

La province polymétallique des Andes du Pérou central: synthèse géologique

P. SOLER (1)

Metallogenic synthesis of the Andean polymetallic province of central Peru

Mots clés: Synthèse bibliographique, Province métallogénique, Orogénie alpine, Pérou.

Abstract

The Andean polymetallic province of central Peru is a 120 x 800 km long belt corresponding to the western Cordillera and High Plateaus, parallel to the Peru-Chile trench, but limited to a segment of the liminar intracratonic Andean chain.

Three principal metallogenetic provinces are known: the Pucara group (Trias-Lias), with an association of syndiagenetic stratiform deposits without associated volcanites and volcano-sedimentary deposits; the Santa formation (Valanginian) with associated stratiform volcano-sedimentary deposits; and Upper to Middle Miocene calc-

alkalic subvolcanic intrusions with an association of numerous epigenetic hydrothermal deposits - pyrometasomatic to epithermal veins or massive ore, and a volcano-sedimentary deposit (Colquijirca). The Mesozoic deposits have, in many places, been remobilized in the Miocene.

Most Mesozoic-Cenozoic polymetallic deposits of this province are related to extrusive and/or intrusive calc-alkalic igneous activity of the continental Andean margin.

Résumé

La province polymétallique des Andes du Pérou central est une ceinture de 120 x 800 km correspondant à la Cordillère occidentale et aux Hauts Plateaux, parallèle à la fosse péruano-chilienne mais limitée à un segment de la chaîne liminaire intracratonique andine.

Trois métallogènes principaux y sont connus: le groupe Pucara (Trias-Lias) auquel sont associés des gisements stratiformes syndiagénétiques sans volcanites associées et des gisements stratiformes volcano-sédimentaires, la formation Santa (Valanginien) à laquelle sont associés des gîtes stratiformes volcano-

sédimentaires, les intrusions calco-alcalines sub-volcaniques du Miocène moyen à supérieur auxquelles sont associés de très nombreux gîtes hydrothermaux, épigénétiques, filoniens ou en amas, pyrométasomatiques à épithermaux, et un gisement volcano-sédimentaire (Colquijirca). Les gisements du Mésozoïque ont été souvent remobilisés au Miocène.

Les gisements polymétalliques mézo-cénozoïques de cette province sont dans leur quasi-totalité génétiquement liés au magmatisme calco-alcalin effusif et/ou intrusif de la marge continentale andine

Introduction

Le Pérou est un des premiers pays producteurs de Pb (178 000 t métal en 1982, 5ème rang mondial), de Zn (466 000 t métal en 1982, 4ème rang mondial) et d'Ag (1 360 t métal en 1982, 3ème rang mondial). Le nombre des gisements polymétalliques y est très élevé (400 au moins), mais ceux-ci sont de taille extrêmement variable et répartis très inégalement au sein du territoire péruvien. Bien que le nombre des gisements en exploitation soit très élevé (plus de 250), le gros de la production est concentré dans quelques gisements. Ainsi:

(1) ORSTOM-Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération, 213 rue de Lafayette, 75010 Paris, France.

- pour le zinc, les 26 gisements les plus importants (production annuelle supérieure à 1 000 t Zn métal) produisent 96,5% du total; si l'on considère seulement les 10 premiers gisements (production annuelle supérieure à 15 000 t Zn métal), on obtient déjà 76,5% du total de la production;

- pour le plomb, les 26 gisements les plus importants (production annuelle supérieure à 300 t de Pb métal) interviennent pour 96% du total, les 10 mines les plus importantes en produisant déjà 71,5%;

- pour l'argent, la production est légèrement plus dispersée: les 40 gisements les plus importants (production annuelle supérieure à 5 000 kg d'Ag métal) produisent 95% du total. Considérant seulement les 10 et 20 mines les plus importantes, on arrive à des pourcentages de 57 et 86,5% respectivement.

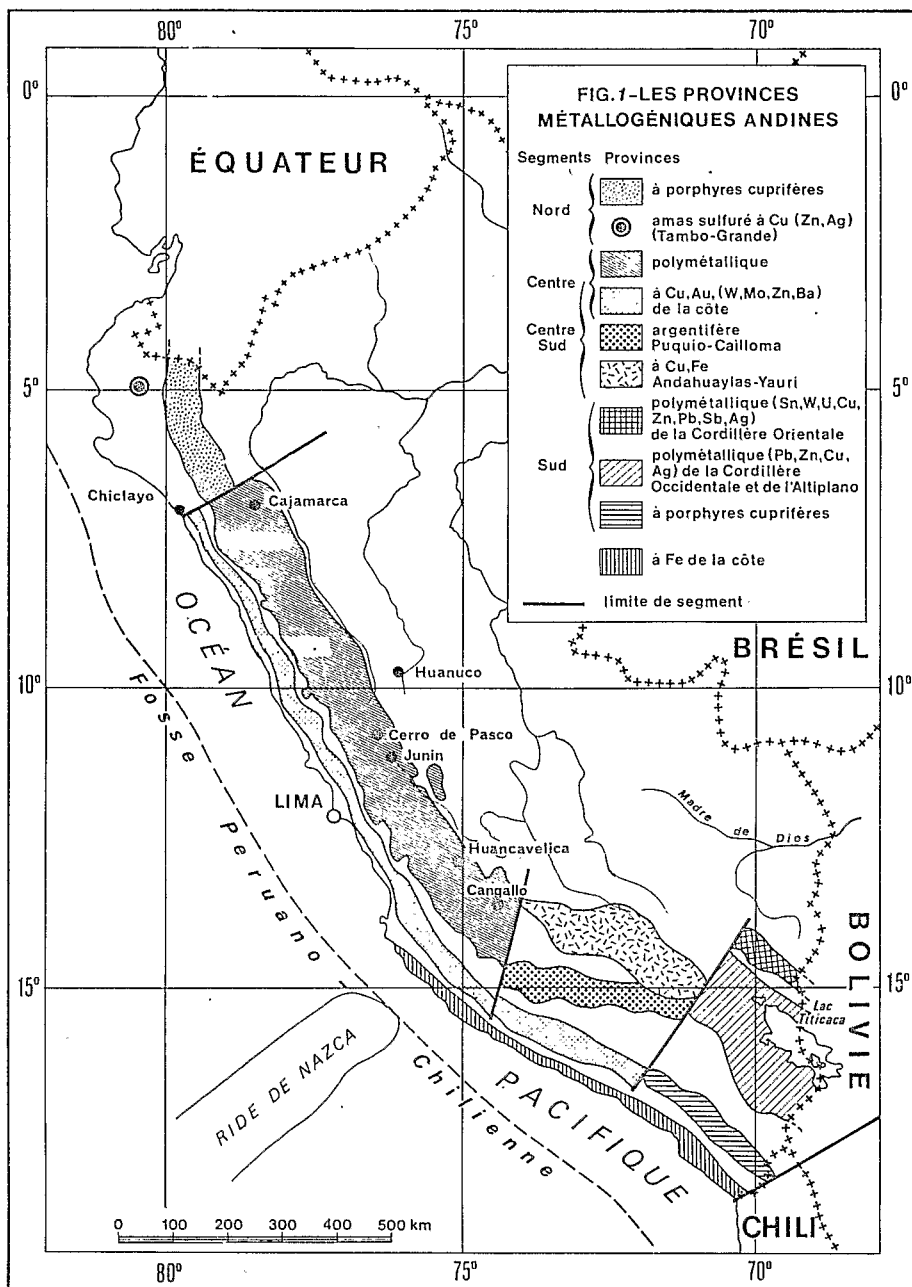


Fig.1.- Les provinces métallogéniques du Pérou (d'après P. Soler et al., sous presse).

La grande majorité des gisements polymétalliques, dont tous les gisements en exploitation de grande taille, se situent dans la province polymétallique des Andes du Pérou central telle que nous la définissons ci-dessous (fig.1). Cette province a produit 95,9% du Zn, 93,5% du Pb et 80,0% de l'Ag péruviens en 1982 (tabl.1). Au sein de cette province, on peut distinguer:

- la partie centrale et sud (départements de Paco, Junin, Lima et Huancavelica) qui produit 86,0% du Zn, 79,5% du Pb et 68,5% de l'Ag péruviens (chiffres de 1982); le district minier de Cerro de Pasco (mines de Cerro de Paco, Colquijirca, Milpo et Atacocha) produit à lui seul 36,5% du Zn, 42,3% du Pb et 16,4% de l'Ag;

- la partie nord (départements de Ancash, La Libertad et Cajamarca) qui produit 10% du Zn, 13% du Pb et 11,5% d'Ag.

Les autres provinces productrices de Pb, Zn et Ag sont la province argentifère Puquio-Cailloma (0,1% du Zn, 2% du Pb et 15% de l'Ag péruviens et la province polymétallique du Sud Pérou (4% du Zn, 5,5% du Pb et 5% de l'Ag péruviens) (fig.1). Ces deux provinces d'importance économique mineure ne seront pas décrites ici.

1. La province polymétallique des Andes du Pérou central

Sur les cartes métallogéniques du Pérou (F. De Las Casas et E. Ponzoni, 1969; E. Bellido *et al.*, 1972) sont inventoriés plus de 400 mines, prospects et indices de Pb-Zn-(Ag)-(Cu). Ces gisements se situent dans une

PROVINCE POLYMETALLIQUE DES ANDES DU PEROU CENTRAL

Gisement	Zn (t)	Rang	%	Pb (t)	Rang	%	Ag (kg)	Rang	%
Cerro de Pasco	119 703	1	25,7	41 991	1	23,5	98 433	3	7,25
San Vicente	49 865	2	10,7	4 763	12	2,65	-	-	-
San Cristobal	32 467	3	7,0	4 311	14	2,41	40 950	13	3,01
Santander	24 200	4	5,2	-	-	-	2 500	-	0,18
Milpo	23 060	5	4,9	12 234	4	6,85	66 590	6	4,90
Huanzala	22 200	6	4,7	10 260	6	5,75	33 900	19	2,49
Carahuacra	19 057	7	4,1	1 127	23	0,63	6 700	-	0,49
Casapalca	17 536	8	3,8	12 647	3	7,08	114 569	1	8,42
Atacocha	17 352	9	3,7	14 764	2	8,27	35 710	18	2,63
Gran Bretana	14 660	10	3,1	-	-	-	-	-	-
Raura	13 889	11	3,0	10 589	5	5,93	40 340	14	2,97
Morococha	13 700	12	2,9	8 000	8	4,48	111 000	2	8,16
Yauricocha	13 487	13	2,9	9 665	7	5,41	39 022	16	2,87
Huaron	13 300	14	2,8	7 500	9	4,20	58 000	8	4,26
Colquijirca	8 637	16	1,9	4 559	13	2,55	20 110	21	1,49
Qulruvilca	7 374	17	1,6	3 281	15	1,84	61 160	7	4,50
Allanza	5 900	18	1,3	6 250	10	3,50	46 100	11	3,39
El Extrano	5 000	19	1,1	750	25	0,42	2 500	-	0,18
Colquirumi	3 400	20	0,7	1 500	19	0,84	3 800	-	0,28
Huachocolpa	2 930	22	0,6	2 545	16	1,42	5 318	-	0,39
Carhuacayan	2 142	23	0,5	231	29	0,13	3 956	-	0,29
Pacococha	1 500	24	0,3	600	26	0,34	15 100	23	1,11
Santo Toribio	1 300	25	0,3	310	27	0,17	2 300	-	0,17
San Genaro	1 243	26	0,25	1 689	17	0,95	36 870	17	2,71
Los Mantos	950	27	0,2	250	28	0,14	1 700	-	0,12
Huampar	900	28	0,2	1 150	22	0,64	8 500	-	0,62
Caudalosa	769	29	0,15	777	24	0,44	36 680	15	2,92
Uchucchacua	-	31	-	1 290	21	0,72	79 114	5	5,82
Julcani	-	32	-	1 635	18	0,92	49 453	9	3,64
Milotingo	-	35	-	-	-	-	32 612	20	2,40
autres	9 373	-	2,66	2 332	-	3,10	35 013	-	2,57
TOTAL (Province)	446 894	-	95,9	167 000	-	93,5	1088 000	-	80,0
TOTAL (Pérou)	466 000	-	100	178 600	-	100	1360 000	-	100
Production mondiale (Mineral yearbook)	6 246 000			3 408 000			11 935 000		

Tabl.1.- Principaux gisements de la province polymétallique des Andes du Pérou central (production 1982).

bande de terrain de 100 à 250 km de large, correspondant à la Cordillère occidentale et aux Hauts Plateaux et parallèle à la chaîne andine et à la fosse péruano-chilienne (fig.1). Cette zone est classiquement appelée la sous-province polymétallique de l'Altiplano (E. Bellido *et al.*, 1969). En fait, l'extension donnée à cette province par ces auteurs semble bien ample. Il faut considérer (P. Soler *et al.*, sous presse) que:

