

## LE GISEMENT Ag, Pb, Zn, Cu DE PACHAPAQUI (PEROU) : ETUDE PRELIMINAIRE MINERALOGIQUE, PETROLOGIQUE ET MICROTHERMOMETRIQUE

Anne-Catherine VAN OVERBEKE <sup>1</sup> & Jean VERKAEREN <sup>1</sup>

**RESUME.** Le gisement de Pachapaqui, associé au cycle orogénique andin, est constitué de 6 types de minéralisations encaissés dans des sédiments d'âge crétacé inférieur, au voisinage d'intrusions de composition acide à intermédiaire d'âge miocène. Deux types de minéralisations sont actuellement exploités et ont fait l'objet de cette étude : les minéralisations en veines et les cuerpos.

Une étude pétrographique, ainsi que des analyses chimiques à la microsonde, ont permis de distinguer trois stades de minéralisation : un premier stade à Si-Fe-Zn-(Mn), un second à Ag-Pb-Mn-(As)-(Sb)-(Cu)-(Te) durant lequel apparaît l'alabandite, sulfure de Mn assez rare et enfin un troisième stade à Zn-Cu-(As)-(Sb)-(Pb).

Les inclusions fluides rencontrées dans le quartz précoce et la sphalérite plus tardive sont biphasées et se situent dans le système H<sub>2</sub>O-NaCl. Les températures d'homogénéisation sont plus élevées dans le quartz que dans la sphalérite. La salinité des fluides hydrothermaux mis en jeu varie de 3 à 10 % équiv.pds NaCl. Les données de l'étude des inclusions fluides, utilisées conjointement avec un autre géothermomètre suggèrent une température de formation située entre 350 et 270°C et une pression maximale de l'ordre de 750 bars, ce qui correspond à une profondeur de 2700m dans des conditions où P<sub>Tot.</sub> = P<sub>H<sub>2</sub>O</sub>.

Il s'agit donc vraisemblablement de minéralisations de type épithermal liées à des intrusions subvolcaniques de compositions acides à intermédiaires.

**MOTS-CLES:** veines, cuerpos, succession paragénétique, inclusions fluides, Pérou.

**ABSTRACT.** The Ag, Pb, Zn, Cu Pachapaqui (Peru) preliminary mineralogical, petrological and microthermometric study. The Pachapaqui deposit, associated with the andine orogen, includes six types of mineralisation emplaced in Lower Cretaceous sedimentary rocks, close to acid to intermediate intrusions of Miocene age. Two mineralisation types are currently exploited and are the subject of this study : veins and cuerpos.

Three main stages of mineralisation have been determined from petrographic study and microprobe analysis : stage I with Si-Fe-Zn-(Mn), stage II with Ag-Pb-Mn-(As)-(Sb)-(Cu)-(Te) and stage III with Zn-Cu-(As)-(Sb)-(Pb).

The fluid inclusions found in early quartz and late sphalerite are 2-phase and lie in the H<sub>2</sub>O-NaCl system. The homogenisation temperatures are higher in fluid inclusions from quartz than from sphalerites. The salinity of the hydrothermal fluids ranges between 3 and 10% wt.equ.NaCl. Data from the fluid inclusions study, used together with an independent geothermometer suggest a formation temperature between 350 and 270°C and a maximum pressure of approximately 750 bars which correspond to a depth of 2700m if P<sub>tot.</sub> = P<sub>H<sub>2</sub>O</sub>.

The mineralisations are therefore probably epithermal and related to subvolcanic acid to intermediate intrusions.

**KEYWORDS:** veins, cuerpos, paragenetic succession, fluid inclusions, Peru

<sup>1</sup> Université Catholique de Louvain, Laboratoire de Géologie et Minéralogie, Place L. Pasteur 3 - B-1348 Louvain-la-Neuve.

## 1. INTRODUCTION

Le domaine minier de Pachapaqui se situe dans le département d'Ancash, à environ 250km au nord de Lima (Fig. 1). Il s'étend sur 1292 hectares, à une altitude comprise entre 4200 et 4900 m, de part et d'autre d'une vallée glaciaire.

Le gisement est exploité depuis une dizaine d'années pour son minerai de Pb, Ag, Cu et Zn. Fin 1989, la mine produisait 228000 tonnes de minerai et 10000 tonnes de concentré par an. Les teneurs du minerai sont les suivantes : 10 oz/tonne Ag, 1.3 % Pb, 2% Zn et 0.5 % Cu.

Cette étude préliminaire, réalisée dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude (van Overbeke, 1991), a pour but de fournir quelques lueurs sur les conditions de formation du gisement par l'intermédiaire d'une étude paragenétique associée à quelques données recueillies par l'étude des inclusions fluides.

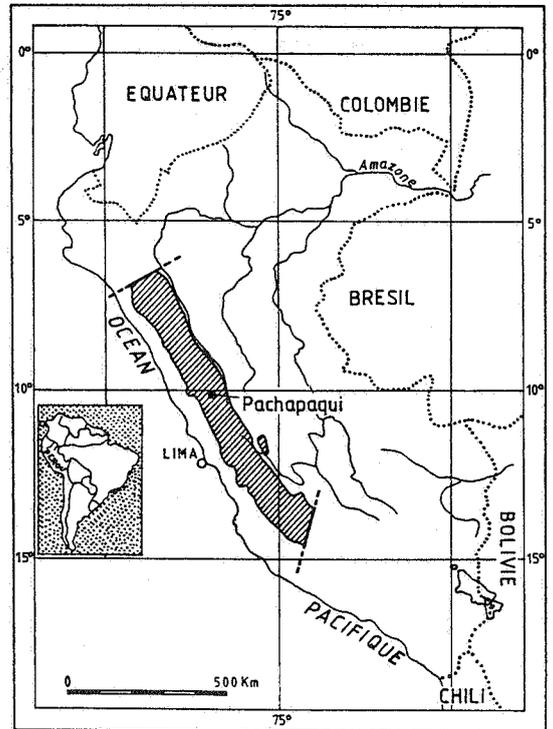
Le travail a été basé sur l'étude de 9 échantillons récoltés par BUGECO (Bureau of Geological Consultancy) en novembre 1989. Les échantillons ne peuvent être localisés précisément étant donné l'absence de carte géologique détaillée et de carte d'échantillonnage. Les seuls renseignements disponibles en ce qui concerne leur localisation sont le nom de la veine ou du cuerpos (voir plus loin) et le niveau auquel ils ont été prélevés.

## 2. CADRE GEOLOGIQUE ET MINERALOGIQUE

Pachapaqui fait partie de la province polymétallique des Andes du Pérou central (Fig. 1). Cette province de grande importance économique regroupe des minéralisations associées au cycle orogénique andin. C'est une ceinture de 800 km de long sur 120 km de large correspondant à la Cordillère orientale et aux Hauts-Plateaux. Les limites de ce segment correspondent, au nord, à un changement dans le style de chaîne (passage d'une chaîne constituée d'éléments océaniques et de blocs allochtones à une chaîne n'incluant pas de matériel océanique) et au sud à une modification du type de gisements rencontrés. Les principaux gisements de la province polymétallique du Pérou central sont des gisements stratiformes dans des séries carbonatées et des gisements en filons ou amas.

Le cadre géologique local du domaine minier est constitué de roches sédimentaires (calcaires et quartzites principalement) d'âge crétacé inférieur, fortement faillées, plissées. Dans ces roches, il y a des intrusions de composition acide à intermédiaire d'âge probablement miocène (Bugeco S.A., 1990).

D'un point de vue gîtologique, six types de minéralisation ont pu être mis en évidence à



**Figure 1.** Localisation de Pachapaqui au sein de la province polymétallique des Andes du Pérou central, d'après Soler *et al.* (1986).

Pachapaqui (Bugeco S.A., 1990). Il s'agit de minéralisations stratiformes, de porphyres cuprifères, de skarns, de brèches hydrothermales, de minéralisations en veines et de cuerpos. Les deux derniers seulement sont exploités et ont fait l'objet de cette étude. Les cuerpos sont des amas tubulaires de sulfures massifs qui bordent les filons à leur traversée de niveaux stratigraphiques favorables. Les minéralisations filoniennes sont contrôlées par des failles et des fractures d'orientation NW-SE/E-W/SW-NE.

## 3. MINERALOGIE, PETROGRAPHIE ET ANALYSES CHIMIQUES

### 3.1. DESCRIPTION MACROSCOPIQUE

La plupart des échantillons montre une zonalité marquée par l'alternance de niveaux de sulfures et de bandes constituées de minéraux de gangue, c'est-à-dire principalement de quartz et de rhodonite. (Ech. 10458, 10461, 10462, 10463, 10465) Cette zonalité correspond vraisemblablement à des bandes d'accroissement et/ou à des ouvertures et réouvertures. Malheureusement, aucune indication n'est disponible quant à la position des échantillons dans les veines ou les cuerpos.

