 100 à 150 m de long et 20 m de puissance, alignées sur plus de 1.500 m le long d'une faille NE d'où jaillit une source chaude (45°), chlorurée sodique et arseniée. Le minerai est terreux et essentiellement constitué de smithsonite, flageolotite (ou tripuhyte  $\text{Fe Sb}_2 \text{O}_6$ ), nadorite  $\text{Pb Sb O}_2 \text{Cl}$ , mimetèse  $\text{Pb}_5 \text{Cl (As O}_4)_3$ , avec un peu de galène, très fine (10  $\mu$ ), en dépôt alterné avec la nadorite ; la gangue est de sidérite, limonite et calcite. Des traces de cinabre ont été signalées.

Hamam n'Bails (qu'on appelle aussi J. Nador) a produit plus de 300.000 t. de "calamine" calcinée, de 40.000 t. de flageolotite et une petite quantité de nadorite et de galène.

NB - Parmi les gisements divers, que nous n'avons pas pu classer, faute de renseignements, il faudrait encore citer :

- Mexicana (Mexique), qui fait sans doute partie du groupe C et qui a produit en 1967 l'équivalent de 70.000 t. de Pb, 87.000 t. de Zn et 16.500 t. d'Ag.

- Berg Aukas (SW Africa) qui a produit en 1964 l'équivalent de 12.800 t. de Zn et 7.100 t. de Pb.

- Boquira (Brésil), qui a produit l'équivalent de 20.000 t. de Pb en 1966.

- etc.

Enfin, nous avons hésité à classer certains filons de la Meseta ibérique, et certains gisements français, (tels que Pontpéan, la Plagne et Vallauria par exemple) pour lesquels il est difficile de choisir entre les groupes A et C.

#### IV - METALLOGENIE ACTUELLE

L'examen des gisements récents du Pontien de Tunisie nous conduit à dire quelques mots des dépôts actuels de plomb et de zinc.

On connaît des encroûtements d'anglesite avec un peu de galène sur les vieux bois de mine (par ex. à Sidi Kamber, en Algérie). Mais il s'agit évidemment d'un déplacement du plomb du gisement par les eaux de mine chargées en SO<sub>4</sub>.

Plus intéressante est l'étude des boues sédimentées à proximité des volcans actuels en particulier à Santorin et aux îles Lipari. On y a constaté la présence de sulfures de fer (hydrotroïlite et pyrite), mais pas encore de zinc ni de plomb, semble-t-il. Pourtant de la galène avait été signalée dans les dépôts fumerolliens du Vésuve.

Le seul cas vraiment explicite de métallogénie actuelle du plomb et du zinc s'observe dans les saumures chaudes trouvées dans la rift vallée de la Mer Rouge et dans la région du lac Salton en Californie. Ces deux points se trouvent sur le parcours de la fameuse ride médio-océanique, à laquelle on attribue une influence déterminante dans le mécanisme de la dérive des continents. Cette ride, qui traverse l'Afrique suivant le fossé de la Mer Rouge, vient aussi buter contre le continent nord-américain au droit du golfe de Californie. Elle affleure enfin en Islande, où il serait intéressant de rechercher des saumures analogues.

La saumure du lac Salton, trouvée en 1962 par forage à 1600 m de profondeur (Skinner et alt., 1967) et à une température de 300 à 350°, contient une grande quantité de chlorures de métaux alcalins et alcalino-terreux ainsi que Mn, Pb, Zn, Cu et Ag. Elle dépose à la sortie du tubage 2 à 3 t. par mois d'une croûte siliceuse opaline contenant 20 % Cu (sous forme de bornite, digenite, chalcopryrite et chalcosine) et 6 % Ag (sous forme de stromeyerite et d'argent natif) ; la pyrite est rare dans ce dépôt, où l'on ne signale ni blende, ni galène.

Les saumures découvertes en Mer Rouge en 1964 sourdent à 2.000 m de profondeur dans deux dépressions de la vallée médiane (Miller et alt., 1966). Elles sont à une température de l'ordre de 50° C (avec un pH de 5,3 à 6,2) et contiennent 310 g. de chlorures par litre. Le plomb qu'elles renferment a la même composition isotopique que celui qui se trouve dans le Miocène d'Egypte et d'Arabie séoudite (gisements du groupe A) ; on peut donc penser que ce genre de saumures est à l'origine d'une partie au moins des gisements du groupe A, ainsi que des gîtes du Miocène de Tunisie par exemple.

Les saumures de la Mer Rouge déposent des boues noires finement litées, contenant jusqu'à 6,2 % ZnO et 0,74 % CuO, et dans lesquelles on a reconnu aux rayons X les minéraux suivants : pyrite, blende, sidérite manganésifère, anhydrite et montmorillonite, associés à de la silice amorphe et à des oxydes de fer amorphes en agrégats colloïdaux.

Ces observations prouvent que le zinc se dépose en abondance aujourd'hui en certains points des rift-valley, à partir de solutions apparemment juvéniles et proches du manteau supérieur. Le plomb, qui existe en solution dans ces saumures, y semble beaucoup moins abondant que le zinc.

#### V - PRODUCTION ACTUELLE ET RESERVES DES PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS DE PLOMB-ZINC.

Les tonnages totaux de plomb et de zinc contenus dans les minerais extraits au cours de l'année 1966 sont les suivants :

2.840.000 t. de Pb  
et 4.428.000 t. de Zn

Si l'on ne tient compte que des pays dont la production a dépassé 20.000 st. de Pb ou 20.000 st. de Zn (+), les producteurs sont par ordre d'importance décroissante.

1 - Canada : 292.000 t. de Pb et 937.600 t. de Zn provenant pour plus de 80 % de gisements du groupe B (volcanisme synorogénique) et de Sullivan. Les réserves, considérables, sont de l'ordre de 15 Mt de Pb et 35 Mt de Zn.

2 - U.S.A. : 294.600 t. de Pb et 515.300 t. de Zn provenant pour moitié de gisements du groupe A (couverture) et pour moitié de gisements du groupe C (plutonisme tardi-orogénique). Les réserves sont de l'ordre de 5 Mt. de Pb et 10 Mt. de Zn.

3 - U.R.S.S. : 369.000 t. de Pb et 418.500 t. de Zn. On ignore le détail, par mines, des productions de l'U.R.S.S., mais on sait que des gisements des trois groupes A, B et C y sont actuellement exploités. Les réserves sont inconnues.

4 - Australie : 364.700 t. de Pb et 367.700 t. de Zn provenant à 70 % du district de Broken Hill, et pour le reste de gisements du groupe B. Les réserves sont de 6 Mt de Pb et 7 Mt de Zn.

5 - Mexique : 177.300 t. de Pb et 231.100 t. de Zn provenant uniquement, semble-t-il, de gîtes du groupe C. Les réserves seraient seulement de 0,5 Mt de Pb et 0,7 Mt de Zn.

6 - Pérou : 143.600 t. de Pb et 225.800 t. de Zn provenant uniquement de gîtes du groupe C. Les réserves sont de 1,5 Mt de Pb et 3,5 Mt de Zn.

7 - Japon : 62.600 t. de Pb et 251.300 t. de Zn provenant, pour plus de la moitié du groupe B, et, pour le reste, du groupe C. Les réserves sont de 1,5 Mt de Pb et 5,3 Mt de Zn.

8 - Pologne : 50.900 t. de Pb et 188.100 t. de Zn provenant uniquement, semble-t-il, de Haute Silésie (groupe A). Les réserves sont de l'ordre de 2 Mt de Pb et 7 Mt de Zn, sans compter celles des Kupferschiefer du SW du pays.

9 - Chine : 99.000 t. de Pb et 99.000 t. de Zn provenant principalement, semble-t-il, de gîtes du groupe C. Les réserves seraient de 3 à 6 Mt de Pb et de 3 à 6 Mt de zinc. La simplicité de ces chiffres et l'étonnant parallélisme entre Pb et Zn suggèrent qu'il ne s'agit que d'un ordre de grandeur.

---

(+) d'après les statistiques du Minerals Yearbook, 1966.

10 - Yougoslavie : 105.640 t. de Pb et 86.500 t. de Zn provenant essentiellement du district de Trepça (groupe C). Les réserves sont de 1,5 Mt de Pb et 1,2 Mt de Zn.

11 - Bulgarie : 99.200 t. de Pb et 65.700 t. de Zn provenant principalement, semble-t-il, du groupe C. Les réserves sont mal connues (1 Mt de Pb et 0,7 Mt de Zn ?).