- au nord d'une ligne Chiclayo-Cutervo, on ne connaît pas de gisements polymétalliques en zone andine. Cette limite correspond à peu près à la déflexion de Huancabamba qui marque le passage entre, au nord, la chaîne à éléments de croûte océanique et à blocs allochtones accrésés et, au sud, la chaîne liminaire intracratonique, sans matériel océanique et sans bloc allochtone. Cette limite correspond vraisemblablement à une structuration ancienne, héritée des chaînes anté-mésozoïques (discussion et références in B. Dalmeyrac *et al.*, 1980);

- au sud d'une ligne Puerto de Lomas-Cangallo-San Miguel, apparaissent en Cordillère occidentale deux provinces spécifiques: la province à Cu-Fe Andahuayas-Yauri, avec des gisements de skarns à Cu-Fe, génétiquement associés à un batholite oligocène intrusif dans des calcaires créacés et la province argentifère Puquio-Cailloma, avec gisements filoniens épithermaux d'argent génétiquement associés au volcanisme mio-pliocène. Cette limite ne correspond pas à un changement

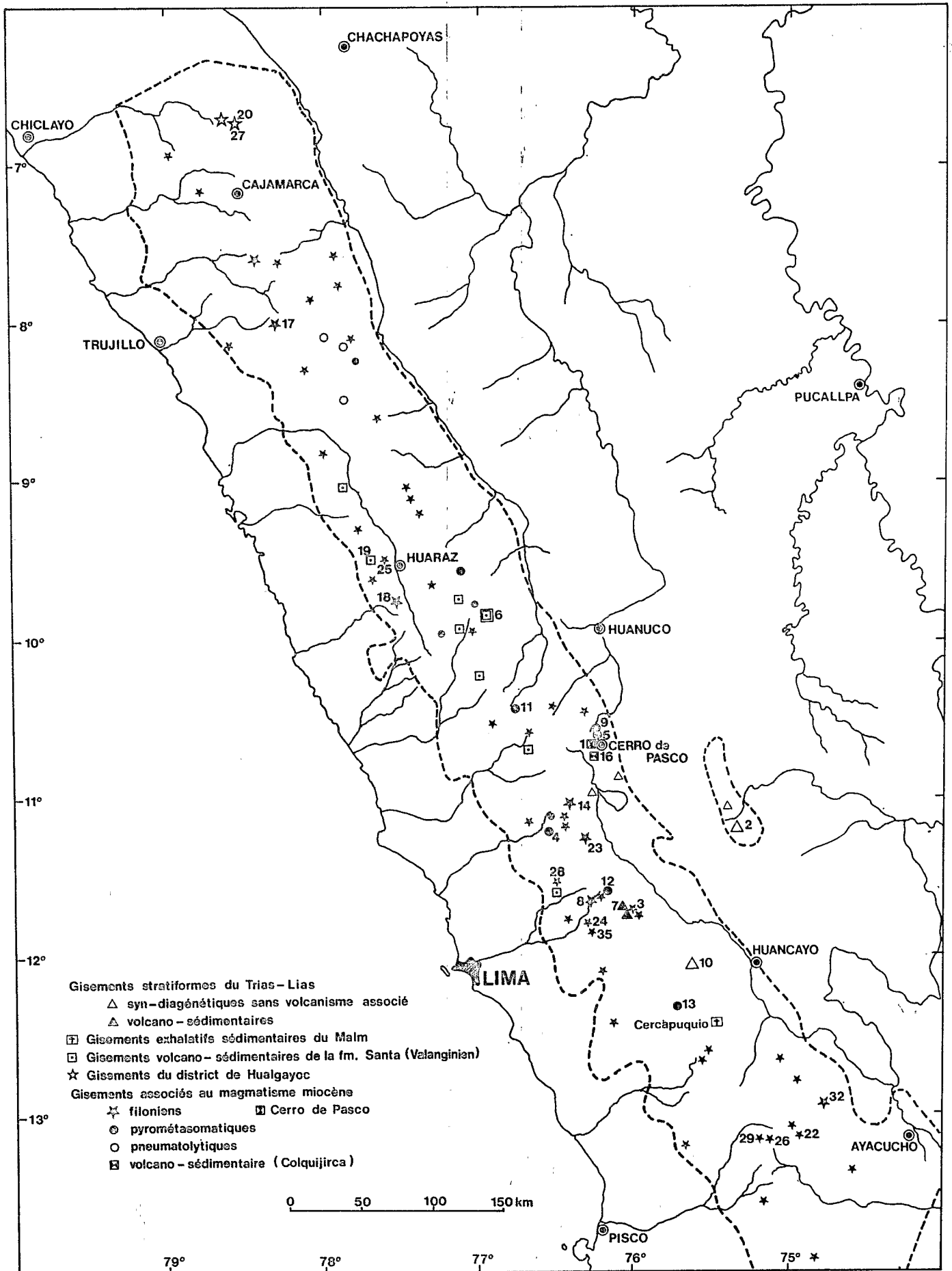
fondamental dans le style de la chaîne. Cependant, certaines caractéristiques de cette dernière sont différentes de part et d'autre de cette limite, entre autres les directions tectoniques majeures (N130° au nord et N90-100° au sud) (P. Soler *et al.*, sous presse).

Nous considérons donc comme province polymétallique des Andes du Pérou central (fig.1) la zone de 120 km de large en moyenne, parallèle à la chaîne andine et comprise entre les deux limites ainsi définies. La limite ouest de cette ceinture se situe en moyenne à 230 km de la fosse péruano-chilienne. La province correspond donc à un segment de la chaîne andine liminaire péruano-chilienne (R. H. Sillitoe, 1974, 1976; P. Soler *et al.*, sous presse).

Il n'entre pas dans le cadre du présent article de détailler la géologie de ce segment. On se référera, entre autres, aux récents travaux de synthèse de F. Mégard (1973, 1978), B. Dalmeyrac *et al.* (1980), E. Cobbing *et al.* (1981), W. S. Pitcher *et al.* (1985).

Soulignons que le terme de province est ici justifié car la ceinture ainsi définie est le produit d'un seul cycle sédimento-tectonique-magmatique -le cycle andin- qui s'étend du Trias à l'Actuel.

Il n'est pas utile de revenir ici sur l'organisation des Andes péruviennes dans leur ensemble en provinces métallogéniques parallèles (zones à Fe, zone à Cu, zone polymétallique, zone orientale) (E. Bellido *et al.*, 1969; E. Ponzoni, 1982;...), mais limitées à certains



segments de la chaîne (P. Soler *et al.*, sous presse) ni sur les relations entre métallogénèse et subduction le long de la marge continentale active andine (discussions et références in A.H.G. Mitchell et M.S. Garson, 1976, 1981).

2. Gîtologie

La synthèse des travaux généraux sur la métallogénie péruvienne (E. Bellido *et al.*, 1969; F. De Las Casas et E. Ponzoni *et al.*, 1969; U. Petersen, 1965; E. Bellido *et al.*, 1972; G.C. Amstutz, 1978; E. Ponzoni, 1982; P. Soler *et al.*, sous presse), des travaux sur les métalotectes et des gisements et de nos propres observations, nous amène à regrouper les gisements de la province polymétallique des Andes du Pérou central en deux grandes familles (fig.2):

- les gisements stratiformes dans les séries carbonatées du groupe Pucara et de la formation Santa,
- les gisements hydrothermaux liés au magmatisme tertiaire.

Le district de Hualgayoc sera considéré à part car il est difficile à classer dans l'état actuel des connaissances.

L'importance économique relative de chacune des familles de gisements est donnée dans le tableau 2.

Type	Zn	Pb	Ag
Stratiforme "Pucara"	23 %	5 %	0,3%
Stratiforme "Santa"	6 %	6,5%	2,8%
Hydrothermal tertiaire	69,5%	87 %	96 %
Hualgayoc	1,5%	1,5%	0,9%

Tabl.2.- Production de Pb-Zn-Ag (année 1982) de la province polymétallique des Andes du Pérou central. Pourcentages par familles de gisements.

L'image que ces chiffres peuvent donner des stocks métaux réels et de leurs distributions entre les différentes familles de gisement est évidemment discutable. A titre d'exemple, les gisements stratiformes dans les séries carbonatées du groupe de Pucara et de la formation Santa n'étaient pas connus ou, du moins, pas reconnus comme tels il y a une vingtaine d'années. Nous aurions à l'époque, sans doute considéré l'ensemble de la production de Zn, Pb et Ag comme provenant de gisements hydrothermaux tertiaires. Des découvertes récentes, en particulier celle de l'amas sulfuré à Cu-(Zn)-(Ag) de Tambo-Grande, qui ne se situe cependant pas dans la province polymétallique décrite ici (P. Soler *et al.*, sous presse), montrent que de telles erreurs d'appréciation seraient encore très concevables aujourd'hui. Les chiffres présentés doivent donc être

Fig. 2.- Situation géographique et type gîtologique des principaux gisements polymétalliques de la province polymétallique des Andes du Pérou central. (Les numéros des gisements correspondent à leur rang comme producteurs de Zn donné dans le tableau 1).

considérés comme des ordres de grandeur, probablement provisoires. Il ne fait guère de doute cependant que les gîtes hydrothermaux tertiaires ont été, sont et resteront la source la plus importante de productions péruviennes de Pb, Zn et Ag.

2.1. Les gisements stratiformes dans les séries carbonatées

a) Les gisements stratiformes du groupe Pucara (Trias-Lias)

Ces gisements, producteurs de Zn essentiellement (tabl.2), se situent tous dans le Pérou central. Les principaux sont San Vicente, Gran Bretaña, Carahuacra et Huaripampa (fig.2).

L'étude de la géologie du groupe de Pucara a été abordée par de nombreux auteurs (D.H. Mc Laughlin, 1924; J.V. Harrison, 1940; J.W. Jenks, 1951; J.J. Wilson, 1963; F. Mégard, 1973, 1978; T.S. Skesely et L.T. Grose, 1972; P. Levin, 1974; P. Levin et A. Samaniego, 1975; H.W. Köbe, 1977;...) mais son étude systématique, sédimentologique et paléogéographique, reste à faire. Pour résumer, le "cycle andin" (tabl.3) commence par une transgression marine durant le Trias moyen à supérieur, dans la zone correspondant aux Hauts Plateaux et à la Cordillère orientale actuels. Les premiers faciès du groupe Pucara (base de la formation Chambara) miment les couches rouges permienes (formation Mitu) sur lesquelles ils reposent en discordance d'érosion. Ce sont des faciès épicontinentaux, de 0 à 200 m de puissance, localement à intercalations de gypse. Au-dessus, la formation Chambara est constituée de calcaires et dolomies de plate-forme (0-3000 m de puissance), souvent bitumineux, avec d'abondants niveaux de cherts et intercalations de shales et grès (souvent cinéritiques) près du littoral. On y observe des niveaux de tufs. Après une régression partielle au Rhétien, une nouvelle transgression amène le dépôt de la formation Aramachay (Lias inférieur) constituée, dans le Pérou central, de calcaires bitumineux à niveaux siliceux abondants. La partie supérieure de cette formation présente des niveaux phosphatés. Des intercalations de grès et de shales sont fréquentes, des niveaux de tufs signalés. Se dépose ensuite, dans le même bassin, la formation Condorsinga (Lias supérieur), presque exclusivement carbonatée, mais où des niveaux volcaniques (tufs et coulées) sont encore présents. Ces trois formations constituent le groupe Pucara qui, globalement, est donc constitué de calcaires bitumineux de plate-forme (plate-forme interne très vraisemblablement, dans la zone où se situent les gisements de Zn), à intercalations terrigènes et dans lesquels se manifeste un volcanisme synchrone de la sédimentation.