La rhodonite se place assez systématiquement entre les sulfures et le quartz mais est parfois absente (Ech. 10464). Les principaux sulfures reconnaissables

macroscopiquement sont la galène, la sphalérite, la chalcopryrite et l'alabandite, sulfure de Mn.

Dans d'autres échantillons, les sulfures sont disséminés dans une gangue de quartz (Ech. 10460 et 10466). Ces sulfures sont de la sphalérite, de la chalcopryrite, de la pyrite et de la galène. L'échantillon 10466 présente également des veines de pyrite traversant la gangue de quartz.

Deux échantillons (10459, 10463) sont constitués d'alabandite massive traversée par des veines de quartz et rhodonite contenant des sulfures.

La mise en place successive des diverses bandes d'accroissement ne peut être reconstituée étant donné l'absence d'une étude microstructurale détaillée. Le gisement étant inaccessible actuellement, nous n'avons pas pu procéder à cette étude microstructurale.

### 3.2. DESCRIPTION MICROSCOPIQUE ET ANALYSES CHIMIQUES

Le tableau 1 reprend les compositions minéralogiques des différents échantillons. Les tableaux 2 et 3 reprennent les résultats des analyses chimiques à la microsonde des différents minéraux.

#### 3.2.1. La gangue

En plus du quartz et de la rhodonite ((Mn,Ca,Mg,Fe<sup>++</sup>)SiO<sub>3</sub>), la gangue est également

constituée de carbonates, de barytine (BaSO<sub>4</sub>), de séricite (KAl<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>)(OH,F)<sub>2</sub>) et de fluorine (CaF<sub>2</sub>).

*Rhodonite* : La formule structurale de la rhodonite calculée sur base de la moyenne des résultats obtenus pour quatre analyses est la suivante : (Mn<sub>0,782</sub>,Ca<sub>0,192</sub>,Mg<sub>0,003</sub>,Fe<sub>0,002</sub>)SiO<sub>3</sub>. Elle est caractérisée par sa faible teneur en Fe, vraisemblablement substitué par le Mg.

*Carbonates* : Les carbonates, de même que la barytine sont peu fréquents et se retrouvent en association avec le quartz et la rhodonite.

Deux types de carbonates peuvent être distingués grâce aux analyses chimiques. On a d'une part la rhodocrosite et d'autre part une solution solide entre la magnésite, la calcite et la rhodocrosite.

La séricite n'a été observée qu'en présence de quartz.

#### 3.2.2. Les sulfures

Outre les sulfures reconnaissables macroscopiquement, c'est-à-dire la galène, la sphalérite, l'alabandite et la chalcopryrite, on note la présence de pyrite, de tennantite-tétraédrite, de bournonite, d'énargite et d'un tellure d'Ag (cervelleite ?).

*Chalcopryrite (CuFeS<sub>2</sub>)* : La chalcopryrite se présente soit sous forme de grandes plages, soit sous forme d'inclusions dans la galène et la sphalérite. Les

gangue	VEINES						CUERPOS		
	10461	10462	10463	10465	10466a	10466b	10458	10459	10464
QUARTZ	xxx	xxxx	xx	xx	xxx	xxxx	xxxx	xx	xxxx
ALABANDITE	x		xxxx					xxxx	
RHODONITE	xxx	xx	xxx	xxxx	xxx		xx	xxx	
CARBONATES	xx		xx	x	x		x	xx	xx
BARYTINE	x	xx		xx			xx		
FLUORINE							x		
MICAS BLANCS.									
Phase minéralisée									
GALENE	xxx P	I xxx P	I xx	I xxx P	xx	I xx	I xxx P	xxx P	I xxx P
CHALCOPRYRITE	x	I xxx P	I xxx P	I xxx P	I x	I x	xxx P	I xx P	I xxx P
PYRITE	x	I x	I xx P	I xx P	xxxx	V xxx P/R	x	xx P	xxx P
SPHALERITE	xxx P	I x	I xx	xxxx P	x	xx P	I xxx P	I xxx P	xxx P
TENN.-TETR.	xxx P	I x	I x P	I x	I x	I	x	I xx P	I x
ENARGITE	x	I							
BOURNONITE	x	I							
CERVELLEITE ?		x	I	x	I				

LEGENDE	
xxx : très abondant	I : inclusions
xxx : abondant	P : Plages
xx : moyennement présent	R : Rectangles
x : rare	C : Cube
	V : Veines

Tableau 1. Tableau récapitulatif des compositions minéralogiques.

	Chalcopryrite		Alabandite		Galène		Sphalérite		Tenn.-Tétr.	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	41/10463	26/10458
Zn	0.11	0.06	0.00	0.00	0.02	0.03	54.71	2.58	6.21	5.23
Cd	0.02	0.02	0.04	0.05	0.02	0.04	0.26	0.05	0.05	0.40
Fe	29.69	0.67	0.20	0.16	0.04	0.04	0.51	0.38	0.92	0.44
Ag	0.03	0.04	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.00	1.00	17.82
Cu	0.01	0.43	0.02	0.03	0.12	0.15	0.21	0.28	41.72	24.93
Ni	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00
Co	0.02	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
Mn	0.10	0.10	62.86	0.47	0.03	0.02	6.05	2.89	1.43	0.76
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	86.10	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00
Se	0.01	0.02	0.00	0.01	0.10	0.06	0.01	0.01	0.15	0.02
As	0.06	0.04	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	15.86	0.96
Sb	0.06	33.48	0.02	0.04	0.13	0.06	0.03	0.02	5.44	29.24
S	35.74	0.34	37.01	0.12	13.53	0.21	34.16	0.28	28.76	23.79
<b>Total</b>	<b>99.27</b>	<b>1.17</b>	<b>100.30</b>	<b>0.48</b>	<b>100.16</b>	<b>1.01</b>	<b>95.88</b>	<b>1.80</b>	<b>101.54</b>	<b>103.59</b>

**Tableau 2.** Composition chimique moyenne de la chalcopryrite, l'alabandite, la galène et la sphalérite ; Mean = moyenne, SD = déviation standard. Composition chimique de deux tennantites-tétraédrites (la plus riche et la plus pauvre en Ag). Analyses à la microsonde électronique.

inclusions de chalcopryrite dans la sphalérite sont de forme, de taille et de densité variables (Planche 1, fig. 1). Ces inclusions ont longtemps été interprétées comme étant des exsolutions mais il apparaît actuellement que ce sont en fait des textures de remplacement de la sphalérite par la chalcopryrite désignées sous le nom de «DIS» c'est-à-dire «diffusion induced segregations» (Bente & Doering, 1993). Ces auteurs ont en effet démontré, par l'intermédiaire d'études expérimentales, la possibilité d'une diffusion à l'état solide qui conduit au remplacement de la sphalérite par la chalcopryrite. Cette diffusion concernerait le remplacement du Fe par le Cu dans le réseau de la sphalérite, conduisant à la formation de la chalcopryrite. La source du Cu serait extérieure à la sphalérite. Les conditions nécessaires aux mécanismes de cette diffusion sont :

1. un contenu minimum en Fe dans la sphalérite ;
2. un certain rapport Cu:Fe de la source ;
3. un gradient de potentiel chimique du Cu entre la sphalérite et la source ;
4. une augmentation de la fugacité du soufre.

Les chalcopryrites analysées présentent des compositions homogènes, proches de la composition stoechiométrique (Tab. 2).

Elts	Pt1, Lm10462	Pt5, Lm10458	Pt2, Lm10462
Cu	0.85	2.19	0.23
Ag	65.79	66.82	64.81
Te	28.15	22.43	32.79
S	7.14	4.47	2.17
<b>Total</b>	<b>101.92</b>	<b>97.1</b>	<b>100</b>

**Tableau 3.** Composition chimique du tellure d'argent (cervelleite). Analyses à la microsonde électronique.

*Alabandite (MnS)* : Ce sulfure de Mn assez rare, isotrope et à fort relief, présente une couleur verte très foncée en lumière naturelle et une couleur grise en lumière réfléchie. Ce minéral a pu être observé sous deux formes :

\* soit en grandes plages contenant parfois des inclusions de chalcopryrite ;

\* soit sous forme d'inclusions dans la sphalérite (Planche 1, fig. 2). Ces inclusions ont en général la forme de lentilles dont la longueur varie de 2 à 35  $\mu$  et parfois la forme de grains arrondis de  $\pm 3$  à 10  $\mu$  de diamètre. Dans ce cas, il est possible que ces inclusions d'alabandite résultent d'un phénomène d'exsolution. En effet, le Mn, contrairement au Cu, rentre en solution solide dans la sphalérite ce qui rend possible la formation d'exsolutions d'alabandite lorsque la température diminue. Il n'est cependant pas exclu que ces inclusions résultent d'un mécanisme de diffusion semblable à celui décrit pour les inclusions «DIS» de chalcopryrite dans la sphalérite. Jusqu'à présent, aucune étude expérimentale n'a été réalisée dans ce domaine.