12 - Corée du Nord : 58.500 t. de Pb et 103.500 t. de Zn provenant sans doute, comme au Japon, des groupes B et C. Les réserves sont inconnues.

13 - Allemagne occidentale : 55.000 t. de Pb et 105.700 t. de Zn provenant des groupes A (Mechernich : 40 % du Pb) et B (Rammelsberg : 40 % du Pb et 45 % du Zn), ainsi que des Kupferschiefer du Mansfeld. Les réserves sont de l'ordre de 3,7 Mt de Pb et 2,5 Mt de Zn, sans compter le Mansfeld.

14 - Suède : 68.650 t. de Pb et 77.100 t. de Zn, provenant de Laisvall (groupe A) pour Pb et d'amas pyriteux (groupe B) pour Zn. Les réserves sont de 0,5 Mt de Pb et 1 Mt de Zn.

15 - Italie : 36.240 t. de Pb et 108.740 t. de Zn provenant essentiellement du groupe A. Les réserves sont de 0,5 Mt de Pb et 1,4 Mt de Zn.

16 - Maroc : 77.000 t. de Pb et 56.900 t. de Zn provenant essentiellement du groupe A, et un peu du groupe C (l'Aouam). Les réserves sont de 0,7 Mt de Pb et 0,6 Mt de Zn.

17 - Espagne - 61.900 t. de Pb et 54.600 t. de Zn provenant des groupes A (ou C ?) et B (Huelva). Les réserves sont de 0,5 Mt de Pb et 0,5 Mt de Zn.

18 - Congo Kinshasa : 1.530 t. de Pb et 113.940 t. de Zn provenant essentiellement de Kipuskí. Les réserves nous sont inconnues.

19 - Afrique du Sud Ouest : 84.370 t. de Pb et 27.000 t. de Zn provenant à 80 % de Tsumeb, et pour le reste de Berg Aukas (non classé faute de renseignements). Les réserves sont de 1,3 Mt de Pb et 0,7 Mt de Zn.

20 - Zambie : 18.610 t. de Pb et 63.090 t. de Zn provenant essentiellement de Broken Hill (groupe A). Les réserves sont de 2,1 Mt de Pb et 3,9 Mt de Zn.

21 - Argentine : 31.250 t. de Pb et 29.760 t. de Zn provenant essentiellement d'Aguilar (groupe C). Les réserves de ce gisement sont de 0,3 Mt de Pb et 0,4 Mt de Zn.

22 - Irlande : 37.870 t. de Pb et 21.600 t. de Zn provenant du district de Tynagh (avec deux exploitations : Tynagh et Mogul), qui appartient au groupe B. Les réserves sont de 1,2 Mt de Pb et 2,4 Mt de Zn.

23 - Finlande : 4.600 t. de Pb et 53.940 t. de Zn provenant essentiellement de Vihanti (amas pyriteux métamorphisé, groupe B). Les réserves sont de 0,1 Mt de Pb et 0,8 Mt de Zn.

24 - France : 23.420 t. de Pb et 23.510 t. de Zn, provenant à plus de 85 % des gisements des Cévennes (groupe A), et pour le reste de Peyrebrune (groupe C), La Plagne (non classé), etc. Les réserves sont de l'ordre de 0,5 Mt de Pb et 0,3 Mt de Zn.

25 - Roumanie : 40.700 t. de Pb (et pas de Zn ?) (+), provenant en grande partie du district de maramuresh (mine Herja), qui appartient au groupe C. Les réserves sont inconnues.

26 - Iran : 19.800 t. de Pb et 16.830 t. de Zn, provenant en majorité du groupe A (Angouran, etc) et pour une partie du groupe C. Les réserves sont de l'ordre de 1,1 Mt de Pb et 2,7 Mt de Zn.

27 - Bolivie : 19.980 t. de Pb et 16.570 t. de Zn provenant essentiellement de la mine Matilda (groupe C). Les réserves sont de l'ordre de 0,2 Mt de Pb et 0,6 Mt de Zn.

28 - Algérie : 4.170 t. de Pb et 26.730 t. de Zn provenant sans doute des groupes A et C (Aïn Barbar). Les réserves sont de l'ordre de 0,3 Mt de Pb et 0,5 Mt de Zn.

29 - Brésil : 22.230 t. de Pb et 5.220 t. de Zn provenant principalement de filons de Boquirá (non classé), et en partie des amas calaminaires de Vazante (groupe A). Les réserves sont inconnues.

---

(+) La mine Herja a pourtant produit en 1967 l'équivalent de 6.000 t. de Pb pour 15.000 t. de Zn.

30 - Birmanie : 18.000 t. de Pb et 6.280 t. de Zn, provenant essentiellement du gisement de Bawdwin (non classé). Les réserves de Bawdwin sont de l'ordre de 0,4 Mt de Pb et 0,5 Mt de Zn.

31 - Tunisie : 15.800 t. de Pb et 5.750 t. de Zn provenant essentiellement des gisements du groupe A et de ceux du Miocène (non classé). Les réserves sont de l'ordre de 0,25 Mt de Pb et 0,1 Mt de Zn.

Au total, les réserves mondiales sont actuellement de 45 à 50 Mt de Pb et de 80 à 90 Mt de Zn, soit 17 ans de production du Pb et 20 ans de production du Zn à la cadence actuelle, qui doit se maintenir inchangée pendant quelques années.

#### VI - MARCHE DU PLOMB ET DU ZINC

En effet, la consommation mondiale de plomb et de zinc a baissé en 1967, pour la première fois depuis 9 ans : de 1 % pour Pb et de 2 % pour Zn par rapport à 1966. Cette baisse est le fait des USA (grèves) et de l'Europe ; au Japon par contre la demande continue de croître.

Cependant, la production mondiale du Pb et du Zn contenus dans les minerais a augmenté en 1967 : de 1,5 % pour Pb et de 7 % pour Zn. Les prix sont restés stables : 14 cents la livre pour Pb et 14,5 cents la livre pour Zn.

On peut donc s'attendre pour les prochaines années à un excédent de production par rapport à la demande. En effet, le Canada, l'Australie, le Japon et l'Irlande augmenteront encore leur production.

On assiste ainsi pour ces deux métaux à un net changement de tendance, après l'expansion considérable qui a eu lieu de 1963 à 1966. On peut penser cependant que la demande reprendra, car aucun produit de remplacement n'est apparu ni pour le plomb (batteries, câbles sous-marins) ni pour le zinc (laiton, galvanisation).

La teneur limite exploitable est actuellement en France de 7 à 8 % Pb + Zn pour un gisement de l'ordre de 1 Mt de tout-venant (communication orale J. Bertraneu). La mine des Malines tourne à 5 % Pb + Zn, mais toute l'installation est amortie.

## VII - SELECTION DE ZONES FAVORABLES A LA RECHERCHE DU PLOMB ET DU ZINC

Les concentrations de plomb et de zinc étant extrêmement répandues, il serait sans doute plus facile de faire une sélection des zones non favorables à leur recherche.

1 - L'utilisation de la géochronologie peut rendre ici d'appréciables services (Sarcia, 1968). C'est ainsi que les socles cratonisés anciens (plus de 1.500 MA) sont défavorables à la présence de gîtes des groupes A et C, mais peuvent contenir des gîtes du groupe B, comme c'est le cas pour les amas pyriteux à Cu - Zn du Canada (les volcanites de Noranda et Matagami ont plus de 2.400 MA) et pour les stratiformes à Pb-Zn d'Australie (les formations volcano-sédimentaires de Broken Hill ont 1.800 MA). En Afrique, on n'a pas trouvé jusqu'ici de minéralisations du groupe B dans les cratons anciens (+); l'examen de la carte de T.N. Clifford (1966) montre que seuls gisements connus (moins de dix si l'on excepte l'Afrique du Nord) se situent entre les blocs anciens, dans les zones orogéniques de 600 MA (Broken Hill de Zambie, Tsumeb) ou plus récentes (Abakaliki) ; or ces gisements appartiennent aux groupes A (Broken Hill de Zambie) ou C (Tsumeb et Abakaliki), mais pas au groupe B.

Il reste donc à trouver dans le Précambrien d'Afrique, et en particulier dans les fosses "birrimiennes", des minéralisations stratiformes liées au volcanisme synorogénique. C'est à quoi s'emploie le B.R.G.M. depuis plusieurs années, en travaillant en priorité sur les zones où le volcanisme comporte des termes calco-alcalins au sein d'un ensemble tholeitique (Haute-Volta, Côte d'Ivoire).