Les gisements stratiformes connus dans ce groupe carbonaté se situent soit à son extrême base, près du contact avec le Mitu (Shalipayco, Malpaso, Machcan, Carahuacra-Huaripampa,...), soit plus haut dans la série (San Vicente, Gran Bretaña,...), mais toujours dans des faciès littoraux (faciès tidaux ou supratidaux de la plate-forme interne). Cette distinction

Age	Phases tectoniques	Cordillère Occidentale	Hauts Plateaux	Cordillère Orientale
Miocène terminal	Quechua 3	Dépôts quaternaires (fluviaux, lacustres, glaciaires, ...) Stratovolcans andésitiques Ignimbrites		
Miocène moyen	Quechua 2	Séries volcaniques et volcano-sédimentaires (gr. Calipuy, ...) lacune sur grande partie des Hauts Plateaux		
Miocène inférieur	Quechua 1	Séries volcaniques et volcano-sédimentaires (gr. Calipuy, form. Ayacucho, ...) lacune sur grande partie des Hauts Plateaux		
Eocène terminal	Incaïques	Séries volcaniques et volcano-sédimentaires (gr. Calipuy, form. Huanta, form. Sacsayhuamán, ...) lacune sur grande partie des Hauts Plateaux		
Crétacé terminal	Péruvienne	Couches rouges	Couches Rouges	Couches Rouges
Santonien		Form. Celendin	Form. Celendin	
Albien sup.-Coniacien		Form. Jumasha	Form. Jumasha	
Albien moy.		Form. Pariatambo	Form. Pariatambo	
Albien moy.		Form. Chulec	Form. Chulec	
Albien inf.		Form. Pariahuanca	Formation Goyllarisquizga	— lacune —
Haute-Éocène		Form. Carhuaz		
Valanginien sup.		Form. Santa		
Berriasien-Valanginien inf.		Form. Chimú		
Portlandien		Form. Oyon		
Malm		Form. Chicama		
Trias-Lias		?	Form. Chaucha	
Permien-Trias	Tardi-hercynienne		Form. Cercapuquio	
			Form. Chunumayo	
			Gr. Pucara	Gr. Pucara
			Gr. Mitu	Gr. Mitu
Permien inf.			Gr. Copacabana	Gr. Copacabana
Pennsylvanien		?	Gr. Terma	Gr. Terma
Mississippien	Eo-hercynienne		Gr. Ambo	Gr. Ambo
Paléozoïque inf.			Gr. Excelsior	Gr. Excelsior
Précambrien		?	séries précambriennes indifférenciées	

Tabl.3.- Tableau synthétique de la stratigraphie et des phases tectoniques dans les Andes du Pérou central.

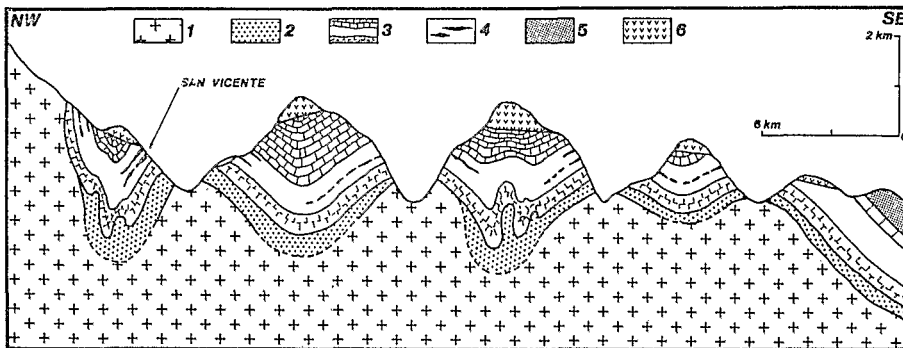


Fig.3.- Le gisement de San Vicente, coupe régionale (d'après P. Levin et A. Samaniego, 1975).

1: granite permien; 2: groupe Mitu (Permian-Trias); 3: groupe Pucara (Trias-Lias); 4: niveaux minéralisés (mantos); 5: formation Sarayaquillo (Jurassique supérieur); 6: ignimbrites plio-quaternaires.

est celle utilisée par A. Samaniego et G.C. Amstutz (1982). Pour notre part, nous proposons une autre classification des gisements stratiformes du Pucara basée non sur la position stratigraphique de ces derniers mais sur leur genèse: gisements syndiagenétiques sans volcanites associées d'une part, gisements volcano-sédimentaires d'autre part.

La première famille comprend des gisements tels que San Vicente, Gran Bretaña, Shalipayco, Malpaso... Un seul, San Vicente (fig.3), a été étudié en détail (P. Levin, 1974; P. Levin et G.C. Amstutz, 1976; P. Levin et A. Samaniego, 1975; M. Lavado, 1980; L.

Fontbote, 1981;...). Ce sont des gisements stratiformes pénéconcordants avec d'importantes remobilisations et reconcentrations diagénétiques (formation de rythmites, brèches, ... à San Vicente) et/ou des remobilisations karstiques (Shalipayco, Gran Bretaña). La paragenèse des minerais y est simple: essentiellement blende, galène, peu de pyrite, très peu de chalcopryrite, barytine (Gran Bretaña, sud de Shalipayco), orpiment et réalgar. Les mécanismes d'apport et de précipitation des espèces métalliques - apport terrigène avec précipitation en ambiance réductrice contrôlée par des bactéries et/ou des algues, apport lié au volcanisme, circulations épi-

thermales liées à ce même volcanisme ou re-concentrations liées à l'expulsion de l'eau pendant la diagenèse précoce de sédiments carbonatés à teneurs légèrement anormales - ne sont pas clairement établis.

La seconde famille (Carahuacra-Huaripampa, Machcan,...) est constituée de gisements stratiformes volcano-sédimentaires dans lesquels les niveaux minéralisés, lenticulaires, se trouvent interstratifiés avec des calcaires et des tufs. Autour des lentilles, on trouve une première auréole de calcaire silicifié puis une auréole externe de calcaire dolomitisé. Cette dolomitisation est locale et de caractère secondaire évident. La minéralogie des minerais est caractérisée par l'abondance des minéraux de fer (pyrite, hématite, sidérite), la blende, le quartz et très peu de galène. L'origine exhalative sous-marine vulcanogène de ces gisements semble bien établie (H.W. Köbe, 1977; F. Vera, 1983; N. Ribera et H.W. Köbe, 1983). A Carahuacra-Huaripampa, d'importantes remobilisations liées au magmatisme tertiaire donnent des filons plus riches en Pb et Ag que les lentilles stratiformes; certains auteurs (Cerro de Pasco Corporation - Geological Staff, 1970;...) considèrent que l'ensemble du gisement est épigénétique et d'âge tertiaire. Le cas du gisement de Machcan (district de Milpo-Atacocha) est particulier dans la mesure où les "mantos" (minéralisations stratiformes) y sont essentiellement pyriteux avec des teneurs marginales en Pb et Zn. Le gros de la minéralisation y est constitué de skarns et de filons qui ne peuvent pas être considérés comme de simples remobilisations des "mantos". L'étude géochimique des minerais (P. Soler et M.A. Lara, 1983; P. Soler, sous-pressé) montre que Machcan doit être classé avec les gisements hydrothermaux tertiaires. Le modèle syn-diagénétique proposé par W. Hirdes et G.C. Amstutz (1978) pour ce gisement ne nous paraît donc pas convaincant.

b) Les gisements stratiformes de la formation Santa (Valanginien)

Le second métallotecte sédimentaire des Andes du Pérou central est la formation Santa, datée du Valanginien supérieur dans le Nord du Pérou (V. Benavides, 1956).

On y connaît de nombreux gisements et indices stratiformes, situés dans la partie centrale de la province (départements de Ancash, de Huanuco et de Lima) (fig. 1 et 2). Les gisements en exploitation sont Huanzala, 6ème producteur de Zn du Pérou (tabl. 1) et El Extraño, les principaux prospects et indices (parfois exploités artisanalement antérieurement) sont Pueblo Libre, Tuco-Chira, Malaquita, Pachapaqui-Patria, Iskay Cruz (Oyon), Pacclon Llamac, Venturosa,... (E. Dunin Borkowski, 1975; A. Samaniego, 1981;...).

Il n'existe pas pour le moment d'étude sédimentologique et paléogéographique systématique de la formation Santa, mais les études à caractère régional (J.J. Wilson, 1963; F. Mégard, 1973, 1978; E.J. Cobbing *et al.*, 1981) et à l'échelle des gisements (A. Samaniego, 1978, 1981; G. Kross et J. Nunez, 1978; R. Carrascal *et al.*, 1983; R. Carrascal, 1984;...) indiquent que dans la zone où sont situés les gisements, la formation Santa est constituée de 100 à 300 m de calcaires de plate-forme avec des

intercalations de shales et des manifestations volcaniques (tufs et calcaires tufacés). Dans la partie inférieure, la formation Santa, en particulier vers la bordure est du bassin, montre des intercalations de shales, grès et calcaires indiquant une évolution transgressive progressive depuis une ambiance deltaïque (formation Chimu sous-jacente) vers une ambiance de plate-forme carbonatée (partie supérieure de la formation Santa). La partie inférieure de la formation Santa ne comporte pas d'indices minéralisés.

Les gisements et indices de Pb-Zn, sous forme de lentilles stratiformes, se situent dans la partie supérieure de la formation Santa, généralement dans des faciès tidaux à supratidaux. Très souvent leur gangue est constituée de silicates calciques ou d'assemblages hydrothermaux type pyrite - séricite - kaolinite. La polémique quant à la genèse de ces minéralisations est très vive; les modèles syngénétique (A. Samaniego, 1981) et épigénétique (minéralisation de remplacement métagénétique liée aux intrusions miocènes) (H. Sato et N. Saito, 1977; Y. Fukahori *et al.*, 1980; N. Saito *et al.*, 1981; Y. Tsuchiya *et al.*, 1983; H. Imai *et al.*, 1985;...) s'affrontent mais ni l'un ni l'autre ne paraissent convaincants. Sans entrer dans les détails de cette discussion génétique, nous assumons les conclusions de R. Carrascal (1984) quant à l'origine "sédimentaire-hydrothermale vulcanogène" du gisement de Huanzala (fig. 4), conclusions que l'on peut sans doute étendre à El Extraño et à d'autres gisements et indices stratiformes de la formation Santa. Le modèle proposé permet en effet de rendre cohérentes des observations apparemment contradictoires:

- d'un côté, il y a de nombreuses évidences du caractère sédimentaire et/ou diagénétique des minéralisations: - leur caractère stratiforme à toutes les échelles d'observations; - la présence de textures géopétales, de slumpings affectant le minerai, de rythmites diagénétiques, de microfailles normales synsédimentaires déplaçant le minerai; - l'évidente antériorité de la minéralisation par rapport aux principales phases tectoniques et aux intrusions spatialement associées aux minéralisations (cas de Huanzala); - la zonation à tendance concentrique dans chacune des lentilles minéralisées;

- d'un autre côté, il y a de claires évidences d'activité hydrothermale contemporaine de la minéralisation: - la nature des gangues: gangues de silicates calciques (grenat, diopside, wollastonite, épidote,...) indiquant des apports d'éléments étrangers au système carbonaté et une température élevée (environ 350°C); - la minéralogie des minerais: minéralogie complexe à pyrite, pyrrhotite, mispickel, chalcoppyrite, blende, galène, cuivres gris, sulfosels de Bi, stannite,..., qui différencie clairement ces gisements des gisements de type "Mississippi Valley".

R. Carrascal (1984) émet l'hypothèse que ces minéralisations se sont formées effectivement durant la sédimentation et la diagenèse mais par apport hydrothermal, les solutions hydrothermales résultant de l'activité volcanique contemporaine. Ce volcanisme, durant le dépôt de la formation Santa, semble s'être exprimé surtout le long des failles de subsidence bordant le bassin; on note d'ailleurs que les gisements les plus importants se situent sur les

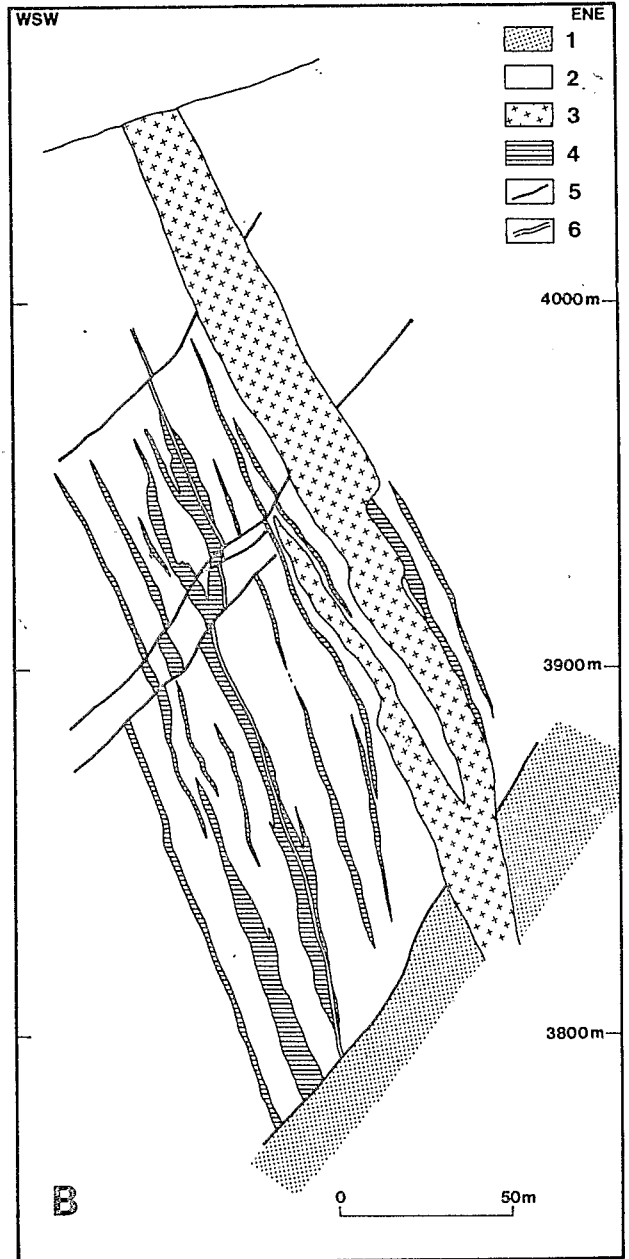
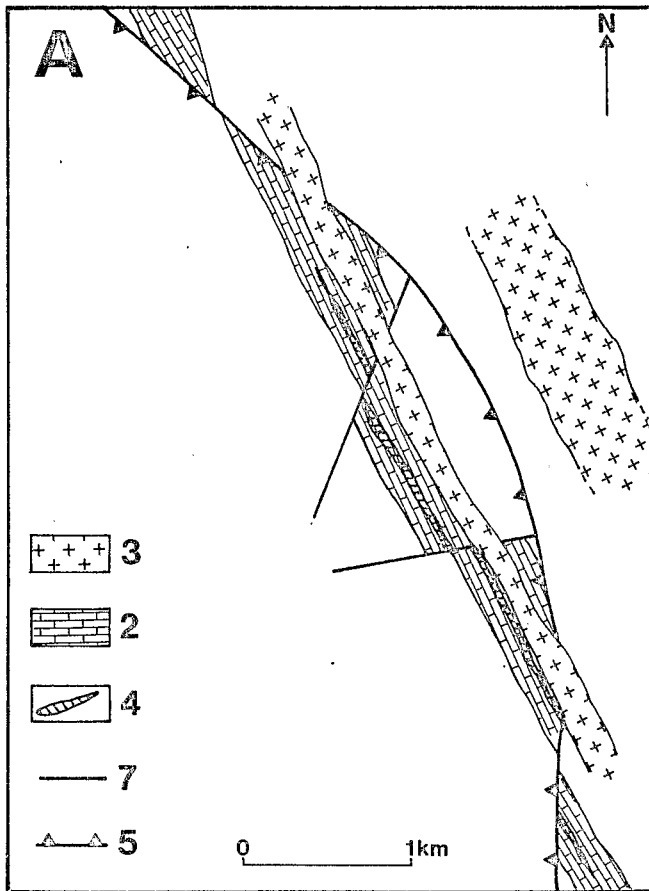