Les analyses à la microsonde donnent à l'alabandite une composition très pure, malgré la présence d'un petit peu de Fe dans certains échantillons (Tab. 2).

*Galène (PbS)* : La galène se présente majoritairement sous forme de grandes plages et contient fréquemment des inclusions de chalcopryrite, de tennantite-tétraédrite, de sphalérite et de pyrite. Exceptionnellement, on la retrouve en inclusions dans la sphalérite.

La majorité des galènes analysées a une composition très pure, malgré un début de substitution entre Se et S observé dans une analyse (Tab. 2).

*Sphalérite (ZnS)* : La sphalérite présente est très claire, ce qui traduit sa faible teneur en Fe. Elle se présente en grandes plages et renferme un grand nombre d'exsolutions ou inclusions d'alabandite, comme nous l'avons vu précédemment. On retrouve également la sphalérite en inclusion dans la galène. La sphalérite est caractérisée par la présence systématique de Mn et ce en quantité variable (tableau 2).

*Tennantite-tétraédrite (Cu<sub>12</sub>(As,Sb)<sub>4</sub>S<sub>13</sub>)* : Ces minéraux se présentent le plus souvent en inclusions dans la galène et plus rarement sous forme de grandes plages.

Le groupe de la tennantite-tétraédrite présente une large gamme de composition résultant de solutions solides, d'une part entre le Sb et l'As et d'autre part entre le Cu et l'Ag. Les deux analyses reprises dans le tableau 2 sont la plus riche et la plus pauvre en Ag. Le point 41 correspond à la variété antimonieuse, c'est-à-dire la tennantite. L'analyse présentant la plus forte teneur en Ag correspond à un terme intermédiaire entre la tétraédrite et la freibergite.

*Cervelleite ? (Ag<sub>4</sub>TeS)* : Ce minéral est de couleur gris-vert pâle et apparaît en très petites inclusions (7.8 à 52 μ) dans la galène (Planche I, fig. 3). Son pouvoir réflecteur est faible comparé à celui de la galène.

Les premières analyses de ce minéral bouclant à 75 %, un analyse qualitative à la microsonde a été réalisé et a permis de mettre en évidence la présence de tellure. Une deuxième série d'analyses a été effectuée (1°/10462, tab. 3) donnant à ce minéral une composition proche de la cervelleite et des variétés sans nom qui lui sont rapportées (Criddle *et al.*, 1989).

*Pyrite (FeS<sub>2</sub>)* : Elle se présente en petits cubes, en grandes plages xénomorphes ainsi qu'en inclusions dans la galène.

*Énargite (Cu<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub>)* : L'énargite est contenue en petites inclusions xénomorphes dans la galène.

*Bournonite (CuPbSb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)* : Les plages de bournonite ont une taille moyenne et se trouvent fréquemment en contact avec de grandes plages de tennantite-tétraédrite.

Ces trois minéraux ne présentent rien de particulier du point de vue de leur composition chimique.

#### 4. ETUDE PARAGENETIQUE

L'étude paragenétique est basée sur l'étude des relations spatiales entre les différents minéraux c'est-à-dire des textures. Dans le cas de Pachapaqui, cette étude se base uniquement sur des observations microscopiques. En effet, le manque d'information quant à la localisation et la position des échantillons dans les corps minéralisés nous empêche de baser

notre étude paragenétique sur des observations macroscopiques et de mettre en relation les résultats obtenus et la zonalité des échantillons.

L'interprétation des différentes textures n'est pas toujours aisée. En effet, la présence en inclusion d'un minéral dans un autre peut être interprétée de différentes manières. D'une part, il peut s'agir d'un minéral préexistant remplacé par le minéral qui le contient et l'inclusion représente dans ce cas une «relique» du minéral préexistant. D'autre part, il a été suggéré que certaines inclusions apparaissant comme des «spots» ou gouttelettes dans un autre minéral représentent une phase tardive, remplaçant progressivement le minéral hôte. Enfin, il est également possible que ces inclusions apparaissent dans le minéral hôte par démixtion. En nous basant principalement sur la première proposition, nous avons tenté d'établir une succession paragenétique (tableau 4) et avons identifié trois stades de minéralisation. Les principales observations sont les suivantes.

La galène contient un grand nombre d'inclusions que ce soit de sphalérite, de chalcopyrite, de tennantite-tétraédrite, d'énargite ou de cervelleite ce qui nous amène à considérer la galène comme résultant d'une phase de minéralisation postérieure aux autres minéraux. Néanmoins, à certains endroits, la sphalérite semble remplacer progressivement la galène et isole des petites plages de galène, ce qui suggère l'existence de deux générations de sphalérite. La tennantite-tétraédrite est soit contenue en inclusion dans la galène et constitue dans ce cas une relique de tennantite-tétraédrite préexistante, soit présente sous forme de grandes plages. Dans ce dernier cas, elle résulte d'une phase postérieure à la galène qu'elle remplace progressivement. Deux générations de tennantite-tétraédrite peuvent donc être distinguées.

Le contact entre la galène et la pyrite se présente sous forme d'un contour déchiqueté. La pyrite semble progressivement disparaître au profit de la galène. On trouve de nouveau des «restes» de pyrite dans la galène.

La chalcopyrite semble avoir cristallisé lors de deux phases. En effet, on la trouve d'une part sous forme d'inclusions reliques dans la galène et d'autre part sous forme de grandes plages à la limite entre la gangue et la phase minéralisée. Elle prendrait naissance au niveau de cette limite, progresserait dans la phase minéralisée (galène le plus souvent) et serait donc tardive, comme le sont les inclusions «DIS» dans la sphalérite.

Dans le but de déterminer lors de quel stade sont apparus les éléments économiquement importants, nous avons mis en relation la succession paragenétique et les résultats des analyses chimiques à la microsonde. Ces éléments sont repris dans le tableau 4.

Minéraux	Stade I	Stade II	Stade III
<b>Silicates</b>			
Quartz	-----		
Rhodonite	-----		
Micas blcs		- - - - -	
<b>Carbonates</b>	-----		
Barytine	-----		
Fluorine	-----		
<b>Sulfures</b>			
Alabandite		-----	
Sphalérite	-----		-----
Galène		- - - - -	
Pyrite	-----		
Tenn.-Tétr.		-----	-----
Chalcopyrite		-----	-----
Enargite		-----	
Bourmonite			-----
Cervelleite		-----	

Tableau 4. Succession paragénétique (tentative).

Nous avons donc un premier stade de minéralisation à Si-Fe-Zn-(Mn), où cristallisent l'ensemble des minéraux de la gangue ainsi que principalement la sphalérite.

Le deuxième stade à Ag-Pb-Mn-(Cu)-(As)-(Sb)-(Te) est le plus important d'un point de vue économique et est caractérisé par l'apparition de la majorité des sulfures. Les phases porteuses de l'Ag sont une génération de tennantite-tétraédrite riche en argent et pauvre en cuivre et un tellure d'Ag de composition incertaine qui serait peut-être de la cervelleite. C'est à ce stade qu'apparaît l'alabandite à la fois sous forme de grandes plages et d'inclusions dans la sphalérite.

Au troisième stade ou stade à Cu-(As)-(Sb)-(Pb), une seconde génération de chalcopyrite, de tennantite-tétraédrite cette fois riche en cuivre et pauvre en argent, ainsi que l'apparition de la bourmonite provoque un apport important de cuivre. Il est intéressant de noter qu'il existe une corrélation entre la teneur en argent dans la tennantite-tétraédrite et la génération de tennantite-tétraédrite considérée.

## 5. ETUDE DES INCLUSIONS FLUIDES

Les mesures ont été effectuées sur des inclusions fluides contenues principalement dans le quartz et accessoirement dans des grands cristaux de sphalérite appartenant vraisemblablement au troisième stade. Les inclusions rencontrées sont toutes biphasées, c'est-à-dire constituées d'une phase liquide et d'une phase vapeur (L+V), et se situent dans le système H<sub>2</sub>O-NaCl.