---

(+) Il faut signaler cependant le gisement de Tessalit (Mali), interstratifié dans des formations rhyolitiques birrimiennes (comm. orale A. Blanchot).

De même en France, à la partie inférieure du Brioverien supérieur (600 MA), il existe un volcanisme rhyolitique assez mal connu qui semble avoir donné naissance à des concentrations du type amas pyriteux à Cu- Zn - Pb (Bodennec). L'Ordovicien des Pyrénées comporte des minéralisations stratiformes du type Rammelsberg (Carboire, etc.) dont la reconnaissance est en cours.

Toujours pour les gisements du groupe B, un intérêt particulier s'attache en Europe aux formations volcano-sédimentaires du Dévonien supérieur et du Viséen (Huelva, Sain Bel, Tynagh, Rammelsberg, les gisements de l'Oural, Tishinsk dans l'Altaï, etc.) ; et il semble que les minéralisations du même type en Iran (Kuchke) soient aussi dans le Dévonien. Une étude d'ensemble portant sur le volcanisme et la paléogéographie de cette période géologique en Europe, permettrait sans doute de déterminer des zones à prospecter en priorité.

2 - Une deuxième méthode, qui convient à la recherche de gisements du groupe A, consiste à déterminer dans la couverture sédimentaire des vieux socles, et de préférence dans les horizons inférieurs de cette couverture (Trias) les zones affectés de déformations permanentes (accidents profonds correspondant à la bordure de paléoreliefs toujours rajeunis, axes de diapyrisme, etc.). Cette méthode, appliquée avec succès dans le bassin méditerranéen (Afrique du Nord, Cévennes, Alpes orientales, etc) devrait conduire à la découverte de nouveaux gisements, en particulier au Canada, en Australie et dans les pays où le socle est riche en filons de type A, comme l'Espagne.

Au Canada A. Ziserman a attiré l'attention en 1966 sur la région du lac La Ronge (Saskatchewan) où l'on trouve un dispositif très semblable à celui de Pine Point, avec biseau du Dévonien calcaire en bordure d'un paléorelief vivant.

En France, le Georgien du versant sud de la Montagne Noire recèle des minéralisations de ce type, susceptibles de développement.

Dans la même optique, les minéralisations récentes de Tunisie réservent peut être encore des surprises, de même que celles des bords de la Mer Rouge (en Egypte et en Arabie séoudite en particulier).

Une méthode géochimique qui donne d'excellents résultats dans la recherche des gîtes du groupe A est le dosage systématique du Zn dans les eaux de source, à condition bien sûr que la zone d'oxydation superficielle ait entamé le halo primaire du gîte. C'est ainsi que dans le Wisconsin (Geoffroy et al, 1967), sur 56 anomalies Zn ainsi relevées en prospection stratégique, 26 coïncidaient avec des gîtes connus, et une partie des autres a conduit à des gisements nouveaux.

3 - Un troisième et excellent guide régional, commun à la recherche gisements du groupe C et à celle des porphyry-copper, consiste à déterminer dans les chaînes récentes, ou dans les chaînes anciennes peu érodées, la position des intrusions tardi-orogéniques de monzonites, quartz-diorites ou granodiorites, et des roches microgrenues ou des laves qui les accompagnent.

La carte ci-jointe, établie d'après celle de J. Cl. Serre pour le cuivre, indique de façon schématique la répartition du plutonisme métallogénique des chaînes récentes. On voit qu'il se manifeste largement dans des pays jusqu'ici peu ou pas producteurs de plomb et de zinc, comme la Turquie, l'Iran, l'Afghanistan et, à moindre degré, la Thaïlande, la Malaisie, Sumatra, Bornéo, les Célèbes, la Nouvelle Guinée et la Nouvelle-Zélande.

L'étude des régions retenues comportera d'abord la recherche, sur photo aérienne si possible, des zones d'altération hydrothermale ou de décoloration. L'examen sur le terrain des différents types d'altération et de la zonalité des paragenèses sur les indices affleurants conduira à mettre en évidence certains secteurs privilégiés, que l'on étudiera ensuite par des méthodes géochimiques ou géophysiques avant d'y placer des sondages ou des travaux miniers.

Pour les chaînes anciennes, l'existence de filons tellurés, aurifères par exemple (Australie occidentale, Victoria) suggère des possibilités en Pb-Zn-Cu-Ag.

### CONCLUSIONS PROVISOIRES

Le but de la réunion prévue étant précisément de faire, à partir de critères extra-géologiques, un classement des pays favorables à la recherche de plomb et de zinc par le Bureau, nous nous bornerons à rappeler ici quelques-uns des pays les plus intéressants sur le plan métallogénique:

- Canada (groupes A, B, B' et C) ;
- Australie (groupes A, B, B' et C) ;
- Turquie (groupes A et C) ;

- Iran (groupes A, B et C) ;
- Afghanistan ;
- Espagne ;
- Tunisie ;
- Thaïlande, Malaisie, Indonésie, etc.
- Mali (Tessalit), et peut être Niger ou Tchad (prolongement de la zone métallifère récente d'Abakaliki).

## BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme - Symposium on the geology, paragenesis and reserves of the ores of lead and zinc - 18° Int. Geol. Congress, Londres 1948.
- AUBOUIN J. et BORRELLO A.V. (1966) - Chaînes andines et chaînes alpines : regard sur la géologie de la Cordillère des Andes au parallèle de l'Argentine moyenne - Bull. SGF, 7° s., t. 8, p. 1050-1070.
- BERG G., FRIEDENSBURG F. et SOMMERLATTE H. (1950) - Blei und Zinc - Die Metallischen Rohstoffe, H. 9 Stuttgart.
- BERNARD A. et LELEU M. (1967) - A propos de la concentration résiduelle de blende et de la galène - C.R. Ac. Sc., t. 265, série D, n° 10, p. 729 - 732.
- BERNARD A. et SAMAMA J. Cl. (1968) - Première contribution à l'étude sédimentologique et géochimique du Trias ardéchois - Mém. Sciences de la Terre, t. 12, Nancy.
- BOULADON J., DONNOT M., FOURNIE L. et KLEIBER J. (1966) - Les minéralisations en plomb-zinc à Madagascar. Indices stratiformes du Kelifely - Symp. Gisements de Plomb et Zinc en Afrique, ASGA ; Ann. Mines et Geol. Tunisie, n° 23, p. 429-451.
- BOULADON J. (1968) - Un aspect de l'hérédité en métallogénie : récurrence et polymorphisme de la minéralisation dans quelques districts plombo-zincifères de Méditerranée occidentale - 23° Int. Geol. Congress, Prague 1968, vol. 7, p. 11-16.
- BURNOL L. (1968) - Contribution à l'étude des gisements de plomb et de zinc de l'Iran. Essai de classification paragénétique - Geol. Surv. Iran, Report n° 11, 113 p.
- CALLAHAN W.H. (1964) - Paleophysiographic premises for prospecting for stratabound base metal deposits in carbonate rocks - Cento Symp. Min. Geol. Turquie, sept. 1964, p. 191 - 248.
- CALLAWAY H.M. (1962) - Lead. A materials survey - US Bureau of Mines IC 8083.
- CLIFFORD T.N. (1966) - Tectono-metallogenic units and métallogenic provinces of Africa - Earth and Planetary Sciences Letters 1, Amsterdam, p. 421-434.