Fig. 4.- Le gisement de Huanzala. A: carte schématique; B: coupe (d'après R. Carrascal, 1984).
 1: grès Santa inférieur; 2: calcaires Santa; 3: porphyres granodioritiques miocènes; 4: minéralisation; 5: failles inverses; 6: niveaux repères de lutites; 7: failles normales.

bords ouest (El Extraño, Iskay Cruz) et est (Huanzala) du bassin Santa. Soulignons toutefois que l'ampleur des manifestations effusives observées est très restreinte par rapport à celle des phénomènes hydrothermaux.

c) Le gisement de Cercapuquio

Bien que ce gisement ait été classé dans une étude récente (A. Samaniego, 1981) avec le type précédent (stratiforme "Santa"), nous proposons de le classer à part pour deux raisons: l'âge sans doute jurassique de son encaissant d'une part, la minéralogie très particulière du minerai d'autre part. Il s'agit d'un gisement parfaitement stratiforme situé au sud-ouest de Huancayo (fig.2) dans une formation de calcaires de plate-forme (formation Chaucha) datée du Malm par F. Mégard (1978) sur la base d'arguments paléontologiques. L'attribution de cette formation au Crétacé inférieur (ce qui en ferait un équivalent latéral diachrone de la formation Santa) par les géologues de la Cerro de Pasco Corporation et par A. Samaniego (1981) ne semble pas pouvoir être retenue. La formation Chaucha est d'extension très réduite (F. Mégard, 1978) et atteint sa puissance maximale (250 m) dans la zone de la mine de Cercapuquio.

Le gisement, actuellement non exploité, a été décrit en détail par J. Melchori (1955), A. Miranda (1956) et A. Samaniego (1981). La minéralisation est constituée de quatre "mantos", de 2 à 6 m de puissance, connus (mais pas nécessairement exploitables) sur 6 km, interstratifiés avec les niveaux "marnodolomitiques" de la formation Chaucha.

Le minerai est parfaitement concordant avec la stratification à toutes les échelles d'observation. On y observe des textures typiques de syngénétisme (textures géopétales, rytmites et brèches diagénétiques,...). La disposition en échelon des lentilles exploitables correspond à une migration des faciès tidaux vers le sud-ouest. L'étude des isotopes du soufre (U. Petersen, 1975) n'infirmes pas le modèle syngénétique (valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ fortement négatives). Par ailleurs, la minéralogie du minerai est particulièrement simple, quoique assez particulière:

brunckite (ZnS cryptocristalline), galène, pyrite, marcasite et greenockite. La présence de brunckite indiquerait un dépôt du Zn à partir d'une saumure à propriétés colloïdales (A. Samaniego, 1981), contemporaine de la sédimentation. Il s'agirait donc d'un gisement "exhalatif-sédimentaire".

2.2. Les gisements hydrothermaux liés au magmatisme tertiaire

Ces gisements sont les principaux producteurs de Pb et Zn et les producteurs quasi exclusifs d'Ag (tabl.2). Ce sont également les plus nombreux, entre les gisements importants exploités industriellement, ceux travaillés artisanalement, les indices et les prospects, on peut considérer qu'il en existe au moins 350 répartis sur l'ensemble de la province. Il s'agit de gisements hydrothermaux de morphologie et de taille très variées, présentant des associations minérales souvent complexes (avec zonations, télescopage, pulsations successives,...), dont le trait commun est leur relation génétique avec le magmatisme andin tertiaire. Lorsqu'elles affleurent, les intrusions sont en général des stocks de taille réduite (quelques kilomètres carrés ou moins de superficie) de granite (très rarement), diorite-granodiorite (rarement), monzonite quartzique (très souvent), porphyres andésitiques ou dacitiques. Ces intrusions se sont mises en place à un niveau structural élevé comme l'atteste leur texture généralement porphyrique sub-volcanique. Elles sont postérieures aux phases tectoniques "péruvienne", "incaïque" et "quechua 1" (G. Steinman, 1929; D.C. Noble *et al.*, 1974; E. Farrar et D.C. Noble, 1976; F. Mégard, 1973, 1978; D.C. Noble *et al.*, 1979; F. Mégard *et al.*, 1984). Les datations radiométriques donnent des âges qui vont du Miocène moyen au Miocène supérieur. Ces intrusions se sont donc mises en place pendant la période comprise entre les phases "quechua 1" et "quechua 3". Il n'existe pas pour le moment d'études géochimiques systématiques de ces intrusions mais leur caractère calco-alkalin (E.J. Cobbing *et al.*, 1981;...) est clairement établi et leur origine mantellique est probable (W.S. Pitcher *et al.*, 1985).

a) Morphologie des gisements

Du point de vue de la morphologie, on peut distinguer:

- Les gisements filoniens dans le Paléozoïque inférieur (Jogocchucho, San Cristobal, Andaychagua, ...), dans les calcaires du groupe Pucara (Vinchos, Machcan,...), dans les séries sédimentaires du Crétacé (Uchucchacua, Sayapullo, Pasto Bueno, Pushaquilca, Chivilca, Pachapaqui-Arabia, Raura-Flor de Loto,...) et, le plus souvent, dans les couches rouges de la fin du Crétacé -début de l'Eocène et les séries volcaniques et volcano-sédimentaires de l'Oligo-Miocène (du nord-ouest au sud-est: Quiruvilca, Salpo, Machacala, Sayapullo, Santo Toribio, Alianza, Chanca, Alpamarca, Rio Pallanga, Huaron, Animon, Colqui, Caridad, San Nonato, Millotingo, Pacococha, Casapalca, San Genaro, Caudalosa, Julcani, Huachocolpa,...).

Localement, ces gisements peuvent présenter des corps de remplacement dans certains niveaux stratigraphiques favorables: conglomérat Barnabé et chert Seville à Huaron (J.M. Thouvenin, 1983, 1984), conglomérat Carmen à Casapalca (fig.5). Ils sont de taille et géométrie très variées; certains se présentent comme de grands filons isolés: Rio Pallanga, Alpamarca, Colqui (R.J. Kamilli et H. Ohmoto, 1977; R.J. Kamilli *et al.*, 1979; N. Diaz Bernal et U. Petersen, 1979), ou un ensemble de filons sub-parallèles: Jogocchucho, Millotingo, Pachapaqui, Sayapullo, Chivilca, Pushaquilca,...; la plupart sont de véritables champs filoniens, d'importance au demeurant fort inégale: Casapalca (R.O. Rye et F.J. Sawkins, 1974; I. Wu et U. Petersen, 1977), Huaron-Animon (J.M. Thouvenin, 1983, 1984), Julcani (P.C. Goodell et U. Petersen, 1974; U. Petersen *et al.*, 1977; J. Benavides, 1983), Alianza, Quiruvilca (R.W. Lewis Jr., 1956)... sont des champs filoniens de grande extension (supérieure à 10 km² en surface) avec un potentiel minier important (supérieur à 10 Mt de minerai); Pacococha, Uchucchacua (C.N. Alpers, 1980; M.

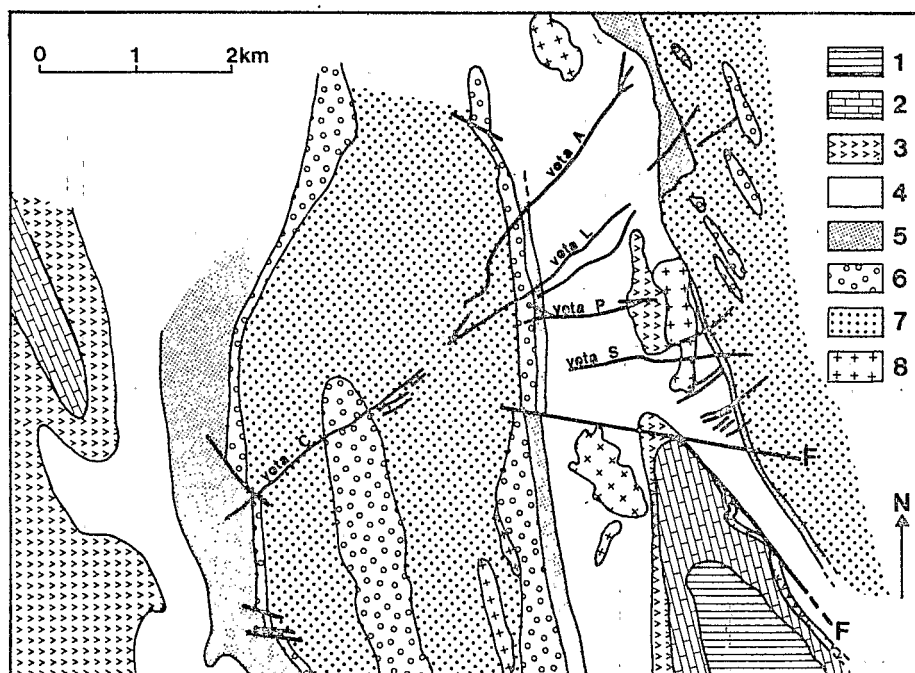


Fig.5.- Le gisement de Casapalca, carte schématique (d'après I. Wu et U. Petersen, 1977).

1: formation Rio Blanco; 2: formation Bella Vista; 3: tuf Yauliyacu; 4: volcanites Carlos Francisco; 5: volcanites Tablachaca; 6: conglomérats Carmen; 7: couches rouges Casapalca; 8: intrusions tertiaires.

Romani, 1982), Chanca, Huachocolpa (E.H. Mc Kee *et al.*, 1975; R.W. Birnie et U. Petersen, 1977), parmi beaucoup d'autres, sont des champs filoniens d'extension plus réduite avec un potentiel de 500 000 à quelques millions de tonnes; de plus, il existe une multitude de petits gisements et indices, surtout dans les séries volcaniques et volcano-sédimentaires de l'Oligo-Miocène.

- Les gisements pyrométasomatiques (à gangue de skarn) ou en partie pyrométasomatiques. Ces gisements se présentent comme des corps irréguliers au contact entre l'intrusif (toujours présent à l'affleurement, sauf à Santander) de composition quartz dioritique à granitique et des calcaires. L'encaissant est soit le groupe Pucara (Trias-Lias): Santa Barbara, Atacocha (R.F. Johnson, 1955; H. Delgado, 1979; K.A. Gunnesch, 1984), Milpo (P. Ly Zevallos, 1975) (fig.6), Morococha (R.H. Nagell, 1960; Cerro de Pasco Corporation - Geological Staff, 1970; V.R. Eyzaguirre *et al.*, 1975), soit les calcaires albiens de la formation Pariahuanca (Pucarrajo), soit les calcaires turoniens de la formation Jumasha: Antamina (E.H. Mc Kee *et al.*, 1979), Santander, Yauricocha (B.J. Giletti et H.W. Day, 1968; Cerro de Pasco Corporation - Geological Staff, 1970), Chungar, Raura, San Marino (N. Diaz Bernal, 1984), Don Miguel, ... La gangue de skarn est généralement à grenat (andradite-grossulaire) dominant et la minéralisation polymétallique est postérieure à la

formation des skarns comme c'est le cas en général dans ce type de gisement.