Dans le quartz, deux populations peuvent être distinguées. Tout d'abord, une population

d'inclusions fluides primaires, dont la taille varie de 6 à 60  $\mu$  et qui se répartissent de façon homogène au sein des grains de quartz. Ensuite, des alignements d'inclusions fluides secondaires de taille très petite ( $1 \mu < x < 4 \mu$ ), certaines atteignant parfois 5 à 25  $\mu$ . Dans la sphalérite, deux populations peuvent également être mises en évidence (Planche 1, fig. 4). Les inclusions primaires ont une taille comprise entre 3 et 60  $\mu$  et les inclusions secondaires, de taille inférieure à 2  $\mu$ , forment des alignements ou sont rassemblées en «nuages».

Leur morphologie est très variable ; certaines présentent une forme ovale alors que d'autres ont des formes très irrégulières avec un contour parfois déchiqueté (Planche 1, fig. 5).

### 5.1. PRINCIPAUX RÉSULTATS

#### 5.1.1. Température d'homogénéisation (Th)

Environ 170 mesures de Th ont été réalisées sur des inclusions fluides présentes dans des cristaux de quartz de 6 échantillons. Neuf Th ont été mesurées dans la sphalérite (Tableau 5, fig. 2). En ce qui concerne les inclusions primaires, la comparaison des histogrammes des Th des inclusions provenant du quartz et de la sphalérite indique une Th légèrement inférieure pour les inclusions fluides de la sphalérite. La gamme des Th des inclusions contenues dans le quartz s'étend de 260 à 340°C alors que dans la sphalérite les Th sont comprises entre 270 et 300°C. On peut en déduire que l'apparition des trois stades de minéralisation s'est faite sous un faible gradient de température.

Les quelques mesures effectuées sur les inclusions fluides secondaires (13) indiquent des températures d'homogénéisation de 210 à 250°C.

#### 5.1.2. Salinité et composition du fluide

La teneur en sel peut être estimée à partir de la température de fin de fusion de la glace (Tab. 5). Les températures de fin de fusion (T<sub>ff</sub>) sont comprises entre - 6 et - 1°C, ce qui correspond à des salinités de l'ordre de 2 à 8 % équ.pds NaCl. La seule donnée pour les inclusions secondaires donne une salinité de 10 % équ.pds NaCl.

Les températures eutectiques (T<sub>e</sub>), c'est-à-dire du début de fusion de la glace, nous donnent des indications quant à la composition du fluide. Ces températures sont comprises entre - 24 et - 38°C (Tab. 5). Il semble que le principal constituant soit le NaCl, mais on peut toutefois supposer la présence en assez faible quantité d'autres constituants comme le KCl, le MgCl<sub>2</sub>, le FeCl<sub>2</sub> et le CaCl<sub>2</sub>.

Lm1/10461		Lm2/10462		Lm4/10458			Lm6/10464			Lm7/10465		Lm8/10466		Lm8/10461	
Th	Tff	Th	Tff	Th	Te	Tff	Th	Te	Tff	Th	Tff	Th	Tff	Th	Tff
280	-3.8	*237	-6	314	-34	-3.3	*223			295	-2.8	356	-2.4	295	-1.8
322	-2.6	*239		309	-38	-3.6	*217			292	-2	342	-2.8	279	-0.9
302		*235		318			*241			324		337		282	
303		*239		297			299	-24	-1.8	313		342		270	
313		*233		320			296		-2	308		347		294	
308		*233		319			299		-4.9	314		333		274	
306		*238		322			310		-2.7	314		320		288	
307		*232		323			290			317		350		294	
288		*250		320			287			319		332		302	
304		*221		305			312			290		347			
300		276	-4.1	329			293			297		308			
316		260		330			322			306		340			
296		284		326			328			309		348			
290		271		326			334			306		329			
297		279		325			332			314		335			
310		280		330			296			298		337			
290		267		309			341			299		347			
307		273		308			290			301		299			
296		274		308			295			305		341			
296		292		310			297			306		310			
297		294		300			320			310		336			
315		314					327			305		343			
307		305					331			305		337			
300		312					279			308					
302		332					293			311					
		290					313			296					
		314					317			305					
		320					290			307					
		330					260			308					
		277					312			299					
		287													
		297													
		312													
		298													
		311													
		314													
		327													
		318													

**Tableau 5.** Résultats des mesures microthermométriques réalisées sur des inclusions fluides appartenant au système H<sub>2</sub>O/NaCl, contenues dans le quartz et la sphalérite (Lm8'/10468).

Th : température d'homogénéisation (°C)

Te : température eutectique (°C)

Tff : température de fin de fusion

\* : inclusions fluides secondaires

## 5.2. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Pour avoir une estimation des conditions de pression, il est intéressant de mettre en relation les données de l'étude des inclusions fluides (Th) et la température de formation (TD) estimée à partir d'un autre géothermomètre indépendant des inclusions fluides. Pour estimer le domaine de la température de formation, nous avons appliqué le géothermomètre

proposé par Bethke et Barton (1971), qui utilise le coefficient de distribution d'un élément mineur entre deux sulfures. Dans notre cas, le seul élément mineur distribué entre deux sulfures est le Mn que l'on retrouve à la fois dans la sphalérite et dans la galène (tableau 6). Mais ces résultats obtenus via l'utilisation de ce géothermomètre doivent être considérés avec une grande prudence. En effet, une condition essentielle garantissant l'applicabilité de cette

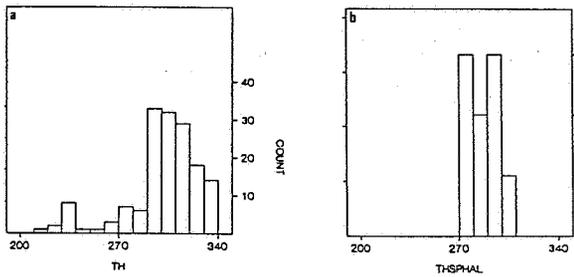


Figure 2. Histogrammes illustrant la dispersion des températures d'homogénéisation mesurées dans le quartz (a) et la sphalérite (b).

méthode est que les deux minéraux considérés soient en équilibre et cette condition n'est pas remplie avec certitude dans le cas de Pachapaqui. De fait, nous avons utilisé des plages de galène situées au contact de plages de sphalérite tardive, mais nous ne pouvons garantir leur équilibre, ne les ayant pas considérés dans notre succession paragénétique comme apparaissant lors du même stade de minéralisation. Néanmoins, les données d'inclusions fluides semblent montrer que les différents stades de minéralisation ont pris place dans des conditions de température assez similaires. D'autre part, la cohérence des résultats obtenus et la comparaison avec les conditions de

Lame	MnS Gal.%Pds	MnS Sph.%Pds	$N_{MnS}^{ga}$	$N_{MnS}^{sph}$	K	LogK	TFC
10461	0.03 0.02 <u>0.025</u>	4.53 4.14 <u>4.34</u>	0.00025	0.045	179	2.25	350
10461	0.02 0.01 <u>0.015</u>	6.04 6.07 6.1 <u>6.07</u>	0.00015	0.0648	432	2.6	275
10458	0.04 0.0 0.02 <u>0.02</u>	4.33 4.33 <u>4.33</u>	0.0002	0.046	230	2.3	340
10459	0.06	12.86	0.0006	0.13	216	2.3	340

Tableau 6. Calcul des températures de formation à partir du coefficient de distribution du MnS entre la galène et la sphalérite. Avec  $K = (\% \text{ pds Mn}) / (\% \text{ pds Pb} + \% \text{ pds Mn}) = (\% \text{ pds Mn}) / (\% \text{ pds Zn} + \% \text{ pds Mn})$