- CORNWALL H.R. (1966) - Nickel deposits of North America - Geol. Surv. Bull. 1223, p. 44-45.
- FONTEILLES M. (1967) - Appréciation de l'intérêt métallogénique du volcanisme de Madagascar à partir de ses caractères pétrologiques - Bull. BRGM 1967, n° 1, p. 121-154.
- de GEOFFROY J. et alt. (1967) - Geochemical coverage by spring sampling method in the Southwest Wisconsin zinc area - Econ. Geol., vol. 62, n° 5, p. 679-697.
- HEWETT D.F. et RADTKE A. (1967) - Silver bearing black calcite in western mining districts - Econ. Geol., vol. 62, n° 1, p. 1-21.
- HEWETT D.F. (1963) - Manganese is a clue - Mining World, juillet 1963, p. 26-28.
- KERSCHAGL R. (1961) - Silber - Die Metallischen Rohstoffe, Bd. 13 Stuttgart.
- KINKEL A. (1966) - Massive pyritic deposits related to volcanism and possible methods of emplacement - Econ. Geol. vol. 61, p. 673-694.
- LAFFITTE R. et ROUVEYROL P. (1964) - Carte minière du globe sur fond tectonique - Annales des Mines, déc. 1964.
- LANCELOT J., SARAZIN G. et ALLEGRE C. (1968) - Etudes de la composition isotopique en soufre et en plomb des galènes stratiformes. Conséquences géologiques et géophysiques - Earth and Planetary Sciences Letters, Amsterdam (à paraître).
- LAUZAC F. (1964) - Sur l'existence de cinq formations métallifères dans le district plombo-zincifère du Sud-Ouest de la Sardaigne - CR Ac. Sc., t. 258, p. 2363-2365.
- LELEU M. (1966) - Les gisements plombo-zincifères du Laurium (Grèce) - Sci. Terre, Nancy, t. XI, n° 3, p. 293-343.
- LOVERING T.S. (1949) - Rock alteration as a guide to ore. East Tintic district, Utah - Econ. Geol. Monograph 1.
- MILLER A.R. et alt. (1966) - Hot brines and recent iron deposits in deeps of the Red Sea - Geoch. et Cosmoch. Acta, vol. 30, n° 3, p. 341-360.

- PELISSONNIER H. (1959) - Un contrôle géologique très général des grands gisements stratiformes de plomb, zinc, cuivre : la structure "paléoinsulaire" - CR Ac. Sc. t. 248, p. 1691-1694.
- PELISSONNIER H. (1965) - Sur la genèse des gîtes stratiformes de plomb-zinc de Haute-Silésie - Bull. Ac. Polonaise des Sc., série géol. et géogr., vol. 13, n° 2, p. 127-133.
- PELISSONNIER H. (1967) - Analyse paléohydrogéologique des gisements stratiformes de plomb, zinc, baryte, fluorine du type Mississippi Valley - Econ. Geol. Monograph. 3, p. 234-252.
- RAGUIN E. (1956) - Sur la géochimie des gisements métallifères - Verhandl. Kon. Nederlandsch. Geol. Mijnbouwk. Genootschap, Deel XVI.
- RAGUIN E. (1961) - Géologie des gîtes minéraux - Masson, Paris.
- ROUTHIER P. (1963) - Les gisements métallifères - Masson, Paris, 2 t.
- ROUVIER H. (1967) - Sulfures et régime hydrodynamique du milieu de sédimentation. Exemple tunisien : le minerai de plomb du Koudiat Safra - Mineralium Deposita, t. 2, p. 38-43.
- SANGSTER D.F. (1967) - Geochemistry of lead and zinc deposits in carbonate rocks - Geol. Surv. Canada, Ottawa, paper n° 67-1, part. A, p. 212-213.
- SAMAMA J.C. (1968) - Contrôle et modèle génétique de minéralisations en galène de type "red beds". Gisement de Largentière (Ardèche) - Mineralium Deposita, t. 3, p. 261-271.
- SARCIA J.A. (1968) - Répartition spatio-temporelle des gisements de substances usuelles et nobles dans les aires précambriennes d'Afrique, d'Amérique du Nord et d'Australie - Chron. Mines Rech. Min., n° 374, p. 171-182.
- SCHNEIDERHOHN H. (1955) - Erzlagerstätten - Gustav Fischer, Stuttgart.
- SKINNER J.B. et alt. (1967) - Sulfides associated with the Saltan Sea geothermal brine - Econ. Geol., vol. 62, n° 3, p. 316-329.
- STANTON R.L. (1960) - General features of the conformable "pyritic" orebodies - Can. Min. and Met. Bull., vol. 53, n° 573, p. 24-29.
- STANTON R.L. (1966) - Composition of stratiform ores as evidence of deposition-al processes - Inst. Min. Metal., Londres, Trans. vol. 75, Bull. 711, p. B 75 - 84.

WEBER F.H. Jr. (1966) - Silver deposits of the Calico district - Mines Inform. Serv., San Francisco, mai 1966 à février 1967, vol. 19 n° 5 et vol. 20 n° 1 et 2.

INEDITS

MOUSSU, R. (1968) - Eléments de gîtologie prévisionnelle pour la recherche des gisements d'étain dans le monde - Rapport B.R.G.M. 68 SGL 188 GIT.

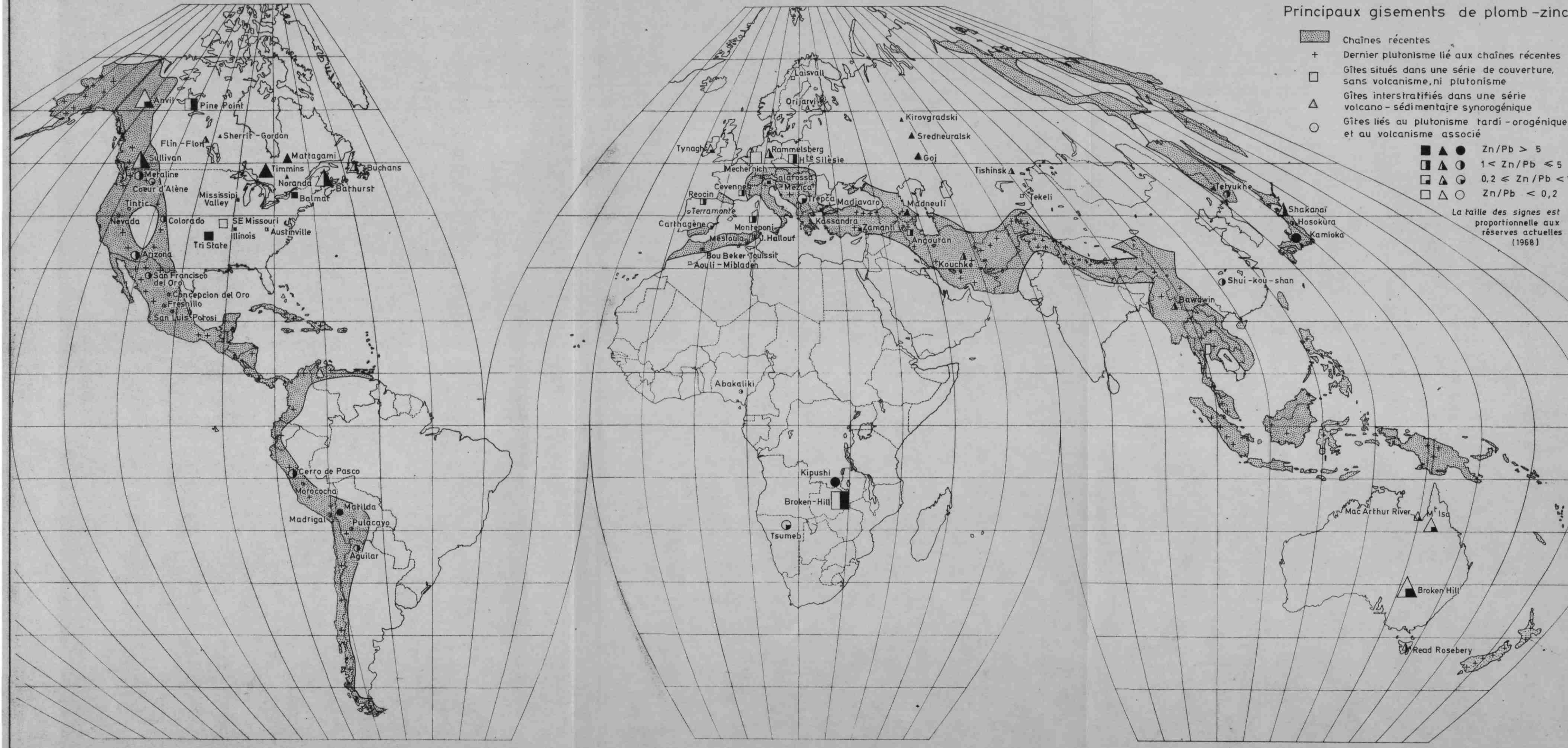
POUIT, G. (1968) - Eléments de gîtologie prévisionnelle pour la recherche minière en Australie - Rapport B.R.G.M. 68 SGL 158 GIT.

SERRE, J.C. (1968) - Eléments de gîtologie prévisionnelle pour la recherche de gisements de cuivre et de molybdène dans le monde - Rapport B.R.G.M. 68 SGL 70 GIT.