La taille de ces gisements est très variable, depuis des gisements à grand potentiel (Milpo, Atacocha, Raura, Yauricocha, Morococha) jusqu'à de petits indices (Albur, ...). Généralement, ce ne sont pas de "simples" gisements à gangue de skarn; en effet, la plupart de ces gisements comportent en plus des corps de contact, de nombreux filons recoupant ces derniers ou sortant de ceux-ci vers la périphérie du gisement, soit dans le même encaissant carbonaté (Atacocha, Morococha, Raura), soit dans un autre type d'encaissant, non favorable à la formation d'amas de remplacement (grès néocomiens à Milpo, andésites permienes à Morococha, ...).

- Le gisement de Cerro de Pasco, de part sa taille et sa géométrie, mérite d'être classé à part (fig.7). Ce gisement "classique" a été amplement décrit (W.C. Lacy, 1949; H.S. Ward, 1961; U. Petersen, 1965; Cerro de Pasco Corporation-Geological Staff, 1970; M.T. Einaudi, 1977). Il est spatialement associé à un diatrème volcanique miocène, situé dans le cœur d'un anticlinal de schistes et quartzites du Paléozoïque inférieur (formation Excelsior), au mur d'une importante faille inverse N-S. En surface, les couches rouges continentales du groupe Mitu (Permo-Trias) reposent en discordance sur le Paléozoïque. Les calcaires du groupe Pucara, qui

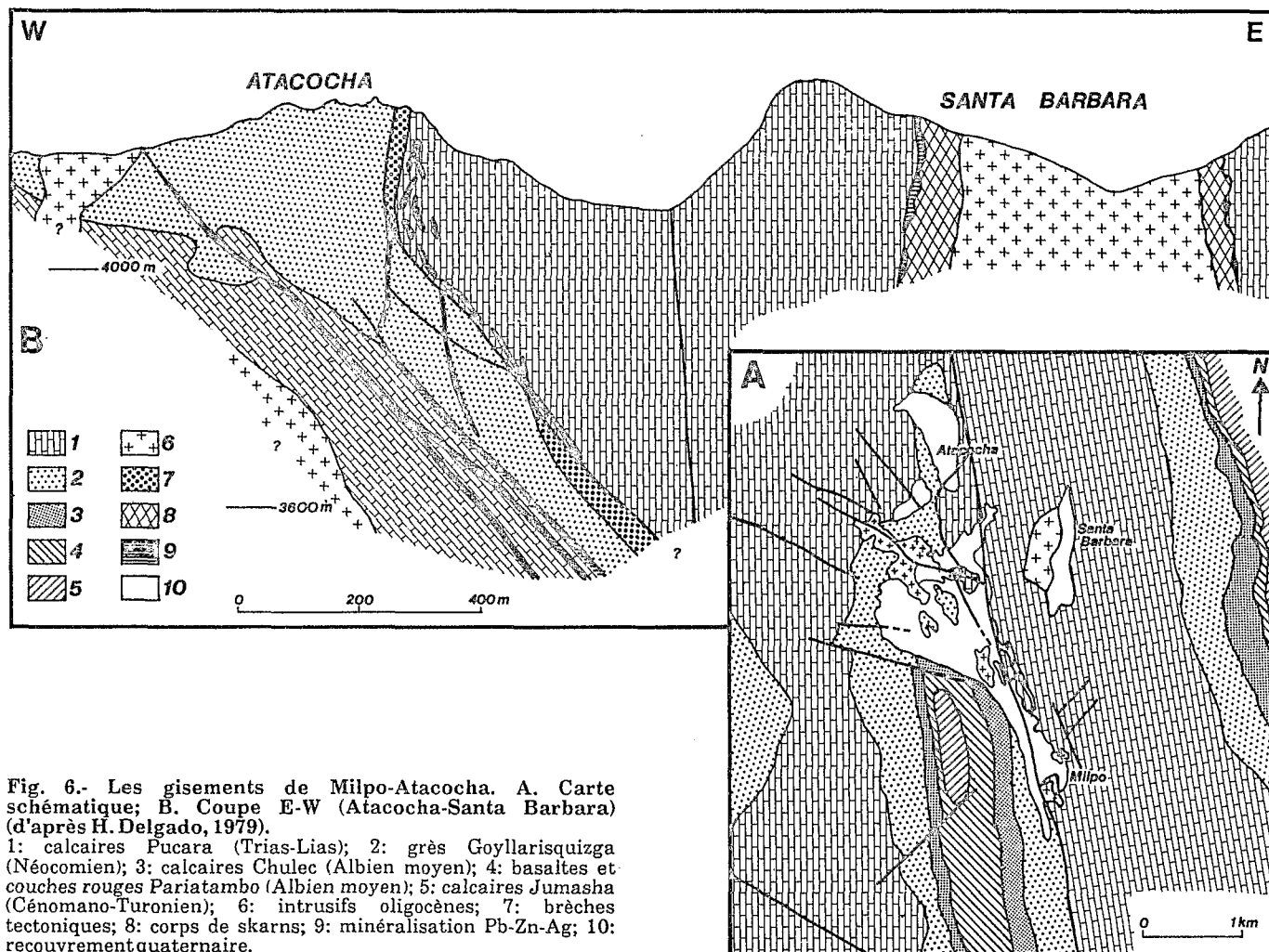


Fig. 6.- Les gisements de Milpo-Atacocha. A. Carte schématique; B. Coupe E-W (Atacocha-Santa Barbara) (d'après H. Delgado, 1979).
 1: calcaires Pucara (Trias-Lias); 2: grès Goyllarisquizga (Néocomien); 3: calcaires Chulec (Albien moyen); 4: basaltes et couches rouges Pariatambo (Albien moyen); 5: calcaires Jumasha (Cénomano-Turonien); 6: intrusifs oligocènes; 7: brèches tectoniques; 8: corps de skarns; 9: minéralisation Pb-Zn-Ag; 10: recouvrement quaternaire.

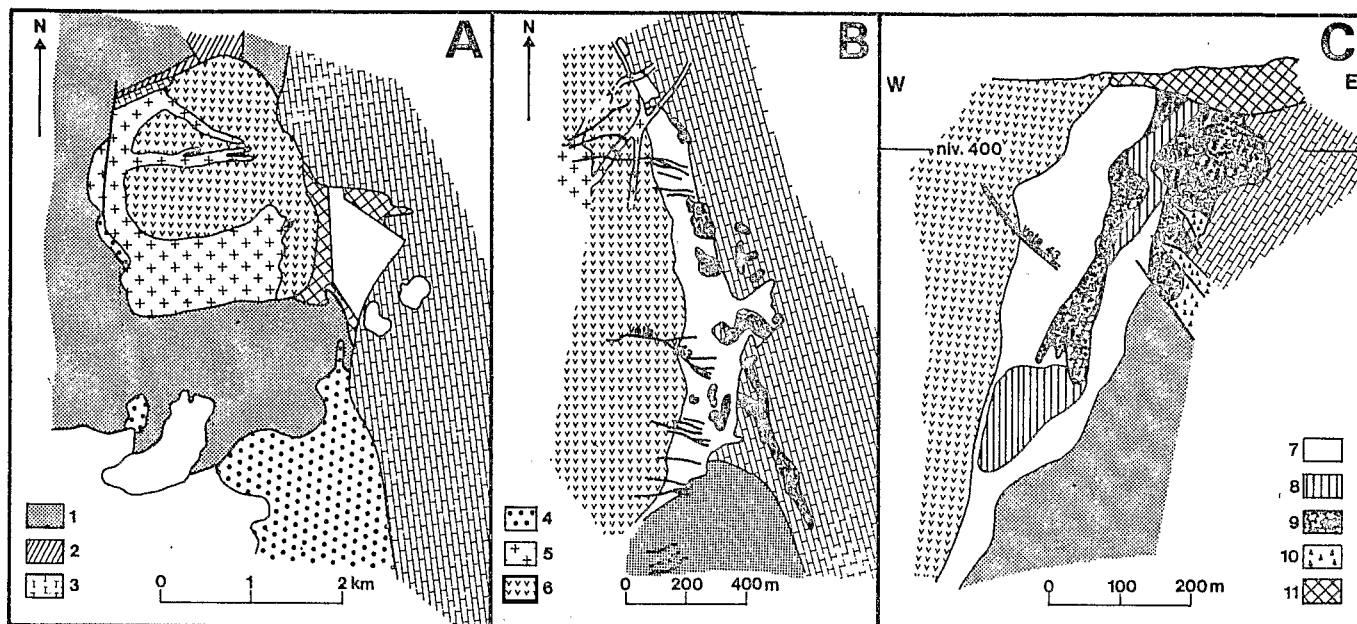


Fig.7.- Le gisement de Cerro de Pasco.

A: carte schématique; B: plan du niveau 400; C: coupe E-W (d'après U. Petersen, 1965).

1: formation Excelsior (Paléozoïque inférieur); 2: groupe Mitu (Permo-Trias); 3: calcaires Pucara (Trias-Lias); 4: couches rouges et conglomérats du Tertiaire inférieur; 5: dykes quartzo-monzonitiques miocènes; 6: remplissage volcano-détritique (agglomérat Rumillana); 7: corps à pyrite-silice; 8: pipes de pyrrhotite; 9: minéralisation Pb-Zn-Ag; 10: brèches tectoniques; 11: oxydes.

constituent le principal encaissant des corps et filons minéralisés, reposent en discordance sur le Mitu et le Paléozoïque. Le diatrème, de 2,5 km de diamètre, est comblé par des brèches pyroclastiques elles-mêmes intrudées par une série de dômes et dykes de monzonite quartzique porphyrique datée à 14-15 Ma (M.L. Silberman et D.C. Noble, 1977). Des solutions hydrothermales liées à l'activité volcanique ont donné naissance à un gisement de remplacement à une profondeur estimée à 1 000 m (M.T. Einaudi, 1977): le dépôt des sulfures commence par la formation d'un corps à silice-pyrite ayant la forme d'un cône aplati pointe en bas de 1 800 m N-S x 300 m E-W en surface et se fermant à 630 m de profondeur, qui remplace pour 90% les calcaires du Pucara et pour 10% le Paléozoïque inférieur et les volcanites. Après une phase de fracturation et d'activité volcanique, se forment ensuite des pipes et des zones tabulaires (contrôlées par la stratification des calcaires) de pyrrhotite qui remplacent localement le corps à pyrite-silice; le minéral de Pb-Zn (associé étroitement à la pyrrhotite) se trouve sous forme de corps irréguliers, principalement vers l'est du gisement, près des calcaires Pucara non modifiés; ces corps ont la forme générale d'un cône aplati pointe en bas, imbriqué dans le "cône" de silice-pyrite. Une partie des corps à Pb-Zn remplace directement les calcaires au nord et au sud du gisement le long de la faille. Après un nouvel épisode de fracturation, une minéralisation de Cu et Cu-Ag se met en place dans des filons E-W sub-verticaux qui recoupent aussi bien les corps à Pb-Zn que le corps à silice-pyrite et les brèches du diatrème. Ces filons ont une puissance maximale de 2 m, sont connus sur une profondeur de 800 m et ont une longueur maximale de 500 m. Ils présentent des associations à pyrite-énargite et à pyrite-cuivre gris-luzonite.

Cerro de Pasco est un "monstre" géologique: le potentiel estimé est de l'ordre de 100 Mt de pyrite, 4 Mt de Zn métal, 2 Mt de Pb métal et 10 000 t d'Ag métal. Il produit actuellement le quart du Zn et du Pb péruviens et est le troisième producteur d'Ag du Pérou.