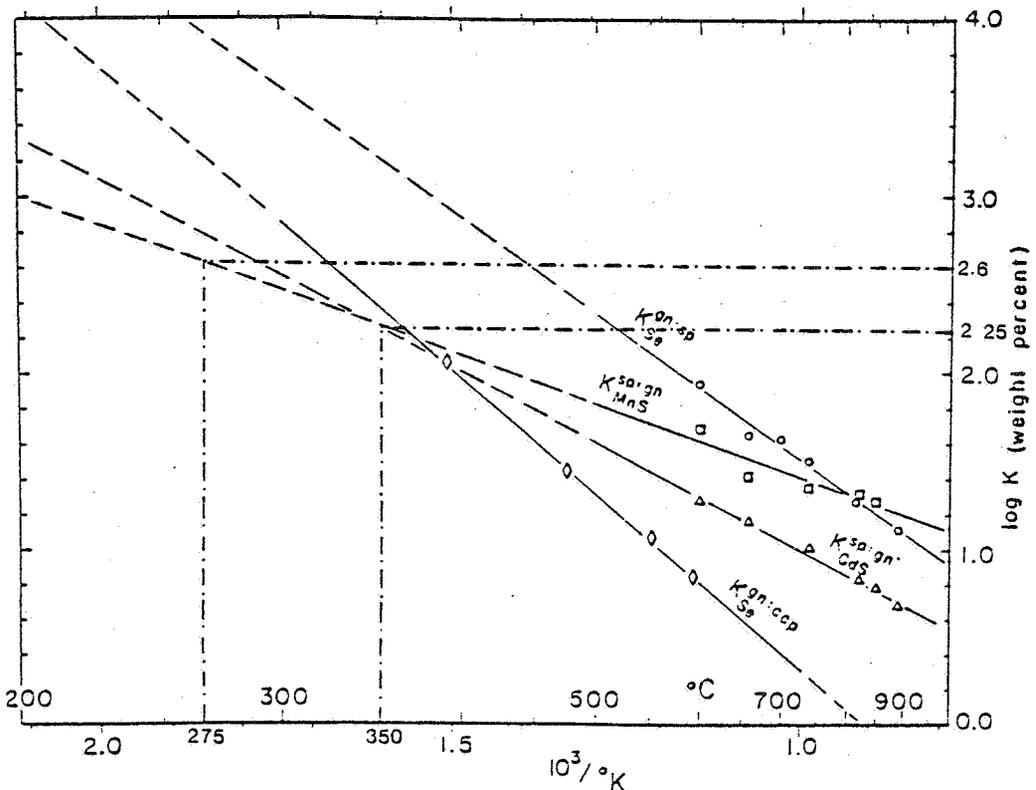


Figure 3. Diagramme reprenant les variations des coefficients de distribution avec la température. Les logarithmes des coefficients de distribution minimum et maximum calculés dans le cas de Pachapaqui, pour la distribution du MnS entre la galène et la sphalérite, ont été reportés sur ce diagramme et ont permis d'estimer la température de formation via les courbes expérimentales (d'après Bethke & Barton, 1971).

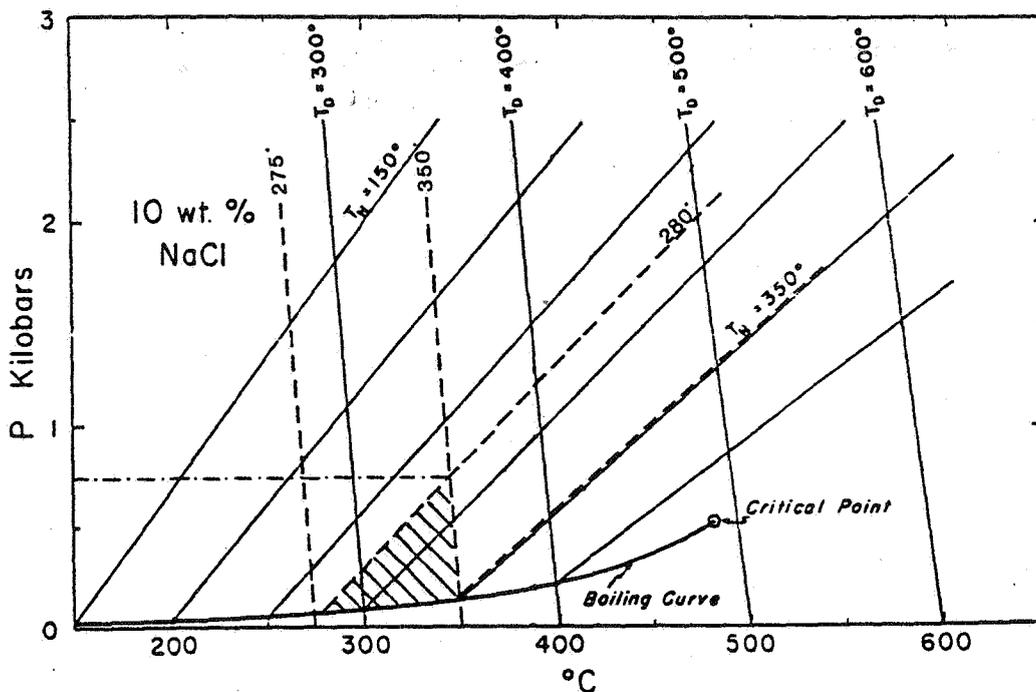


Figure 4. Estimation de la pression par superposition des données de l'étude des inclusions fluides ( $T_h$  = température d'homogénéisation) et de la température de formation (TD) estimée à partir du coefficient de distribution d'un élément mineur entre deux sulfures, et ce pour une salinité de 10% équ.pds NaCl (d'après P.M.Bethke et J.R.Barton, 1971).

formation estimées pour des gisements similaires à celui de Pachapaqui (Rye & Sawkins, 1974 ; Bussel *et al.*, 1990) nous ont poussé à les prendre en compte et à les considérer comme une approche valable du domaine de température et de pression de formation.

La méthode est la suivante : on reporte sur le graphique de la figure 3, le logarithme des coefficients de distribution du MnS entre PbS et ZnS et l'on obtient la température de formation via les courbes expérimentales établies par Bethke et Barton pour une salinité de 10 % équ.pds NaCl. De cette manière, nous avons obtenu pour Pachapaqui une température de 270 à 350°C. Sur le diagramme P-T de la figure 4, intégrant les données P-V-T pour une salinité de 10% équ.pds NaCl, on reporte les températures de formation à partir desquels on tire des droites, parallèlement aux droites expérimentales de  $KD=csts$ . Les températures d'homogénéisation, issues de l'étude des inclusions fluides, sont elles aussi replacées dans ce même diagramme. Le domaine d'intersection de ces droites nous donne une estimation de la pression. La pression maximale est d'environ 750 bars, ce qui correspond à une profondeur maximale de  $\pm 2700m$  si l'on se place dans des conditions où  $PTot.=PH_2O$ .

## 6. CONCLUSIONS

1. Il est important pour la production des concentrés de savoir dans quels minéraux se situent les éléments valorisables. A ce sujet, nous sommes arrivés aux

conclusions suivantes :

- \* le Pb peut être extrait de la galène principalement et de la bournonite accessoirement ;
- \* l'Ag est situé dans la tennantite-tétraédrite et sous forme de tellurure ;
- \* le Cu se retrouve dans la tennantite-tétraédrite, la chalcopryrite, la bournonite et l'énargite ;
- \* le Zn n'est contenu que dans la sphalérite.

Mais il faut également tenir compte de la présence des éléments pénalisants. Ce sont principalement le Mn dans la sphalérite et l'As-Sb dans la tennantite-tétraédrite.

2. Les minéralisations se sont mises en place lors de trois stades qui se différencient par l'apparition et l'apport de différents minéraux et éléments, sous un faible gradient de température (350 à 275°C), à une profondeur maximale de 2700 mètres, sous une pression inférieure à 750 bars.

De tous ces éléments, on peut conclure qu'il s'agit vraisemblablement de minéralisations de type épithermal liées à des intrusions subvolcaniques de composition acide à intermédiaire. Les fluides peuvent être soit d'origine magmatique, soit provenir d'un mélange de ceux-ci avec des eaux d'origine météorique mises en circulation convective autour de l'intrusion.

## 7. REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier tout spécialement la société Bugeco, initiatrice de cette

étude, qui nous a fourni les échantillons. Nous les remercions également pour leur accueil et leur soutien financier.

## 8. BIBLIOGRAPHIE

BENTE, K. & DOERING, T., 1993. Solid-state diffusion in sphalerites : an experimental verification of the «chalcopyrite disease». *Eur. J. Mineral.*, 5: 465-478.

BETHKE, P.M. & BARTON, J.R., 1971. Distribution of some minor elements between coexisting sulfides minerals. *Econ. Geol.*, 66: 140-163.

BUGECO S.A., 1990. La mine polymétallique de Pachapaqui (Pérou). Rapport préparé par Bugeco S.A. pour Sogem (Mission 2). Bugeco, rapport 122.

BUSSEL, M.A. *et al.*, 1990. The Ag-Mn-Pb-Zn vein, replacement, and skarn deposits of Uchucchacua, Peru : studies of structure, mineralogy, metal zoning, Sr isotopes, and fluid inclusions. *Econ. Geol.*, 85: 1348-1383.

CRIDDLE, A.J., CHISHOLM, J.E. & STANLEY, C.J., 1989. Cervelleite,  $Ag_2TeS$ , a new mineral from the Bambolla mine, Mexico, and a description of a photo-chemical reaction involving cervelleite, acanthite and hessite. *Eur. J. Mineral.*, 1: 371-380.