VINCENT, P.C. (1968) - Eléments de gîtologie prévisionnelle pour la recherche minière en Turquie - Rapport B.R.G.M. 68 SGL 152 GIT.

ZISERMAN A. (1966) - Note sur la possibilité de l'existence de gisements stratiformes de plomb-zinc, barytine et fluorine dans la couverture sédimentaire de la région située entre Flin Flon et la Ronge (Saskatchewan, Canada) - Inédit B.R.G.M., avril 1966.

# Principaux gisements de plomb-zinc



## A N N E X E 1

### COMPLEMENTS RESUMANT LES APPORTS DES PARTICIPANTS ET DONNANT LES CONCLUSIONS DE LA REUNION DU 14 FEVRIER 1969

---

#### GENERALITES

M. ROUTHIER fait remarquer l'importance économique équivalente des trois grands groupes A, B et C. Ce dernier comporte un bien plus grand nombre de gîtes (surtout filoniens), mais de faible tonnage métal, et pour beaucoup en voie d'épuisement. Le groupe B par contre est en plein développement.

M. BERTRANEU ne pense pas que le groupe C soit celui du passé. Les groupes A et B ont bénéficié, ces dernières années, d'un intense effort de recherche, qui a porté ses fruits. Le groupe C peut comporter, à profondeur accessible, des minéralisations disséminées (stockwerk ou amas), à faible teneur, mais argentifère, négligées par les anciens et présentant aujourd'hui un intérêt économique.

M. PELISSONNIER insiste sur l'abandon dans lequel sont laissées encore aujourd'hui les minéralisations disséminées du groupe C (en Amérique du Sud, par exemple).

M. LEUTWEIN souligne que les méthodes modernes d'enrichissement du minerai rendront exploitables un jour les grandes réserves de minerai à basse teneur qui ont été inventoriées dans les groupes A et B : par exemple les minéralisations du détroit poitevin, celles (à 0,1 % Pb ) du Keuper allemand, ou encore les minéralisations oxydées à plumbojarosite (traitables par lixiviation).

M. LEUTWEIN demande par quel chiffre seraient multipliées les réserves si l'on abaissait la teneur limite de 7 % Pb + Zn à 2 % Pb + Zn par exemple.

M. PROUHET répond que cela dépend du type de gisement. Pour Touissit (groupe A) où il n'y a pas continuité entre les basses teneurs et les teneurs géochimiques, on multiplierait les réserves par 2 ou 3 seulement ; pour l'Hospice de France (groupe B) on les multiplierait par 4 ou 5 sans doute.

M. BERTRANEU insiste sur la nécessité pour le géologue minier de s'intéresser aux problèmes de valorisation des minerais. C'est lui qui doit suggérer au spécialiste de VDM de chercher à traiter tel ou tel type de minerai pauvre, et orienter ensuite sa prospection suivant la réponse reçue. M. BERTRANEU cite l'exemple de la mise en route de l'exploitation de Mechernich (à 2 % Pb + Zn) il y a 15 ans (par broyage ménagé et sink and float), contraire à tout ce que l'on faisait à l'époque.

°  
° °

M. BLANCHOT remarque que la recherche du plomb-zinc est pour nous moins urgente que celle du cuivre par exemple (la France manque plus de cuivre que de plomb-zinc, et le cours du cuivre est le triple de celui du plomb). Comme le coût de la recherche dans un pays donné est le même pour ces trois substances, il semble indiqué de ne faire de la recherche de Pb-Zn comme objectif principal que dans les pays où la recherche est bon marché (ce qui excluerait l'Australie par exemple), ceci étant dit en dehors de toutes considérations géologiques.

°  
° °

## EUROPE

M. PELISSONNIER pense que la stratégie de la recherche du Pb-Zn à l'échelle planétaire doit se fonder sur l'examen des provinces métallogéniques plutôt que sur celui des types de gisements. Il faut trouver de nouvelles provinces, ce qui semble bien ardu, soit se placer dans les trous des provinces riches. Dans cette optique, M. PELISSONNIER souligne l'intérêt de deux provinces européennes au sens large.

- la province Espagne - Sardaigne - Afrique du Nord sur laquelle il reste encore beaucoup à faire (en particulier en Espagne) ;

- la province Allemagne - Pologne, qui est pratiquement hors de notre portée.

M. BERTRANEU estime aussi qu'il reste beaucoup à faire en Espagne. Des filons comme le Centenillo et le Soldado (district Linarès-La Carolina), qui ont donné chacun 1 Mt de métal ne sont certainement pas isolés. Des structures filoniennes importantes restent à explorer à la traversée d'horizons mécaniquement favorables (le filon de Centenillo ne s'ouvrait qu'à 30 m de profondeur) ; et Penarroya s'y emploie dans son domaine minier. De même, il doit exister des possibilités de type Rœocin (groupe A) dans le Crétacé. Mais le Bureau ne pourra intervenir en Espagne qu'en association avec des sociétés privées (Penarroya, CRAM), ou avec l'institut national ADARO.

M. MORER indique que l'Afrique du Nord ne se prête guère en ce moment à des recherches sur budget propre BRGM.

M. ROUTHIER demande ce qui se fait en Grèce. A-t-on retrouvé par exemple en Grèce du Nord le prolongement des champs filoniens exploités en Bulgarie dans le massif du Rhodope (ces filons recoupent aussi la couverture oligocène)?

M. BERTRANEU répond que la Bulgarie a là d'assez grosses réserves à 2,5 - 4 % Pb + Zn, en filons minces et profonds, non exploitables en régime capitaliste. La Grèce du Nord présente des minéralisations plus variées et probablement plus intéressantes, liées au même plutonisme tardi-orogénique d'âge miocène.

M. GAUTSCH donne quelques précisions sur ces minéralisations et insiste sur le fait que la Grèce semble aussi intéressante pour le cuivre que pour le plomb-zinc.

En ce qui concerne la Turquie, pays dans lequel les minéralisations en plomb-zinc sont particulièrement prometteuses, on peut se reporter au rapport de P.C. VINCENT (octobre 1968) qui concluait à l'intérêt :

- du district de Balya (groupe C), proche de la Méditerranée (30 km), et en relation avec le volcanisme tertiaire (nombreuses analogies avec le district de Trepça, en Yougoslavie) ;
- des minerais stratiformes dans l'Oligo-Miocène, du type de Bey-Dag.

M. DUDAN donne quelques précisions sur les minéralisations des calcaires paléozoïques du Zamanti et de Bolkardag (groupe A). On a exploité à Bolkardag 500.000 t. de minerai de remplissage de karst, tenant 8 à 9 % Pb + Zn, 1 à 2 kg d'Ag et 5 à 6 g. D'Au à la tonne.

M. BAUCHAU dit quelques mots de la Suède où Boliden tient en réserves de gros gisements dans la région de Laisvall.

°  
° °

## AFRIQUE

M. ROUTHIER s'étonne que le bouclier africain soit si pauvre en plomb-zinc au N de l'équateur.

M. BOULADON donne quelques précisions sur les minéralisations du Miocène et de l'Oligocène en Egypte et en Arabie séoudite.

M. MORER précise que des recherches (avec prospection géochimique) ont été faites sans succès au Cameroun sur la Benoué, dans le prolongement de la zone fracturée d'Abakaliki.

M. SCOLARI souligne l'échec de la mission soviétique au Niari. Les recherches se poursuivront sans doute à M'Passa (Congo Brazzaville).

D'autre part, l'Anglo American travaille dans le S de l'Angola, et Penarroja dans la région de Tsumeb.

°  
° °

AMERIQUE

M. ROUTHIER insiste sur l'intérêt des minéralisations de groupe A dans les calcaires paléozoïques du pourtour de la baie d'Hudson (Elsemir County) au Canada. Il rejoint le point de vue de A. ZISERMAN sur le Saskatchewan.

Le Canada présente aussi de grosses possibilités en amas pyriteux (groupe B), et M. MORER cite à ce propos nos recherches en cours sur "Bearn-Berry-Castagnier".

M. ROUTHIER donne quelques précisions sur les gîtes calaminaires de Vazante (Brésil), et sur l'extension de la formation Bambui (de Belo Horizonte à Brasilia), dont les possibilités zincifères sont considérables.

M. MORER indique que Penarroya travaille déjà sur la formation Bambui. Nous ne pouvons pas nous intéresser à ce problème, faute de crédits.