- Le gisement de Colquijirca est un autre cas particulier, qui mérite également, de par sa morphologie, d'être classé à part (fig.8). Situé à quelques kilomètres au sud de Cerro de Pasco, il s'agit d'un gisement stratiforme encaissé dans une formation marno-calcaire lacustre à intercalations de tufs (formation Calera) appartenant à la partie supérieure des couches rouges tertiaires (localement non datées avec précision) et recoupée par une cheminée volcanique, de même type que celle de Cerro de Pasco, constituée de brèches pyroclastiques intrudées par un dôme quartz monzonitique, datée de 12 Ma (C. Vidal *et al.*, 1984). La minéralisation se présente sous forme de "mantos" stratiformes avec une zonation Cu-Zn-Pb du bas vers le haut de la série et du sud vers le nord lorsque l'on s'éloigne de l'appareil volcanique; elle est accompagnée d'une forte silicification et d'altération potassique. Certains considèrent qu'il s'agit d'un gisement hydrothermal épigénétique (P.S. Haapala, 1954; H.E. Mc Kinstry, 1936; S.F. Ramirez, 1980), d'autres le considèrent comme un gisement volcano-sédimentaire syngénétique (R.W. Lehne et G.C. Amstutz, 1978; R.W. Lehne, 1979; G. Arroyo, 1983). De fait, il s'agit bien d'un gisement associé au magmatisme miocène, mais d'un type particulier, un accident en quelque sorte, où les solutions hydrothermales ont en partie été piégées dans des sédiments lacustres. Cette convergence entre syngénèse et épigénèse est soulignée par le chimisme

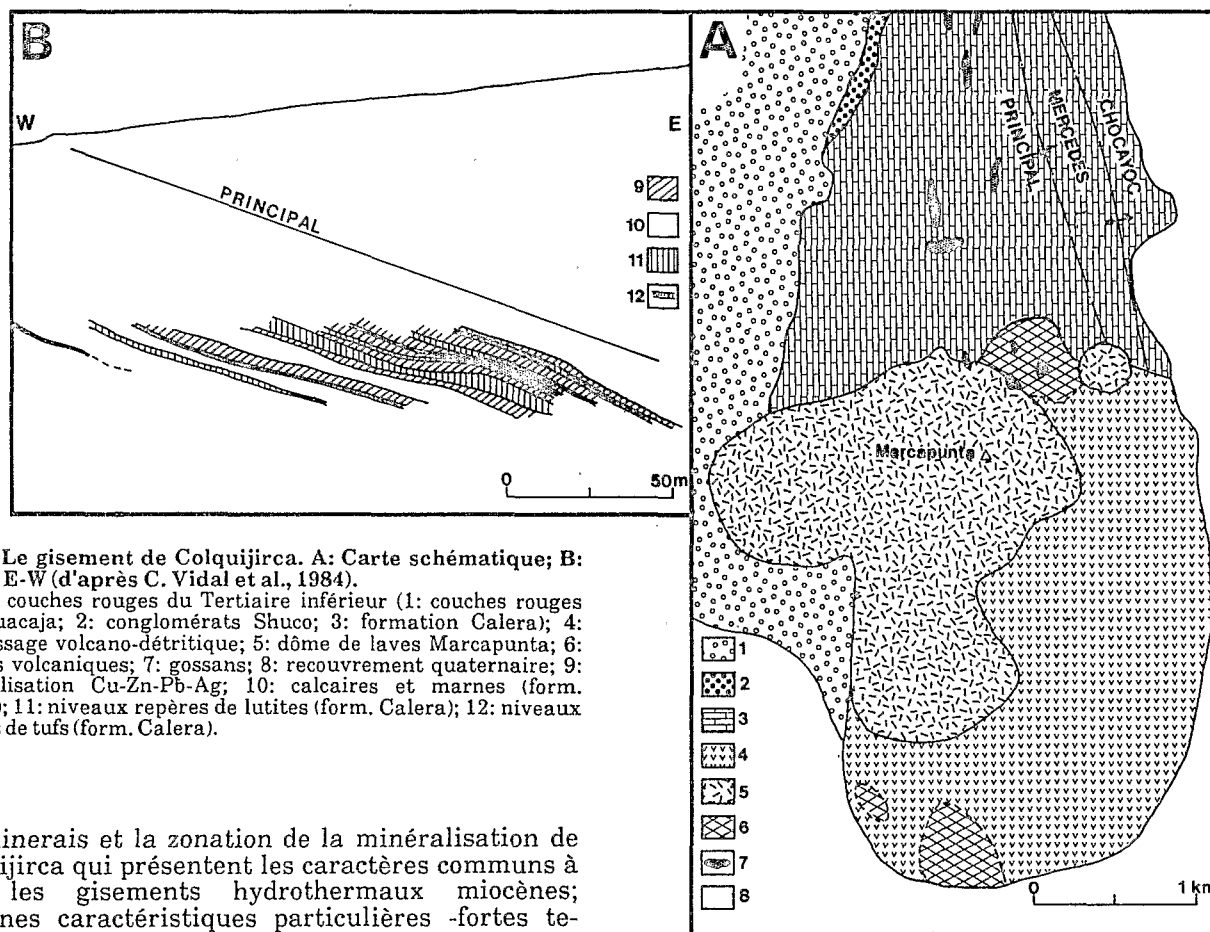


Fig.8.- Le gisement de Colquijirca. A: Carte schématique; B: Coupe E-W (d'après C. Vidal et al., 1984).

1, 2, 3: couches rouges du Tertiaire inférieur (1: couches rouges Huachuacaja; 2: conglomérats Shuco; 3: formation Calera); 4: remplissage volcano-détritique; 5: dôme de laves Marcapunta; 6: brèches volcaniques; 7: gossans; 8: recouvrement quaternaire; 9: minéralisation Cu-Zn-Pb-Ag; 10: calcaires et marnes (form. Calera); 11: niveaux repères de lutites (form. Calera); 12: niveaux repères de tufs (form. Calera).

des minerais et la zonation de la minéralisation de Colquijirca qui présentent les caractères communs à tous les gisements hydrothermaux miocènes; certaines caractéristiques particulières -fortes teneurs en Bi, Hg et Se, faibles teneurs en Ag et Mn (P. Soler, 1982; P. Soler et M.A. Lara, 1983; P. Soler, sous presse), présence d'uranium (G. Arroyo, 1983)-marquent cependant l'aspect volcano-sédimentaire de ce gîte.

b) Associations minérales (minerais et gangues)

Ces associations, dans la plupart des cas, très complexes, résultent en général de plusieurs pulsations hydrothermales (qui impliquent de nouveaux apports et une remobilisation des phases déjà déposées) et sont distribuées selon un système de zones avec un fréquent télescopage, caractéristique d'une minéralisation formée à faible profondeur, sous gradient thermique élevé. Par exemple, J.M. Thouvenin (1983,1984), dans son étude du gisement de Huaron, décrit 95 espèces minérales de gangues et de minerais.

À titre de résumé et de synthèse des observations paragenétiques sur les minerais, les gangues et les altérations associées, nous donnons ci-dessous un schéma général. Si l'on suit l'ordre chronologique de cristallisation des différentes phases (qui en première approximation est aussi l'ordre de température décroissante), on trouve successivement:

- Dans les parties profondes (internes), des gisements filoniens et dans les gisements pyrometasomatiques, une association à pyrite-blende noire (le plus souvent ferrifère, manganésifère et à inclusions de chalcoppyrite, chalcoppyrite, pyrrhotite (parfois), mispickel (souvent mais toujours très accessoire), parfois cassitérite, stannite, wolframite, scheelite, bismuth

natif, bismuthinite, or natif, molybdénite. L'altération associée est de type silico-potassique avec pyrite abondante. Exceptionnellement, on rencontre des altérations de type greisen associées à des intrusifs très évolués avec minéralisation à W, à Pasto Bueno, par exemple (G.P. Landis et R.O. Rye, 1974; D.I. Norman et G.P. Landis, 1983).

- Ensuite, soit dans des zones plus externes, soit "télescopées" avec le premier assemblage et le remobilisant, une association à galène (très généralement argentifère), blende (souvent plus rouge que la blende de première génération), pyrite, chalcoppyrite, cuivres gris souvent argentifères (freibergite), sulfosels de Pb (boulangérite, bournonite, jordanite, géochronite), alabandite, bismuthinite et sulfosels de Bi (téluro-bismuthinite, tétradymite, emplectite), énergite, luzonite, sulfosels d'Ag (proustite-pyrargirite, argentite, polybasite, pearcéite, stéphanite, argyrodite, miargyrite,...) et souvent à tellures et séléniures.

- Enfin, généralement dans les parties les plus externes des gisements (mais aussi parfois en zone interne, par télescopage), stibine, réalgar, orpiment, barytine,...

Les gangues de ces minéralisations sont principalement constituées de carbonates (calcite, dolomite, sidérite, ankérite, rhodocrosite,...), de quartz, d'anhydrite parfois, de fluorite (souvent une fluorite précoce est associée au premier stade et il existe une fluorite tardive), de barytine, de rhodonite

et, bien sûr, de silicates calciques (grossulaire-andratite avant tout, diopside-hédenbergite, wolastonite, amphiboles, épidotes,...) dans les gisements pyrométasomatiques.

Les altérations des roches encaissantes sont généralement à caractère silico-potassique, avec pyrite abondante, dans les zones internes et de type propylitique et/ou argilique dans les zones externes. Elles varient évidemment énormément d'un gisement à l'autre, à la fois par leur nature minéralogique et par leur géométrie, en fonction de la nature de l'encaissant et du type de fracturation qui contrôle les circulations hydrothermales. Il est difficile d'en donner une synthèse plus élaborée et, de même que les minerais et les gangues, elles demandent à être étudiées cas par cas;

Les zonations observées sont extrêmement variables d'un gisement à l'autre. Le cas le plus général est cependant une zonation Cu-Zn-Pb-Ag des parties internes vers les parties externes des gisements. Dans certains cas, le système de zones est relativement simple (Casapalca, Quiruvilca, Julcani,...) et peut être interprété comme résultant d'une seule venue hydrothermale qui, à partir d'un centre, produit un système de zones emboîtées. Du fait du télescopage et de l'existence de plusieurs pulsations hydrothermales, ce schéma est rarement respecté.

Soulignons plusieurs particularités qui sont communes à tous ces gisements hydrothermaux tertiaires: l'abondance du manganèse (sous forme de carbonates, silicates et sulfures), l'abondance de l'arsenic à tous les stades (mispickel, énargite, cuivres gris, réalgar, orpiment, sulfosels d'Ag et de Pb,...), la faible abondance du tungstène (sauf dans le district de Pasto Bueno et, dans une moindre mesure, à San Cristobal, Julcani, Cerro de Pasco,...) et la quasi-absence de l'étain (traces de stannite et, rarement, de cassitérite). Ces caractéristiques doivent être mises en parallèle avec le caractère hypabyssal (subvolcanique) des intrusions miocènes et l'homogénéité de celles-ci, tant par leur âge que par leur chimisme et leur degré d'évolution.

2.3. Le district de Hualgayoc-Sinchao

Nous classons à part le district de Hualgayoc-Sinchao situé au nord de Camajarca, à l'extrême limite de la province. Il s'agit d'un district complexe dont la genèse est très discutée. Les minéralisations de ce district se répartissent dans une zone orientée NW-SE de 10 km de long pour 3 km de large environ; elles sont encaissées dans des calcaires de plateforme (interne ici) à intercalations grésopélitiques et volcaniques (J. Paredes, 1982; S. Canchaya, 1982, 1984) du Crétacé supérieur (formations Inca, Chulec et Pariatambo de l'Albo-Cénomanién), plissés puis intrudés par une série de stocks (jusqu'à quelques kilomètres carrés en surface), dykes et sills hypovolcaniques de composition dioritique-granodioritique datés du Miocène moyen à supérieur (R. Borredon, 1982).

Du point de vue de leur morphologie et de leur minéralogie, on distingue au sein de ce district plusieurs types d'occurrences minérales:

- des minéralisations stratiformes, parfaitement concordantes avec les formations volcano-sédimentaires encaissantes; ce sont soit des minéralisations à blende-galène argentifère soit, le plus souvent, des "mantos" à pyrite-quartz;

- des minéralisations filoniennes, soit dans les stocks miocènes, soit dans l'encaissant carbonaté (métamorphisé près des contacts et souvent silicifié ou skarnisé), à associations minérales complexes (cf. les associations minérales décrites pour les gisements hydrothermaux);

- des minéralisations à Pb-Zn-Ag en poches karstiques, correspondant à des remobilisations des deux types précédents (J. Paredes, 1982).

Dans le détail, les relations entre les différents types de minéralisation sont très complexes et il est souvent difficile de séparer les phénomènes. Ceci explique aussi les polémiques que suscite ce district. La plupart des auteurs, sur la base soit d'une étude rapide de l'ensemble du district (G.E. Ericksen *et al.*, 1956; R. Borredon, 1982), soit de l'étude d'une mine particulière du district (R. Cabos, 1980, 1981; C. Vidal et R. Cabos, 1983) ont conclu que l'ensemble des minéralisations de Hualgayoc-Sinchao étaient épigénétiques, associées au magmatisme miocène. A l'inverse, d'autres auteurs (J. Paredes, 1982) ont proposé un modèle volcanogène crétacé proche du modèle Kuroko (avec remobilisations karstiques quaternaires) pour l'ensemble du district. L'approche la plus sereine du district nous semble être celle de S. Canchaya (1982, 1984). Nous considérons avec cet auteur que le district polymétallique de Hualgayoc est très vraisemblablement le produit d'une superposition de phénomènes métallogéniques:

- minéralisations stratiformes volcanogènes au Crétacé, exprimées par les mantos à Pb-Zn-pyrite dominants. La présence de textures typiques de "syngénèse" dans ces mantos (textures géopétales, rythmites,...) et la simplicité relative de leur paragenèse sont, en plus des considérations géométriques, des arguments de poids en faveur de ce modèle;

- minéralisations filoniennes et en amas liées aux intrusions hypovolcaniques miocènes; les associations minérales sont celles connues dans les gisements décrits plus haut;

- remobilisations des minéralisations précédentes par les phénomènes karstiques quaternaires (mis en évidence par J. Paredes, 1982).