RYE, R.O. & SAWKINS, F.J., 1974. Fluid inclusions and stable isotopes studies on the Casapalca Ag-Pb-Cu-Zn deposit, Central Peru. *Econ. Geol.*, 69: 181-205.

SOLER, P., 1986. La province polymétallique des Andes du Pérou central : synthèse géologique. *Chronique Rech. Min.*, 482: 39-54.

VAN OVERBEKE, A-C., 1991. Etude des minéralisations (Ag, Pb, Zn, Cu) du gisement de Pachapaqui (Pérou). Mém. licence, Université Catholique de Louvain (inédit), 58 p.

Manuscrit reçu le 16.05.1994 et accepté pour publication le 7.12.1994.

## PLANCHE 1

**Figure 1.** Inclusions de chalcopryrite dans la sphalérite. Lm 10458, obj. 20 x, LR.

Légende : chp : chalcopryrite - sph : sphalérite. Echelle : 26  $\mu$ .

**Figure 2.** Exsolutions ou inclusions d'alabandite dans la sphalérite. Lm 10463, obj. 40 x, LR.

Légende : al : alabandite - sph : sphalérite. Echelle : 13  $\mu$ .

**Figure 3.** Inclusion de cervelleite dans la galène. Lm 10462, obj. 20 x, LR.

Légende : chp : chalcopryrite - ga : galène - ce : cervelleite. Echelle : 26  $\mu$ .

**Figure 4.** Alignement d'inclusions fluides secondaires au voisinage d'inclusions fluides primaires de plus grande taille (sphalérite). Lm 8, éch. 10466, obj. 20 x, LT.

Echelle : 26  $\mu$ .

**Figure 5.** Morphologie d'inclusions fluides primaires dans le quartz. Lm 2, éch. 10462, obj. 10 x, LT.

Echelle : 52  $\mu$ .

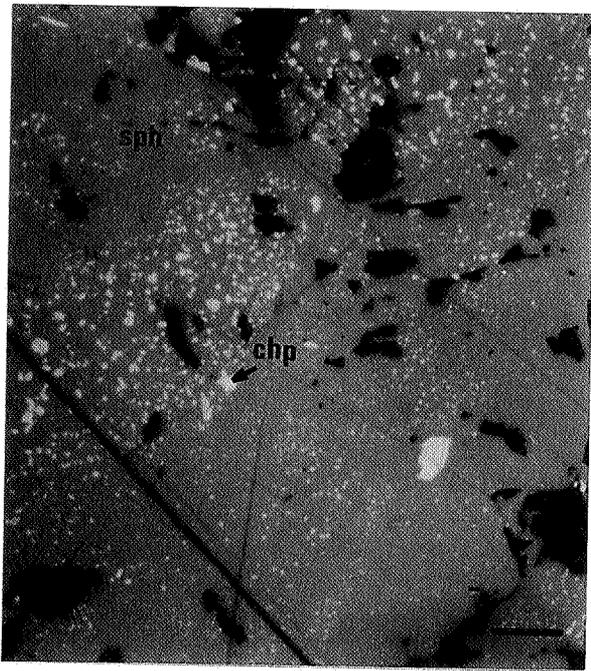


Fig. 1

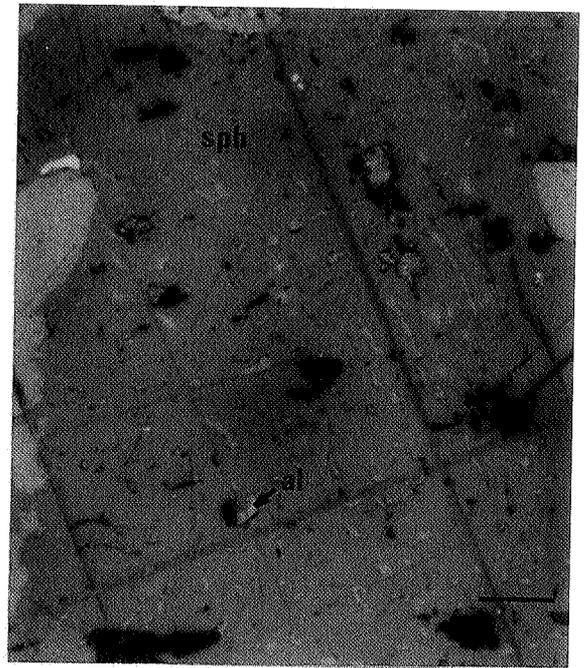


Fig. 2

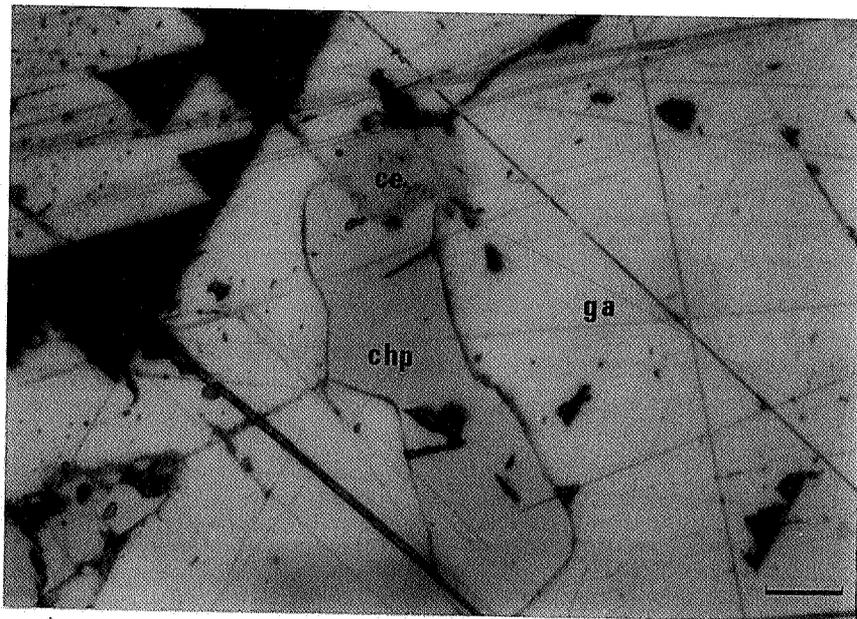


Fig. 3

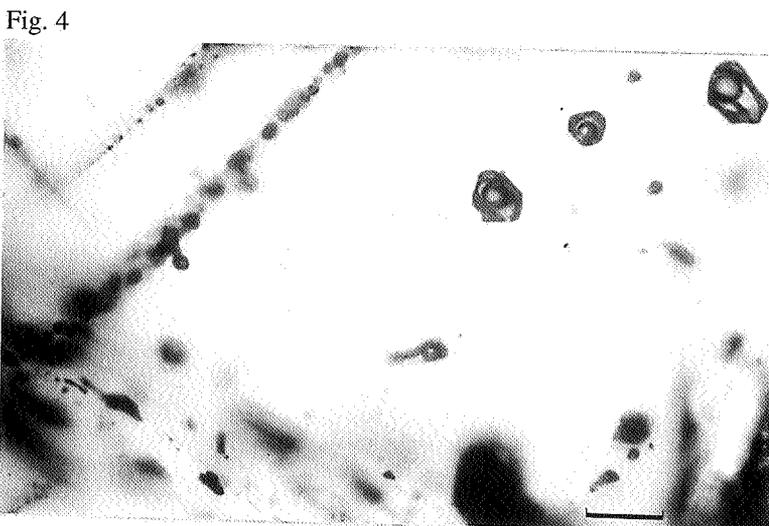


Fig. 4

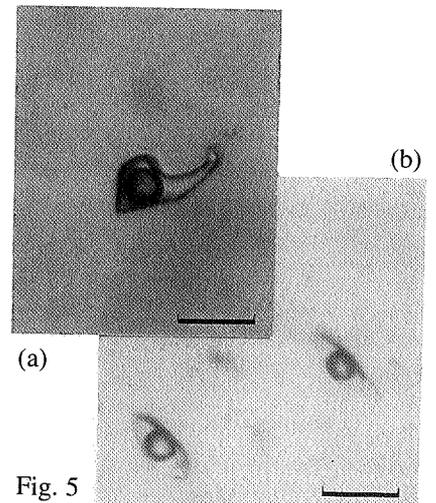


Fig. 5

## COMPTE-RENDU - BOEKBESPREKINGEN

*Theophrastus Contributions to Advanced Studies in Geology*. Volume I, 1996, Theophrastus publications, S.A., 33 Theologou Street, Zographou, Athens, Greece, 260 p. ISBN 960-7457-10-2. Price : \$ 45,-.