°  
° °

AUSTRALIE

M. ROUTHIER insiste sur l'intérêt de la prospection des dolomies infra-cambriennes sur discordance en particulier, dans l'arc Adelaïde - Port Darwin.

A ce propos, il s'étonne de voir Broken Hill rapproché du groupe B. La minéralisation, à plomb dominant, est interstratifiée dans des quartzites qui semblent être d'anciens grès fins, sans volcanisme associé.

M. BOULADON répond qu'il y a aussi, dans la série, des amphibolites, des formations ferrifères rubanées, etc. D'autre part, on est ici sur le prolongement et l'équivalent métamorphique de la série de Mount Isa, où la présence de tufs volcaniques est prouvée ; le rapport  $Zn/Pb = 0,8$  est d'ailleurs le même dans les deux gîtes.

M. ROUTHIER se souvient fort bien que la minéralisation de Mt Isa est dans des dolomies litées, et non dans des grès. Les guides géologiques ne sont pas les mêmes pour les deux gisements. Quant aux prétendus tufs de Mount Isa ce sont surtout, semble-t-il, des albitites.

M. RAGUIN dit que de toutes façons ce genre de tufs, minces et difficilement reconnaissables, est un mauvais guide géologique.

M. LEUTWEIN indique qu'à Rammelsberg aussi les tufs sont difficiles à reconnaître. Néanmoins la liaison de la minéralisation avec le volcanisme n'est plus discutée.

°  
° °

#### OCEANS

M. ROUTHIER demande s'il ne serait pas possible d'orienter les recherches du CNEXO sur le problème des saumures et des boues zincifères du type Mer Rouge.

M. LAMBERT répond que le CNEXO avait songé (par Mineramer) à faire quelque chose en Mer Rouge, mais qu'il a renoncé parce que nous n'avons pas en France de bateau convenant à ce genre d'étude, et que le problème de la Mer Rouge est déjà solidement aux mains des Américains et des Allemands.

M. SCOLARI pense qu'il faut être aux aguets des possibilités de recherche en ce domaine, et que nous serons toujours bien accueillis si nous faisons au CNEXO des propositions concrètes basées sur une documentation précise (par exemple sur le problème de l'Islande).

°  
° °

## CONCLUSIONS

Reprenant en partie les subdivisions établies pour le cuivre, on peut classer les pays favorables à la recherche du plomb et du zinc en deux catégories :

1) les pays d'intérêt métallogénique certain, de conditions politiques, législation minière et économie favorables. Ce sont les mêmes que pour le cuivre et le nickel, c'est-à-dire :

- le Canada, avec deux centres d'intérêt bien différents :
  - Canada Est (bouclier et Appalaches) où l'on cherche essentiellement des minéralisations des groupes A et B ;
  - Canada Ouest (Colombie britannique) où l'on cherche des minéralisations des groupes B' et C.

- l'Australie. L'arc Adelaïde - Port Darwin a déjà été retenu lors de la réunion sur l'Australie (G. Pouit, 1968), ainsi qu'une étude systématique de la base du Crétacé. Les minéralisations espérées appartiennent essentiellement aux groupes A, B et B'.

2) les pays relativement intéressants et qui doivent être suivis en permanence et éventuellement passer dans la catégorie 1. Par ordre d'intérêt décroissant ce sont :

- la Turquie (même catégorie que pour le cuivre) ;
- l'Espagne ;
- l'Iran (même catégorie que pour le cuivre) ;
- la Grèce (devrait être dans cette même catégorie pour le cuivre) ;
- le Pérou (même catégorie que pour le cuivre).

Il faut souligner la nécessité pour le Bureau d'avoir dans chacun des pays prioritaires (Canada, Australie et bientôt Turquie) un géologue "penseur" chargé d'éclairer et d'orienter la recherche en fonction de critères géologiques, et débarrassé des soucis de gestion. Nécessité aussi de tisser des relations personnelles suivies entre les promoteurs et les géologues d'une part, le responsable et le "penseur" de chaque pays d'autre part.

## A N N E X E 2

### NOTE SUR L'ARGENT

Alors que le marché et les cours du plomb et du zinc sont relativement stables, ceux de l'argent sont en constant déséquilibre depuis plusieurs années. En effet, la demande dépasse largement l'offre, par suite de l'expansion de l'industrie photographique, du développement des usages industriels (électronique, soudures, etc) et, actuellement, d'une intense spéculation sur les monnaies. La consommation mondiale d'argent a atteint, en 1965, un record de 22.444 t., alors que la production cette année là n'était que de 7.905 t. En 1967, la consommation a été de 13.480 t. (dont 2.630 t. sous forme de monnaies), pour une production de 8.060 t. seulement ; on estime qu'à la fin de 1967, les thésauriseurs possédaient de 4.600 à 9.300 t. d'argent.

Dans ces conditions, le cours de l'argent continue à monter, mais de façon très irrégulière (à Londres en 1967 le plus haut cours a été le double du plus bas). Le Trésor américain, qui vendait encore en 1967 l'argent aux utilisateurs au cours monétaire de 129,3 cents l'once, a dû y renoncer et passer au cours international, qui est de 250 cents l'once.

A ce cours là, beaucoup de gisements à basse teneur devraient devenir exploitables.

Mais en fait, dans ses gisements, l'argent est toujours associé à d'autres métaux dont il est en quelque sorte solidaire : surtout le plomb, le zinc et le cuivre, mais aussi l'or, le cobalt, et même l'étain. Élément chalcophile, il accompagne en effet les autres chalcophiles, ainsi que les sidérophiles à concentration endogène (Raguin, 1956). C'est la raison pour laquelle la production d'argent manque de souplesse et ne peut s'adapter rapidement à la demande.

En 1953, l'argent produit dans le monde provenait (in Kerschagl, 1961) :

- pour 45 % de gisements de plomb-zinc (et Pb-Zn-Cu) ;
- pour 18 % de gisements de cuivre (et Cu-Ni) ;
- pour 15 % de gisements d'or (avec Cu) ;
- pour 2 % de gisements d'étain ;
- et pour 20 % de gisements d'argent proprement dit (avec Co).

Actuellement (1967) au Canada la production d'argent provient pour 80 % des gisements de métaux de base (Cu, Zn et Pb), pour 16 % des gisements d'argent (et Ag-Co), et pour 4 % des filons aurifères.

Aux Etats-Unis la situation est très comparable. Si, à titre d'exemple, nous prenons les dix sept premiers producteurs d'argent des USA en 1966, nous trouvons successivement (d'après le Minerals Yearbook) :

- quatre gisements dits "d'argent" (dont les deux plus gros producteurs : Sunshine et Galena), qui appartiennent tous quatre, en réalité, au district plombo-zincifère de Coeur d'Alène (Idaho) ;
- sept gisements de plomb-zinc (dont deux avec cuivre) ; trois appartiennent au même district de Coeur d'Alène (Idaho), et trois au district de Salt Lake City (Utah) ;
- deux gisements de cuivre et un de zinc, tous trois du district de Butte (Montana) ;
- deux gisements de cuivre de l'Arizona et un de cuivre-plomb-zinc du Colorado (district de San Juan).

On constate que ni les gisements d'argent proprement dit (et Ag-Co), ni les filons aurifères (les filons de Comstock Lode et de Tonopah, dans le Nevada, sont pratiquement épuisés) ne sont représentés dans cette liste, qui ne comporte en fait que des gisements de notre groupe C.

Les principaux groupes de gisements producteurs d'argent sont, par ordre d'importance décroissante :

1 - Les amas sulfurés (à Cu, Zn, Pb) liés au volcanisme synorogénique. Ce groupe de gisements, que nous avons décrit à propos du plomb-zinc (groupe B), avait été distingué aussi à propos du cuivre (type I de J. J. Cl. Serre, 1968) ; il réunit, en fait, les types 1 et 2 de H. Pelissonnier.

Il réccèle 41 % des réserves mondiales de zinc, 27 % de celles de plomb, plus de 10 % de celles de cuivre et plus de 50 % de celles d'argent. Si l'on y joint le sous-groupe B' (Broken Hill australien, Sullivan, Anvil, etc.) ces chiffres deviennent : 54 % pour le zinc, 51 % pour le plomb et 67 % pour l'argent. L'ensemble est incontestablement pour l'avenir le plus solide fournisseur d'argent, car ses gisements ne montrent pas comme ceux du groupe C une baisse systématique de la teneur en argent quand la profondeur d'exploitation augmente (mis à part un léger enrichissement de la zone d'oxydation).