Synthèse et commentaires

Le district de Hualgayoc-Sinchao que nous venons très brièvement d'évoquer est un bon exemple de la complexité des gisements de la province polymétallique des Andes du Pérou central. En effet, la classification proposée ci-dessus, arbitraire par certains côtés comme toute classification, ne doit pas masquer le fait qu'il existe de nombreux cas où,

comme à Hualgayoc, se présente au sein d'un même district ou d'un même gisement une superposition de phases métallogéniques.

C'est le cas en particulier à Morococha et autour du dôme de Yauli où aux minéralisations stratiformes volcanogènes du Pucara (dominantes à Carahuacra et Huariipampa, très subordonnées à Morococha) se superposent, en les remobilisant, des minéralisations épigénétiques (skarns et/ou filons) associées au magmatisme miocène. Un cas semblable se présente à Machcan et vraisemblablement à Huachocolpa. C'est le cas aussi dans certains gisements du "métallotecte Santa", en particulier à Tuco Chira, Oyon et vraisemblablement Huanzala.

Dans chaque cas particulier, et en l'absence d'études métallogéniques de détail, il est difficile, pour les minéralisations tertiaires, de faire la part de ce qui est remobilisation de minéralisations stratiformes préexistantes et de ce qui est apport lié au magmatisme tertiaire. Cependant, si l'on considère la province dans son ensemble, il est clair que l'on ne peut admettre, sauf rares cas particuliers, l'hypothèse d'une remobilisation, durant le Miocène, de minéralisations stratiformes préexistantes (métallotectes Pucara et Santa): il existe en effet, des minéralisations directement dans le socle (Jogochuccho, San Cristobal, Andaychagua,...) ou suffisamment proches de celui-ci (Vinchos, Milpo, Atacocha,...) pour que l'hypothèse d'une remobilisation *per ascensum* ou par convection de minéralisations stratiformes de la couverture soit exclue. Par ailleurs, les associations minérales et le chimisme des minéralisations tertiaires, quoique relativement variables d'un gisement à l'autre, montrent cependant une unité qui ne peut être mise en relation qu'avec l'unité du magmatisme calco-alcalin miocène. A ce propos, rappelons que les minéralisations tertiaires de cette province se sont mises en place dans une tranche de temps assez restreinte (14-16 Ma).

Il est intéressant de noter qu'aux intrusions plus anciennes (Éocène terminal à Miocène inférieur) connues dans le Pérou central ne semblent pas associés de gisements polymétalliques de taille économique, bien que ces intrusions soient très voisines des intrusions du Miocène moyen à supérieur, aussi bien par leur mode de mise en place que par leur chimisme et leur degré d'évolution. Il faut noter aussi la présence, au sein de la province polymétallique des Andes du Pérou central, de gisements de Cu de type porphyre cuprifère d'âge miocène inférieur (Michiquillay - A.W. Laughlin *et al.*, 1968) et supérieur (Toromocho à Morococha - V.R. Eyzaguirre *et al.*, 1975).

Pour conclure, soulignons que la quasi-totalité des gisements connus dans la province polymétallique des Andes du Pérou central, à l'exception de San Vicente, Gran Bretaña, Shalipayco et Cercapuquio, sont liés au magmatisme calco-alcalin qui s'exprime soit sous forme d'un volcanisme contemporain de la sédimentation de plate-forme (au Trias-Lias dans le groupe Pucara, au Valanginien dans la formation Santa, à l'Albien à Hualgayoc), soit sous forme d'intrusions sub-volcaniques miocènes. Ce magmatisme, mais nous sortons là du propos du présent article, doit bien sûr être mis en relation avec le

fonctionnement de la marge continentale andine, où la subduction est active au moins depuis le Crétacé inférieur (B. Dalmeyrac *et al.*, 1980) et vraisemblablement depuis le Permien (F. Mégard, 1978).

Remerciements

La présente synthèse a été réalisée dans le cadre de conventions liant l'ORSTOM à l'Instituto Geologico Minero y Metalurgico (INGEMMET) du Pérou et à la Société minière et métallurgique de Peñarroya. Mes remerciements vont à E. Ponzoni et G. Flores, directeurs successifs de la géologie à INGEMMET, et à F. Fogliérini, directeur mines-exploration de Peñarroya; ils vont également à mes collègues de l'INGEMMET, de l'ORSTOM, de la UNI de Lima, du BRGM-Pérou et à tous les géologues des mines qui nous ont aidé pendant ce travail. Je remercie aussi MM. J. Bouladon, J. Caia, M. Fornari, J. Lhégu et J.P. Snoep pour leur relecture critique du manuscrit.

Références bibliographiques

- ALPERS C.N. (1980).- Mineralogy, paragenesis and zoning of the Luz vein, Uchucchacua, Peru. A.B. Degree, Harvard Univ., 137 p.
- AMSTUTZ G.C. (1978).- Zu einer Metallogenie der Zentralen Anden von Peru. *Münster. Forsch. Geol. Päläont.*, 44/45, p. 151-158.
- ARROYO G. (1983).- Occurencia de materiales uraniferos en el yacimiento de Colquijirca. *Bol. Soc. Geol. Peru*, n°72, p. 75-88.
- BELLIDO E., MONTREUIL L. (de) et GIRARD D. (1969).- Aspectos generales de la metalogenia del Peru. XI Conv. Ing. Min., Lima, 96 p.
- BELLIDO E., GIRARD D. et PAREDES J. (1972).- Mapa metalogenetico del Peru al 1/2 500 000. Serv. Geol. Min., Lima.
- BENAVIDES J. (1983).- Alteracion y mineralizacion en un sector del distrito minero de Julcani. *Bol. Soc. Geol. Peru*, n°72, p. 99-110.
- BENAVIDES V. (1956).- Cretaceous system in Northern Peru. *Am. Mus. Nat. Hist. Bull.*, vol. 108, p. 357-492.
- BIRNIE R. W. et PETERSEN U. (1977).- The paragenetic association and compositional zoning of lead sulfosalts at Huachocolpa, Peru. *Econ. Geol.*, vol. 72, p. 983-992.
- BORREDON R. (1982).- Etude géologique et métallogénique du district minier de Hualgayoc (Pérou septentrional) à plomb-zinc-cuivre-argent. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris VI.
- CABOS R. (1980).- Mineralizacion polimetálica hidrotermal en el distrito minero de Hualgayoc. Thèse Dr., Univ. Cracovie, 172 p.
- CABOS R. (1981).- Las asociaciones mineralógicas de la mina Bella Union (Hualgayoc): Determinaciones microscópicas y analisis mediante microsonda. *Bol. Soc. Geol. Peru*, n°68, p. 1-17.
- CANCHAYA S. (1982).- Mineralogia y genesis de los depositos de Cu-Ag-Pb y Zn de la mina Bella Union, Camajarca. Conv. Ing. Min., Trujillo, 1-2, p. 1-18.
- CANCHAYA S. (1984).- Erzlagerstättenkundliche Beobachtungen an der Cu-Ag-Pb-Zn Mine Bella Union, Cajamarca, Peru. Dipl. Arbeit, Univ. Heidelberg, 85 p.
- CARRASCAL R., SAEZ J. et SOLER P. (1983).- El yacimiento estratoligado (Pb-Zn-Cu-Ag) de Huanzala (Huanuco - Peru central). Discusion genetica. *Bol. Soc. Geol. Peru*, vol. 71, p. 1-16.
- CARRASCAL R. (1984).- El yacimiento estratoligado (Zn-Pb-Ag-Cu) de Huanzala, Huanuco, Peru. Thèse Ingénieur, U.N.I., Lima, 145 p.

PROVINCE POLYMETALLIQUE DES ANDES DU PEROU CENTRAL

- CERRO DE PASCO CORPORATION - GEOLOGICAL STAFF (1970).- Geologia de los yacimientos minerales operados por la C. de P. Corporation. I. Cong. Lat. Amer. Geol., Lima, 260 p.
- COBBING E.J., PITCHER W.S., WILSON J., BALDOCK J.N., TAYLOR W., Mc COURT W. et SNELLING N.J. (1981).- The geology of the Western Cordillera of Northern Peru. *Overseas Memoir*, 5, Londres, 143 p.
- DALMAYRAC B., LAUBACHER G. et MAROCCO R. (1980).- Caractères généraux de l'évolution géologique des Andes péruviennes. *Travaux et documents ORSTOM*, n°122, 501 p.
- DE LAS CASAS F. et PONZONI E. (1969).- Mapa metalogenico del Peru, escala 1/1 000 000. Soc. Nac. Min. Petrol., Lima.
- DELGADO H. (1979).- Resumen de la geologia de Atacocha, Cerro de Pasco. Rapport inédit, C.M. Atacocha S.A., 15 p.
- DIAZ BERNAL N. et PETERSEN U. (1979).- Cocientes metalicos y zoneamiento en Colqui. *Bol. Soc. Geol. Peru*, tome 50, p. 25-52.
- DIAZ BERNAL N. (1984).- El modelo genetico Huarochiri. *Bol. Soc. Geol. Peru*, vol. jub. LX An., f2, p. 1-22.
- DUNIN BORKOWSKI E. (1975).- Control litologico y estratigrafico en la ubicacion de los mantos con sulfuros de metales no ferrosos en las capas calcareas del Peru central. *Bol. Soc. Geol. Peru*, tome 50, p. 25-52.
- EINAUDI M.T. (1977).- Environment of ore deposition at Cerro de Pasco, Peru. *Econ. Geol.*, vol. 72 (6), p. 893-924.
- ERICKSEN G.E., IBERICO M et PETERSEN U. (1956).- Geologia del distrito minero de Hualgayoc (Dept. de Cajamarca). Minist. Fom. Pub., *Inst. Nac. Invest. Fom. Min.*, Bol.16, 100 p.
- EYZAGUIRRE V.R., MONTOYA D.E., SILBERMAN M.L. et NOBLE D.C. (1975).- Age of igneous activity and mineralization, Morococha district, Central Peru. *Econ. Geol.*, vol. 70, p. 1123-1126.
- FARRAR E. et NOBLE D.C. (1976).- Timing of late tertiary deformation in the Andes of Peru. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 87, p. 1247-1250.
- FONTBOTE L. (1981).- Observations of the diagenetic evolution of stratabound Pb-Zn-Ba-F deposits in carbonates, with a comparison of examples from Peru, Spain, Poland and Algeria. Thèse Dr., Univ. Heidelberg, 265 p.
- FUKAHORI Y., AIKAWA K. et KAWASAKI M. (1980).- Geology and ore deposit of the Huanzala mine. *Min. Geol. Jap.*, vol. 30, p. 103-118.
- GILETTI B.J. et DAY H.W. (1968).- Potassium-argon ages of igneous intrusive rocks in Peru. *Nature*, vol. 220, p. 570-572.
- GOODELL P.C. et PETERSEN U. (1974).- Julcani mining district, Peru: a study of metal ratios. *Econ. Geol.*, vol. 69, p. 347-361.
- GUNNESCH K.A. (1984).- Investigaciones geoquimicas de rocas magmaticas en el distrito minero de Atacocha (Dept. de Pasco). *Bol. Soc. Geol. Peru*, n°73, p. 55-64.
- HAAPALA P.S. (1954).- Estudio geologico de la mina Colquijirca. *Mineria*, 7, ano II, 46 p.
- HARRISON J.V. (1940).- Nota preliminar sobre la geologia de los Andes Centrales del Peru. *Bol. Soc. Geol., Peru*, 53 p.
- HIRDES W. et AMSTUTZ G.C. (1978).- Geologische und metallogenitische Untersuchungen im nordlichen Atacocha-Distrikt/Zentralperu am Blei-Zinc-Grube Machcan. *Geol. Jb.*, D 28, 55 p.
- IMAI H., KAWASAKI M., YAMAGUCHI M. et TAKAHASHI M. (1985).- Mineralization and paragenesis of the Huanzala mine, Central Peru. *Econ. Geol.*, vol. 80, p. 461-478.
- JENKS W.F. (1951).- Triassic to Tertiary stratigraphy near Cerro de Pasco, Peru. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 62 (2), p. 202-220.
- JOHNSON R.F. (1955).- Geology of the Atacocha mine, Dept. of Pasco, Peru. *Econ. Geol.*, vol. 50 (3), p. 249-270.
- KAMILLI R.J. et OHMOTO H. (1977).- Paragenesis, zoning, fluid inclusions and isotopic studies of the Finlandia vein, Colqui district, Central Peru. *Econ. Geol.*, vol. 72, p. 950-982.
- KAMILLI R.J., OHMOTO H., PETERSEN U. et DIAZ BERNAL N. (1979).- Geoquimica de la veta Finlandia y el origen de los yacimientos de plata y oro de tipo "Bonanza". *Bol. Soc. Geol. Peru*, tome 60, p. 73-100.
- KOBE H.W. (1977).- El grupo Pucara y su Mineralizacion en el Peru Central. *Bol. Soc. Geol. Peru*, tome 55-56, p. 45-60.
- KROSS G. et NUNEZ J. (1979).- Un concepto genetico para el yacimiento de zinc y plomo "El Extraño" y su importancia para la mineria. *Bol. Soc. Geol. Peru*, tome 63, p. 205-216.
- LACY W.C. (1949).- Types of pyrite and their relations to mineralization at Cerro de Pasco, Peru. Unpub. Ph. D. Thesis, Harvard Univ.
- LANDIS G.P. et RYE R.O. (1974).- Geologic, fluid inclusion and stable isotope studies of the Pasto Bueno W-base metal ore deposit, Northern Peru. *Econ. Geol.*, vol. 69, n°7, p. 1025-1059.
- LAUGHLIN A.W., DAMON P.E. et WATSON B.N. (1968).- Potassium-argon dates from Toquepala and Michiquillay, Peru. *Econ. Geol.* vol. 63, p. 166-168.
- LAVADO M. (1980).- Geological aspects of the Pb-Zn ore occurrences at the San Vicente mine, San Ramon, Tarma, central Peru. Thèse Master, Texas Univ., Dallas, 148 p.
- LEHNE R.W. (1979).- Nuevos aspectos acerca del yacimiento de Colquijirca. *Revista CETIM*, p. 18-21.
- LEHNE R.W. et AMSTUTZ G.C. (1978).- Neue Beobachtungen in der Pb-Cu-Zn-Ag Lagerstätte Colquijirca, Zentral Peru. *Münster Forsch. Paläont.*, 5, p. 173-178.
- LEVIN P. (1974).- Die Pucara-sedimente im Chanchamayo Gebiet im Ost-Peru. *Geol. Rundschau*, 63 (1), p. 347-356.
- LEVIN P. et SAMANIEGO A. (1975).- Los sedimentos del grupo Pucara en el area de Chanchamayo, Peru centro-oriental. *Bol. Soc. Geol. Peru*, tome 45, p. 45-50.
- LEVIN P. et AMSTUTZ G.C. (1976).- Kristallisation und Bewegung in Erzrhythmen am Beispiel triassisch-jurassischer Lagerstätten im Ost-Peru. *Münster Forsch. Geol. Paläont.*, 38/39, p. 111-128.
- LEWIS Jr. R.W. (1956).- The geology and ore deposits of Quiruvilca district, Peru. *Econ. Geol.*, vol. 51, p. 41-63.
- LY ZEVALLOS P. (1975).- Geologia de Milpo. *Bol. Soc. Geol. Peru*, tome 46, p. 127-136.
- Mc KEE E.H., NOBLE D.C., PETERSEN U., ARENAS M. et BENAVIDES A. (1975).- Chronology of late Tertiary volcanism and mineralization, Huachocolpa district, Central Peru. *Econ. Geol.*, vol. 70, p. 388-390.
- Mc KEE E.H., NOBLE D.C., SHERKENBACH D.A., DREXLER J.W., MENDOZA J. et EYZAGUIRRE V.R. (1979).- Age of porphyry intrusion, potassic alteration and related skarn mineralization, Antamina district, Northern Peru. *Econ. Geol.*, vol. 74, p. 928-930.
- Mc KINSTRY H.E. (1936).- Geology of the silver deposit at Colquijirca, Peru. *Econ. Geol.*, vol. 31, p. 618-636.
- Mc LAUGHLIN D.H. (1924).- Geology and physiography of the Peruvian Cordillera, Departments of Junin and Lima. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 35, p. 591-632.
- MEGARD F. (1973).- Etude géologique d'une transversale des Andes au niveau du Pérou central. Thèse d'état, Univ. Montpellier, 263 p.
- MEGARD F. (1978).- Etude géologique des Andes du Pérou central. *Mém. ORSTOM*, 310 p.
- MEGARD F., NOBLE D.C., Mc KEE E.H. et BELLON H. (1984).- Multiple pulses of Neogene compressive deformation in the Ayacucho intermontane basin, Andes of Central Peru. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 95, p. 1108-1117.
- KAMILLI R.J. et OHMOTO H. (1977).- Paragenesis, zoning, fluid