The first volume of «Theophrastus' Contributions to Advanced Studies in Geology» is a sample-card of what will be brought under the attention of those readers, who like to explore new paths in a multiplicity of disciplines concerning the study of the planet Earth. It starts with critical and innovating articles about Earth pulsations, expanding Earth and Plate Tectonics. This is the most intriguing part of the volume. The authors express their youngest ideas about the way mantle material is transformed into new crust, about geopulsation-related tectonic cycles, phases of increasing intensity of ophiolite formation, geomagnetic field inversions and eustatic fluctuations of ocean level.

The changes in the Earth's surface area, the observations that the length of zones of sea-floor spreading exceeds those of subduction by a factor of about 1.5, support the idea that the Earth expands. In this respect the Plate Tectonic Model has to be adapted to the latest results obtained by means of different technical and ideological approaches.

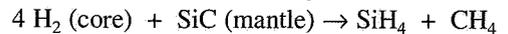
The primary source of energy and primary seat of physicochemical changes has to be located at the core-mantle boundary (CMB). Not just the upper mantle is responsible for all geodynamic phenomena in the asthenosphere and lithosphere. Detailed investigations are supposed to reveal that traces (roots) of mountains and fold belts of cratons and ocean ridges extend to much greater depths, may be down to the base of lower mantle. Such suggestions will stimulate young scientists to dig deeper in the Earth to unravel the past and to foresee the future of our planet Earth.

Under the heading Petrography-Petrogenesis two articles earn special attention. One treats a way granitoid rocks can be classified based on their chemical composition. A statistical method based on the quantilic expression of chemical analyses has been used to create stable classes of granitoids including their specific mineralization.

The second contribution proposes a mechanism with which igneous basic rocks can be formed in the upper crust. Sialic matter at high temperatures transformed Keuper Marly evaporitic materials in igneous basic rocks. The significance of sialic thickening, the chemical (internal) and thermal sources are treated and petrogenetic reactions between the sediments and chemical elements of the sialic basement are given. The conditions of formation are discussed.

Related to the topic of «Applied and Ore Geology» an interesting contribution about metal ore fields and

petroleum deposits resulting from silane and hydrocarbon emanations through crystalline terrain leads us back to the core and mantle of the Earth. The author exposes his ideas about metal segregation and the genesis of petroleum fields in relation with hydrogen released from the core and mobilization of silicon and carbon as silanes (SiH<sub>4</sub>) and alkane hydrocarbons (CH<sub>4</sub>), according to a reaction:



People interested in such visions upon the interactions between core and mantle material and the effect of these on the shape and evolution of the Earth's crust, will appreciate the fresh, nevertheless well argued, papers compiled in this first volume of «Theophrastus Contributions to Advanced Studies in Geology».

R. OTTENBURGS

K.U.Leuven

J.L. MARI (Ed.) - *Formation Imaging by Acoustic Logging*. Editions Technip, rue Ginoux 27 - F-75737 Paris Cedex 15, 1996, 53 p. ISBN 2-7108-0694-0. Price : 160,- FF.

This collection of four papers forms the continuation of the book *Full waveform acoustic data processing* (Mari, J.L., Coppens, F., Gavin, Ph. & Wicquart, E., 1994, Editions Technip, Paris). The purpose is to demonstrate some little-known applications of acoustic logging for characterising reservoirs by providing a detailed geometrical description of the well environment. While the first three papers deal with the description of the near-well reservoir medium, the fourth paper concerns the analysis of dispersive modes of Stoneley and flexural types.

\* *Acoustics on a real scale model : Application to fractured media* (Gaudiani, P. & Mari, J.L.)

In this paper the contribution of the full-wavelength acoustic logging technique to the geometrical description of a fractured medium is discussed. The analysis of conversion and interface modes is calibrated with a real scale model.

\* *Application of the intercept time method to full waveform acoustic data* (Coppens, F. & Mari, J.L.)

Acoustic imaging by refraction is applied to determine the extension of the near-well altered zone. In this respect the application of the intercept time method is demonstrated in both a sandstone and carbonate reservoir.

\* *An example of acoustics and very high resolution seismics in a highly deviated well* (Mari, J.L., Gavin, Ph. & Coppens, F.)

The full-wavelength acoustic logging technique is used in highly-deviated or horizontal boreholes to obtain microseismic borehole cross-sections having a lateral investigation range of some ten meters around the borehole. Experimental results obtained in a limestone quarry in Burgundy (France) are discussed with regard to the potentials of acoustic logging.

\* *Wavelet transform : application to acoustic logging* (Thirion, N., Mars, J., Volant, P. & Mari, J.L.)

An analysis of the dispersion, achieved by wavelet transforms, may provide a better estimate of S-velocities of formations, which can only be determined indirectly by using dispersive modes of Stoneley and flexural types. Such an analysis is demonstrated on synthetic full-waveform acoustic data.

This collection of papers, emphasising analytical aspects of acoustic logging, is definitively intended for specialists in the field of full-waveform acoustic logging.

Manuel SINTUBIN  
K.U.Leuven

R. WANG & K. AKI (Eds) - *Mechanics Problems in Geodynamics - Part II*. Birkhäuser Verlag AG, Klosterberg 23 - CH-4010 Basel, Switzerland, 1995, 388 p. ISBN 3-7643-5104-7. Prix : SFr. 48,-

Ce livre est la suite de la partie I publiée en 1995. Il reprend les comptes-rendus d'un colloque qui s'est tenu à Pékin du 5 au 9 septembre 1994.

Les thèmes abordés dans cet ouvrage sont très variés, depuis l'influence des tremblements de terre sur la rotation de la terre jusqu'à une étude théorique de la convection thermique en passant par la détermination des paramètres dynamiques d'une source sismique. De plus, des sujets plus régionaux, comme l'étude de tremblements de terre ou de déformation en Chine, sont également présentés.

Cet ensemble assez hétéroclite de papiers est repris dans la revue *Pageoph*, vol. 146, n° 3/4. En dehors des spécialistes du domaine et des lecteurs assidus de ce genre de revues, cet ouvrage présente un intérêt limité pour les autres géologues et géophysiciens.

D. JONGMANS  
U. Liège

M. MOUREAU - *Guide pratique pour le système international d'unités (SI)*. Editions Technip, rue Ginoux 27 - F-75737 Paris Cedex 15, France, 1996, 2ème éd., 48 p. ISBN 2-7108-0695-9. Prix : 90,- FF.

Le système SI est la dernière mouture du système métrique qui a déjà connu les systèmes CGS (centimètre, gramme, seconde), MTS (mètre, tonne, seconde), MKS (mètre, kilogramme, seconde) et MKSA (mètre, kilogramme, seconde, ampère).

Ce guide à vocation pratique, présente en première partie, les 7 unités de base sur lequel se fonde le système international d'unités (mètre, kilogramme, seconde, ampère, kelvin, mole et candela) ainsi que les unités dérivées à partir des unités de base (mètre carré par exemple), les unités exprimées par des noms spéciaux (watt par mètre carré) ainsi que leurs multiples et des sous-multiples.

Le lexique (22 pages) repris en seconde partie n'est pas sans intérêt, car il reprend outre les symboles officiels utilisés, les définitions officielles des unités tant anciennes que nouvelles.

Le troisième volet s'intéresse aux règles d'écriture des nombres, préfixes, unités et symboles, le tout agrémenté d'exemples.

Une table de conversion des unités complète ce guide pratique qui permet de faire correspondre une unité SI à chaque grandeur, et ce sans ambiguïté.

Outre les scientifiques, ce guide s'adresse aussi, de manière générale à toute personne soucieuse de s'exprimer de manière claire et précise dans un langage compréhensible.

J. GOURDIN  
Service Géologique de Belgique.

H. BLATT & R.J. TRACY - *Petrology : Igneous, sedimentary and metamorphic. Second edition*. McMillan Distribution Ltd, Unit 8 - Lye Industrial Estate Pontardulais. Near Swansea SA4 1QD. England. 1996, 523 p. ISBN 0-7167-2438-3.

Petrology is the study of rocks, their origin, structure and distribution and hence has a broader scope than descriptive petrography. An overview publication like this one should therefore be considered as a standard issue for everyone interested in this domain.

In three parts the volume is subsequently dealing with igneous, sedimentary and metamorphic rocks.

In the first part on igneous rocks, an extended introduction to the most important aspects of rock mineralogy and petrography, and of the different classifications of rocks is given (chapters 1-3). It makes the next chapters easily understandable even for those with a rather limited base knowledge or can serve as a refreshing of memory for those who had their courses a long time ago. Chapter 4 intensively deals with the rather complex theories of equilibrium, phase rule, binary and ternary systems. These are indispensable for a good understanding of magma

generation by melting of mantle and crust (chapter 5), evolution of magmas, fractional crystallization and contamination (chapter 6). On several occasions, the newest insights on some of a.m. topics are presented. Finally, the description of mantle petrology leads to a structured overview of different igneous rock types (chapter 7-10). Not only the more common types, such as MORB's, OIB's or flood basalts are presented, but much attention is also paid to more "exotic" igneous rock types, such as kimberlites, carbonatites or anorthosites.