Les teneurs en argent des minerais correspondants varient généralement de 80 à 250 g à la tonne. Elles sont particulièrement faibles à Flin Flon (28 g), Sullivan (30 g.) et dans le district d'Anvil (30 à 35 g) au Canada. En Irlande, des teneurs du même ordre sont celles du minerai de plomb-zinc de Mogul (27 g) et du minerai de cuivre (et mercure) de Gortdrum (31 g). En Iran, à Kuchke, le tout-venant tient 24 g d'argent seulement. Mais ces basses teneurs sont des exceptions : le minerai de Rammelsberg tient 160 g, celui de Mount Isa 150 g, celui du district de Shakanai (Japon) 200 g, celui de Noranda 150 à 250 g, celui de Broken Hill 100 à 250 g, etc. En Suède, le district de Boliden (essentiellement Cu, Au et Ag) donne un tout-venant qui tient de 50 à 220 g d'argent à la tonne. D'une façon générale dans les gîtes de ce groupe, l'argent accompagne la chalcoppyrite autant que la galène.

2 - Les gîtes (à Cu, Zn, Pb, Ag) liés au plutonisme tardi-orogénique et au volcanisme associé. C'est notre groupe C du plomb-zinc ; c'est, pour le cuivre le groupe III de J. Cl. Serre, qui réunit les types 5, 6, 7, 8 et 9 de H. Pelissonnier.

Groupant des filons, des amas dans les calcaires et, pour le cuivre, des minéralisations disséminées (porphyry-copper) ; il réccèle 21 % de réserves mondiales de plomb et de zinc, 56 % de celles de cuivre et environ 30 % de celles d'argent.

Les teneurs en argent des minerais de ce groupe sont généralement très fortes dans les zones d'oxydation et de cémentation ; une première baisse de teneur, assez brutale, se produit à l'entrée dans le protore ; et ensuite, à mesure que l'exploitation progresse en profondeur, la zonalité verticale dont nous avons parlé entraîne une diminution progressive de la teneur en argent. C'est ainsi que les teneurs du tout-venant atteignent 1.500 g à la tonne pour les filons vierges ou dont l'exploitation est très peu avancée (inutile de dire que ce cas est de plus en plus rare aujourd'hui ; citons : Keno au Canada). Dans le protore ensuite les teneurs varient progressivement de 250 g à 150 g (Coeur d'Alène aux Etats-Unis ; Conception del Orà, Santa Eulalia au Mexique ; Casapalca, Atacocha au Pérou, etc.), puis à 80 g (Cerro de Pasco) et même 50 g à la t. (Leadville), à mesure que l'on s'approfondit.

Une place à part doit être faite dans ce groupe à trois types de gisements particulièrement importants pour l'argent :

- les filons auro-argentifères (à quartz aurifère, tellurures et sulfures), en relation immédiate avec des plutons tardi-orogéniques (souvent monzonitiques) ou avec les roches volcaniques ou subvolcaniques qui leur sont associées. Ces filons, jadis fabuleusement riches, sont presque tous considérés comme épuisés aujourd'hui, aussi bien dans les chaînes récentes, où ils étaient les plus nombreux (Mexique, Chili, Transylvanie, etc.), que dans les chaînes anciennes. Cependant la hausse du cours de l'argent a entraîné récemment la réouverture de certains d'entre eux, en particulier au Mexique (Pachuca, Real del Monte, Dulces Nombres) ;

- les filons stannifères de type bolivien (type 9 de R. Moussu, 1968), liés à des stocks volcaniques tardi-orogéniques, et caractérisés par un télescopage extrêmement rapide des paragénèses, plutôt que par une véritable zonalité verticale. C'est ainsi que le cuivre gris et les minéraux d'argent se développent de préférence quand les filons sortent de la roche éruptive. Les concentrés d'étain de Bolivie contiennent en moyenne 300 g d'argent à la tonne ;

- les filons épithermaux à Mn et Ag. Très répandus dans le SW des Etats Unis et le N du Mexique, ces filons comportent en surface un remplissage apparemment peu intéressant du point de vue économique : carbonates plus ou moins manganésifères (calcite noire par exemple), oxydes de manganèse, jaspe rouge, barytine et fluorine, avec parfois un peu d'adulaire dans la roche volcanique encaissante. Mais l'étude de la calcite noire y a révélé localement des teneurs de 1 % Ag (essentiellement sous forme de manganates d'Ag avec un peu de Zn, Pb, W et même As et Sb ; Hewett et Radtke, 1967). Et une prospection détaillée a montré l'existence de cérargyrite Ag Cl, ou d'embolite Ag (Cl, Br), en quantités parfois si importantes qu'elles justifient une exploitation (Weber, 1967). Tel est le cas du gisement de Calico (Californie) qui va être mis en exploitation par l'ASARCO à la cadence de 7.000 tonnes/jour de tout-venant (39 à 100 g. d'Ag à la tonne, la barytine étant récupérée comme sous produit).

Parmi les 200 filons de ce type inventoriés aux Etats-Unis et au Mexique, on peut, d'autre part, espérer en trouver qui donneront en profondeur, peut être à 500 ou 800 m, des minéralisations valables en or, argent, plomb, zinc et cuivre (Hewett, 1963).

3 - les filons cobalto-argentifères, qui se rencontrent généralement dans des roches basiques (ou ultrabasiques) ou à proximité immédiate, et ne montrent pas de liaison nette avec un pluton granitique. Ce dernier caractère nous empêche de ranger ces filons dans le groupe C, bien que la paragenèse en soit riche en arsenic (arseniures de Co, Ni et Fe), la gangue carbonatée (calcite, dolomie), et qu'on y trouve aussi Bi, Cu, Zn, Pb et même parfois Hg (Cobalt).

Les exemples les plus connus sont les filons de Cobalt (Ontario) qui recoupent un sill de diabase précambrien, et ceux de Bou-Azzer (Maroc), qui recoupent ou côtoient des serpentines précambriennes. Le tout-venant actuellement exploité à Cobalt (Silver Fields Mining Corp.), à raison de 3.000 t/mois, tient 1.400 g. d'argent à la tonne (comm. orale de G. Troly). La production totale du district était, en 1937, de l'ordre de 14.300 t. d'argent métal, ce qui en faisait le quatrième district argentifère du monde, après Potosi (Bolivie), Zacatecas et Guanajuato (Mexique).

A Bou-Azzer l'argent est beaucoup moins abondant, et étroitement localisé au contact de la diorite quartzique, soit qu'elle forme l'éponte d'un filon situé au contact de la serpentine, soit que celui-ci, quittant la serpentine, pénètre en pleine diorite. Dans ce cas, les teneurs en argent du concentré de cobalt (à 10-12 % Co) atteignent 500 à 700 g à la tonne, alors que le concentré moyen du gisement contient seulement 10 à 30 g d'argent à la tonne.

NB - Nous ne dirons rien ici des filons d'argent natif avec zéolites et calcite, dont les représentants les plus connus, Kongsberg (Norvège) et Sankt Andreasberg (Harz), sont aujourd'hui épuisés.

4 - les Kupferschiefer d'Allemagne orientale (Mansfeld) et de Pologne. Nous avons dit que le tout-venant du Mansfeld tient 100 à 180 d'Ag à la tonne, pour 2 à 3 % Cu, 0,8 % Pb et 1 % Zn ; ce district fournit actuellement plus de 100.000 kg d'argent par an.

5 - les placers aurifères, et les conglomérats aurifères du Rand. L'or natif filonien est toujours argentifère et son titre varie de 0,850 à 0,500 suivant les gisements (Raguin, 1961). Au cours des processus d'altération et de transport dans les alluvions, le titre de l'or tend à augmenter. L'or des conglomérats aurifères du Rand, en Afrique du Sud, contient 8 à 9 % Ag (et 3 % Cu) ; récupéré à la raffinerie de Gemiston ; l'argent du Rand représente environ 100.000 kgs par an.