- MELCHORI J. (1955).- Exploracion geologica y geofisica en las minas de Cercapuquio. *Mineria*, 10, p. 25-29.
- MIRANDA A. (1956).- El yacimiento mineral de Cercapuquio, Junin y la brunckita, mineral peruano. *Bol. Soc. Geol. Peru*, tome 30, p. 243-252.
- MITCHELL A.H.G. et GARSON M.S. (1976).- Mineralization at plate boundaries. *Mineral. Sci. Eng.*, vol. 2, n°8, p. 129-170.
- MITCHELL A.H.G. et GARSON M.S. (1981).- Mineral deposits and global tectonic setting. Academic Press, 405 p.
- NAGELL R.H. (1960).- Ore controls in the Morococha district. *Econ. Geol.*, vol. 55, p. 962-984.
- NOBLE D.C., Mc KEE E.H., FARRAR E. et PETERSEN U. (1974).- Episodic volcanism and tectonism in the Andes of Peru. *Earth and Planet. Sci. Let.*, 21, p. 213-220.
- NOBLE D.C., Mc KEE E.H. et MEGARD F. (1979).- Early Tertiary "Incaic" tectonism, uplift and volcanic activity, Andes of Central Peru. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, part 1, vol. 90, p. 903-907.
- NOBLE D.C., FARRAR E. et COBBING E.J. (1979).- The Nazca group of South-Central Peru: age, source, and regional volcanic and tectonic significance. *Earth and Planet. Sci. Let.*, 45, p. 80-86.
- NORMAN D.I. et LANDIS G.P. (1983).- Source of mineralizing components in hydrothermal ore fluids as evidenced by $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ stable isotope data from the Pasto Bueno deposit, Peru. *Econ. Geol.*, vol. 78, p. 451-465.
- PARADES J. (1982).- Los yacimientos de tipo "Hualgayoc" del sector Nor-Andino. *Sem. Explor. y Metalog. Yacim. Min.*, UNI, Lima, 15 p.
- PETERSEN U. (1965).- Regional geology and major ore deposits of Central Peru. *Econ. Geol.*, vol. 30, p. 407-476.
- PETERSEN U. (1975).- Nuevas investigaciones de yacimientos peruanos. *Sem. paragenesis, zoneamiento y exploracion*. Univ. Catolica, Lima, 27 p.
- PETERSEN U., NOBLE D.C., ARENAS M.J. et GOODELL P.C. (1977).- Geology of Julcani mining district, Peru. *Econ. Geol.*, vol. 72, p. 931-949.
- PITCHER W.S., ATHERTON M.P., COBBING E.J. et BECKINSALE R.D. (éditeurs) (1985).- Magmatism at a plate edge; the Peruvian Andes. Blackie, Glasgow, 323 p.
- PONZONI E. (1982).- Metalogenia del Peru. *In: Metalogenesis in Latino America*. Publ. IVGS, n°5, Mexico.
- RAMIREZ S.F. (1980).- Geologia del distrito minero de Colquijirca. Rapport interne (tinédit), C.M. El Brocal, 31 p.
- RIBERA N. et KÖBE H.W. (1983).- Metalogenia del Domo de Yauli. *Bol. Soc. Geol. Peru*, n°72, p. 177-196.
- ROMANI M. (1982).- Géologie de la région minière Uchucchacua-Hacienda Otuto, Pérou. Thèse 3ème cycle, Inst. Dolomieu, Grenoble, 176 p.
- RYE R.O. et SAWKINS F.J. (1974).- Fluid inclusions and stable isotope studies on the Casapalca Ag-Pb-Zn-Cu deposit, Central Peru. *Econ. Geol.*, vol. 69, p. 181-205.
- SAÏTO N., KAWASAKI M., AÏKAWA K. et HIBI F. (1981).- Ore genesis and exploration of the Huanzala mine. *Mine. Geol. Jap.*, vol. 31, p. 421-428.
- SAMANIEGO A. (1978).- Schichtgebundene Erze der Grube El Extrano (Ancash, Peru) und ihr geologischer Rahmer. Dipl. Arbeit, Univ. Heidelberg, 97 p.
- SAMANIEGO A. (1981).- Stratabound Pb-Zn-(Ag-Cu) ore occurrences in Early Cretaceous sediments of North and Central Peru. A contribution to their metallogenesis. Thèse Dr., Univ. Heidelberg, 209 p.
- SAMANIEGO A. et AMSTUTZ G.C. (1982).- Metalogenesis y exploracion de yacimientos estratoligados. Algunos ejemplos peruanos. *Sem. Explor. y Metal. Yacim. Mineral.*, UNI, Lima, 57 p.
- SATO H. et SAITO N. (1977).- Pyrite zones and zonal distribution of Cu-Zn-Pb ores in Huanzala mine, Central Peru. *Min. Geol. Jap.*, 27, p. 132-141.
- SILBERMAN M.L. et NOBLE D.C. (1977).- Age of igneous activity and mineralization, Cerro de Pasco, Central Peru. *Econ. Geol.*, vol. 72, (6), p. 925-930.
- SKESELY T.S. et GROSE L.T. (1972).- Stratigraphy of the carbonate, black shale and phosphate of the Pucara group (Upper Triassic-Lower Jurassic), Central Andes, Peru. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 83 (2), p. 407-428.
- SILLITOE R.H. (1974).- Tectonic segmentation of the Andes: implications for magmatism and metallogeny. *Nature*, vol. 250, p. 542-545.
- SILLITOE R.H. (1976).- Andean mineralization: a model for the metallogeny of convergent plate margins. *Geol. Assoc. Canada, Spec. Pap.* n°14.
- SOLER P. (1982).- Comentario sobre la distribucion de elementos menores y trazas (Ag, Bi, Hg, Se, Cd, In, Ge, Ga, Sn) en los yacimientos de Pb-Zn del Peru central. V Cong. Lat. Amer. Geol., actas IV, p. 159-175.
- SOLER P. et LARA M.A. (1983).- Metales menores y trazas asociados al plomo y al zinc en los yacimientos polimetálicos de los Andes Peruanos. Sintesis regional. *Bol. Soc. Geol. Peru*, n°72, p. 147-158.
- SOLER P. (1986).- La province polymétallique des Andes du Pérou central: géochimie des minerais polymétalliques. (sous presse, *Min. Depos.*)
- SOLER P., FORNARI M. et GRANDIN G. (1986).- Essai de synthèse sur la métallogénie du Pérou. (sous presse, *Géodynamique*, n°1).
- STEINMAN G. (1929).- Geologie von Peru. Carl Winters Universitätsbuchhandlung, Heidelberg, 448 p.
- THOUVENIN J.M. (1983).- Les minéralisations polymétalliques à Zn-Pb-Cu-Ag de Huaron (Pérou central). Minéralographie des minerais et pétrographie des altérations des éponges. Thèse Ing. Dr., ENS Mines de Paris, 223 p.
- THOUVENIN J.M. (1984).- Le gisement polymétallique à Zn-Pb-Cu-Ag de Huaron (Pérou): description des corps minéralisés, étude paragenétique, datations K/Ar des altérations hydrothermales, répartition de l'argent. *Chron. rech. min.*, n°477, p. 35-54.
- TSUCHIYA Y., TOLEDO M., MENDOZA D. et SOTO R. (1983).- Geologia del yacimiento minero de Huanzala. *Bol. Soc. Geol. Peru*, n°71, p. 176-190.
- VERA F. (1983).- Reinterpretacion genetica de la mineralizacion en el domo de Yauli. *Bol. Soc. Geol. Peru*, n°71, p. 176-190.
- VIDAL C. et CABOS R. (1983).- Zoneamiento regional de las alteraciones y menas hidrotermales en Hualgayoc-Cajamarca. *Bol. Soc. Geol. Peru*, n°71, p. 117-124.
- VIDAL C., MAYATA O., NOBLE D.C. et Mc KEE E.H. (1984).- Sobre la evolucion de soluciones hidrotermales desde el cintro volcanico Marcapunta en Colquijirca-Pasco. *Boll. Soc. Geol. Peru*, vol. jubilar LX anniv., fasc. 10; p. 1-14.
- WARD H.S. (1961).- The pyrite body and copper ore bodies, Cerro de Pasco mine, Central Peru. *Econ. Geol.*, vol. 56, p. 402-422.
- WILSON J.J. (1963).- Cretaceous stratigraphy of Central Andes of Peru. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 47(1), p. 1-34.
- WU I. et PETERSEN U. (1977).- Geochemistry of tetraedrite and mineral zoning at Casapalca, Peru. *Econ. Geol.*, vol. 72, p. 993-1016.