6 - enfin, les gîtes de Pb-Zn du groupe A (de couverture) méritent d'être nommés en ce qui concerne l'argent. Certains d'entre eux, interstratifiés dans les grès, atteignent des teneurs de 50 à 60 g/t (par exemple Largentière, dans les Cévennes). Mais dans la plupart des gisements du groupe, les teneurs du tout-venant sont de l'ordre de 10 à 20 g. à la t. Néanmoins, le tonnage de tout-venant étant souvent considérable, ces gîtes fournissent un appoint non négligeable à la production mondiale d'argent : sur une production passée de 120.000 t. d'argent provenant des gisements de plomb-zinc, 3,7 % viennent du groupe A, contre 21 % pour le groupe B et 64 % pour le groupe C.

#### Production actuelle et réserves des principaux pays producteurs d'argent

La production mondiale d'argent a été en 1966 de 7.846.000 kgs.

Si l'on ne tient compte que des pays dont la production a dépassé 1.000.000 onces (c'est-à-dire 31.000 kgs), les producteurs sont les suivants, par ordre d'importance décroissante (d'après Minerals Yearbook, 1966) :

1 - USA : 1.354.000 kgs (production tombée à 930.000 kgs en 1967 par suite de grèves prolongées dans les mines de cuivre), provenant essentiellement des gisements de Pb-Zn-Cu-Ag et Au du groupe C (lié au plutonisme tardi-orogénique) : districts de Coeur d'Alène, Salt Lake City (Utah), Butte (Montana), San Juan (Colorado), Metaline (Washington), etc. Les réserves sont de l'ordre de 7 à 8.000 t. (dont 2.100 t. à Coeur d'Alène), alors que la production totale des Etats-Unis depuis l'origine dépasse 70.000 t.

2 - Mexique : 1.301.000 kgs (le Mexique prendra la première place en 1967 avec 1.240.000 kgs), provenant aussi de gisements de Pb, Zn, Cu, Ag et Au du groupe C : Mexicana, San Francisco del Oro, Plomosas, Santa Barbara et Naïca (Chihuahua), Charcos (San Luis Potosi), Fresnillo (Zacatecas), etc. Plusieurs anciennes mines sont actuellement rouvertes à cause des hauts cours de l'argent. Les réserves sont au moins de 5.000 t., probablement de beaucoup plus.

3 - Canada : 1.032.000 kgs (le Canada prendra la deuxième place en 1967 avec 1.147.000 kgs), provenant en grande partie des gisements pyriteux à Cu, Zn, Pb du groupe B (lié au volcanisme synorogénique) : Timmins (Ontario), Flin-Flon (Manitoba), Bathurst (Nouveau Brunswick), Noranda (Québec), etc ; ainsi que de Sullivan (Colombie britannique), que nous rattachons au groupe B'. Il faut citer, d'autre part, le gîte de Cobalt (Ontario) qui fournit 50.000 kgs par an et enfin quelques filons auro-argentifères (groupe C). On trouve même de l'argent dans le minerai de Ni-Cu de Sudbury.

Les réserves sont de l'ordre de 26.000 t. d'argent métal, situées principalement à Timmins (9.300 t.), dans le Nouveau Brunswick (8.400 t.), dans le district d'Anvil (Territoire du Yukon) et à Sullivan.

4 - Pérou : 1.017.000 kgs (production passée à 1.116.000 kgs en 1967), provenant comme au Mexique, de gisements du groupe C à Pb, Zn, Cu, Ag et Au : Cerro de Pasco, Casapalca, Huaron, Atacocha, etc. Les réserves dépassent 5.000 t. (dont 2.300 t. à Cerro de Pasco).

5 - U.R.S.S. : 837.000 kgs, provenant surtout d'amas pyriteux à Cu-Zn du groupe B (Tishinsk dans l'Altaï, les gisements de l'Oural, etc.) et de gîtes du groupe C comme Tetyukhe (Sikhota Alin).

6 - Australie : 566.700 kgs (production passée à 682.000 kgs en 1967), provenant de gisements du groupe B (Mt Isa, Read Rosebery) et surtout de Broken Hill, que nous rattachons au groupe B'. Les réserves sont de 7.600 t. (dont 4.800 t. à Mount Isa et 2.200 t. à Broken Hill).

7 - Bolivie : 158.700 kgs, provenant du district stannifère du Cerro de Potosi, et des filons à Pb-Zn-Ag de Matilda, Colquechaca, etc. (groupe C).

8 - Allemagne orientale : 148.800 kgs, provenant essentiellement du Mansfeld.

9 - Suède : 139.500 kgs provenant essentiellement du district de Boliden (Lavar, Kristineberg, Akulla, Adak, Rakkejaur ; le gîte de Boliden proprement dit est maintenant épuisé), c'est-à-dire de gîtes du groupe B, et en partie de Laisvall (groupe A).

10 - Honduras : 115.600 kgs, de provenance inconnue...

11 - Yougoslavie : 113.200 kgs, provenant essentiellement du district de Trepça (groupe C). Le gisement de cuivre de Bor, associé au même magmatisme tardi-orogénique, est relativement pauvre en Ag (3 g. d'Ag à la t. de tout-venant à 1,2 % Cu). Les réserves de Trepça sont de l'ordre de 1.700 t. d'argent métal.

12 - Chili : 111.900 kgs, provenant des gisements de cuivre de Chiquicamata, El Salvador, El Teniente, etc. (porphyry-copper).

13 - Japon : 111.000 kgs, provenant des gisements de Kuroko du groupe B (districts de Shakanaï, de Kosaka, etc.) et de quelques gisements du groupe C (Ikuno, Kushikino, etc.). Les réserves du district de Shakanaï sont de 6.000 t.

14 - Afrique du Sud : 97.000 kgs, provenant des conglomérats aurifères du Witwatersrand.

15 - Tchécoslovaquie : 74.400 kgs, provenant principalement de gisements à Pb, Zn, Cu, Ag et Au du groupe C : filons de Banska Stiavnica, de Roznava, de Kremnica, etc. (en Slovaquie).

16 - Espagne : 71.900 kgs, provenant de filons du groupe C (district de Carthagène), et en partie de filons du groupe A (district de Línarès-La Carolina). Les réserves sont de 2 à 3.000 t.

17 - Argentine : 62.000 kgs, provenant de gisements de Pb, Zn, Ag et Au du groupe C : Aguilar, la Rioja, Agua de Dionisio, etc.

18 - Allemagne occidentale : 61.400 kgs, provenant de Rammelsberg (groupe B), des filons à sidérose du Massif schisteux rhénan (Ramsbeck) (groupe C), et enfin du district de Mechernich (groupe A). Les réserves sont de 2.000 t. d'argent métal environ.

19 - Congo Kinshasa : 57.350 kgs, provenant essentiellement du gisement de zinc de Kipuski et du traitement métallurgique des minerais de cuivre du Katanga. En outre une partie de l'argent produit au Congo est associée à l'or des placers.

20 - Afrique du SW : 47.100 kgs, provenant essentiellement de Tsumeb.

21 - France : 43.400 kgs, provenant principalement du district plombo-zincifère des Cévennes (groupe A). Les réserves françaises sont de l'ordre de 800 t. seulement, y compris les filons hercyniens que nous rattachons au groupe C.

22 - Philippines : 36.000 kgs, provenant principalement du gisement de cuivre de Baguio (groupe C).

23 - Italie : 35.000 kgs, provenant principalement de l'Iglesiente : Montevecchio et San Giovanni en partie.

24 - Birmanie : 34.000 kgs, provenant essentiellement du gisement de Pb-Zn de Bawdwin, dont les réserves sont de l'ordre de 600 t.

Si l'on compare la liste précédente avec celle des principaux pays producteurs de plomb et de zinc, on constate que les six premiers sont communs aux deux listes. Ce fait souligne l'étroite liaison économique qui existe entre l'argent et ces deux métaux.

Les réserves mondiales d'argent sont de l'ordre de 80.000 t. soit à peine une dizaine d'années de production. Environ la moitié de ces réserves appartiennent à des gisements de Pb-Zn-Cu du groupe B (gîtes liés au volcanisme synorogénique) et 30 % aux gisements de Pb-Zn-Cu-Ag et Au du groupe C (gîtes liés au plutonisme tardi-orogénique et au volcanisme associé).

On voit, d'après ce qui précède, qu'une sélection des zones favorables à la recherche de l'argent est un choix "au second degré",

qui ne peut se faire qu'à partir de sélections "primaires" portant sur le plomb et le zinc d'une part, sur le cuivre d'autre part. Néanmoins on peut, dans certaines régions, axer la prospection sur un type spécifiquement argentifère, comme par exemple les filons à calcite manganésifère du SW des Etats-Unis et du N du Mexique.