The second part about sedimentary rocks gives a good overview of the various rock types (sandstones, conglomerates, mudrocks, limestones and dolostones). In each chapter, after a general introduction on mineralogy and petrographic characteristics, depositional sites and interpretive petrology, especially the relation to basin evolution and plate tectonics are focussed. Diagenesis of sandstones (chapter 14), limestones and the formation of dolostones (chapter 16) are other very interesting topics which the publication is dealing with.

Finally, chapter 17 is about other sedimentary rocks, such as evaporites, cherts, ironstones and phosphorites.

The last part on metamorphic rocks starts with an introductory chapter (chapter 18) dealing with different types of metamorphism, textures and structures and a description of the most common rocks. Again a lot of attention is paid to rock chemistry, mineral phases and assemblages and metamorphic facies (chapter 19-21), linking them to different tectonic settings. Eventually, metamorphism of the three main groups of rocks are described: mafic-ultramafic, aluminous clastic and calcareous rocks. The evolution of these rocks under different grades of metamorphism is shown.

The clear and extensive description, the fluent writing, numerous illustrations (though some of the photographs are less clear) and «field examples» make «Petrology» an indispensable source of information for students and lecturers. Furthermore, it is a handy and useful referencebook for everyone concerned with this matter, always giving a support of memory through its glossary at the end of the volume.

J. VAN DER SLUYS

Belgische Geologische Dienst.

P. KNOLL & G. KOWALLE - *Induced seismic events*. Birkhäuser Verlag AG, Klosterberg 23 - CH-4010 Basel, Switzerland. 1996, 431 p. ISBN 3-7643-5454-2. Prix: SFr. 38,-.

Durant la 24ème Assemblée Générale de l'ESC (European Seismological Commission) à Athènes en 1994, un symposium spécial a été organisé sur le thème des événements induits. Cette publication reprend les 18 présentations orales et les 7 posters exposés à cette occasion. L'ensemble de ces papiers, qui ont par ailleurs été publiés dans PAGEOPH, couvre principalement deux grands thèmes.

Le premier concerne la sismicité induite par l'exploitation minière, et des observations issues de différentes régions d'Europe sont présentées.

Le deuxième sujet principal porte sur la sismicité induite par l'exploitation de réservoirs de gaz ou d'hydrocarbures, avec des cas d'études en Kyrghizie, en Chine et en Ouzbékistan.

Enfin, un certain nombre de papiers sont consacrés à des aspects plus théoriques et, en particulier, à la compréhension des processus de rupture.

Ce recueil d'articles ne suscitera l'intérêt que des géologues ou géophysiciens déjà spécialisés dans le domaine, qui souhaitent découvrir les progrès récents en sismicité induite.

D. JONGMANS

U.Liège

M.B. HART (Ed.) - *Biotic Recovery from Mass Extinction Events*. Geological Society Special Publication n° 102. Geological Society Publishing House, Unit 7, Brassmill Enterprise Centre, Brassmill Lane, Bath BA1 3JN, United Kingdom. 1996, 392 p., ISBN 1-897799-45-4. Price : £ 79,-

In dit boek worden 27 artikels gebundeld van leidinggevende autoriteiten over een aantal van de meest belangrijke extinctiecrissen, welke onze planeet in het verleden getroffen hebben. Heel wat nieuwe gegevens met betrekking tot een breed gamma van planten- en dierengroepen werden erin tezamen gebracht. In het verleden werd op de eerste plaats aandacht geschonken aan de manier waarop de biodiversiteit in tijden van crisis afnam, om uiteindelijk gebeurlijk tot massa-extincties te komen. Veel van de artikels in dit boek handelen daarentegen juist over de wijze waarop groepen biota zich, na zo'n crisis herstellen, welke patronen daarbij gevolgd worden, wat voor soorten in aanmerking komen als «stamvaders» van een hernieuwde biotische radiatie, enz.

In andere teksten worden dan weer een aantal problemen geanalyseerd in verband met «overlevingstaxa», «ramptaxa», «stamvaderssoorten»,

enz. Het betoog wordt meestal geïllustreerd aan de hand van concrete voorbeelden, die over de gehele wereld gesitueerd zijn : Noord- en Zuid-Amerika, Europa, Azië, het Indische subcontinent, ..

De meest bijdragen werden voorgesteld tijdens een symposium te Plymouth, in september 1994. Vele zijn van de hand van «zwaargewichten», zoals D. Bottjer, E.G. Kauffman, D.H. Erwin, A. Hallam, en vele andere.

De algemene teneur van het boek is wel dat de wijze waarop biota en ecosystemen zich herstellen van een doorstane crisis, belangrijke gegevens opleveren kan met betrekking tot de ultieme oorzaken van die crisis. Bijna alle bijdragen zijn dan ook gewijd aan de analyse van faunistische herstelpatronen voor een aantal diergroepen, in tijdsintervallen die onmiddellijk volgden op een extinctiecrisis. Naast een aantal andere, wordt dan ook de nodige aandacht besteed aan perioden zoals het Onder-Siluur, het Famenniaan, het Onder-Trias, het Onder-Jura, het Turoniaan en natuurlijk ook het Daniaan. De meest diverse groepen organismen werden daarbij onder de loep genomen : ostracoden, graptolieten, ammonieten, foraminiferen, dinoflagellaten, enz.

Na enkele inleidende artikelen van meer algemeen belang, is het boek is onderverdeeld in vier secties : «General», «Palaeozoic», «Mesozoic» en «Cenozoic». Vele bijdragen zijn erg specialistisch toegepist op een klein facet van de algemene problematiek. Hoe interessant de details van zulke artikelen ook zijn, toch zijn het vooral de algemene conclusies die de aandacht trekken van de doorsnee lezer. Zo wordt er reeds in het allereerste inleidende artikel op gewezen op welke wijze het onderzoek van herstelpatronen relevant kan zijn voor de vraag hoe massa extincties zich voltrokken.

D.J. Bottjer, J.K. Schuber en M.L. Droser (*Comparative evolutionary palaeoecology : assessing the changing ecology of the past*) demonstreren dat aan de hand van het voorbeeld van het Onder-Trias. Een tweede vraag die hen bezig houdt en waarop ze op een gelijkaardige manier een antwoord pogen te geven, is waarom zich sedert het Cambrium nauwelijks nog nieuwe fyln hebben ontwikkeld.

Al even belangwekkend is het artikel van E.G. Kauffman en P.J. Harries (*The importance of crisis progenitors in recovery from mass extinctions*), waarin het belang van speciatie, gedurende de hoofdfase van een massa extinctie wordt besproken. De conclusies zijn verrassend.

Het is uiteraard ondoenlijk alle belangrijke en interessante artikelen in dit verzamelwerk afzonderlijk

te bespreken. Om een indruk te geven van wat dit boek verder bevat, vernoemen dan ook alleen maar een paar voorbeelden.

H.A. Armstrong, *Biotic recovery after mass-extinction : the role of climate and ocean-state in the post-glacial (Late Ordovician - Early Silurian) recovery of the conodonts.*

W.A. DiMichele & T.L. Phillips, *Climate change, plant extinctions and vegetational recovery during the Middle-Late Pennsylvanian transition : the case of tropical peat-forming environments in North America.*

A. Hallam, *Recovery of the marine fauna in Europe after the end-Triassic and Early Toarcian mass extinctions.*

M.B. Hart, *Recovery of the food chain after the Late Cenomanian extinction event.*

R.P. Speijer & G.J. Van der Zwaan, *Extinction and survivorship of southern Tethyan benthic foraminifera across the Cretaceous/Palaeogene boundary.*

Een alfabetische index vergemakkelijkt het opzoeken van allerlei topics.

De algemene teneur in veruit de meeste artikelen in dit boek is er wel één van geleidelijke of trapsgewijze extincties. Wat een herademing na al die, vaak zeer dogmatisch voorgestelde hypothesen over impacts, bolides en dies meer ! Als oorzaken van massa extincties worden in dit boek genoemd : anoxische episoden, regressiebewegingen, glaciaties en andere climatologische schommelingen. In geen enkele bijdrage wordt de brutale of plotselinge aard van zo'n crisis benadrukt. Wel integendeel ! Moge dit werk dan ook de aanzet zijn van tijdperk van nuchterheid, wars van sensatiezucht en mediageilheid. De paleontologie kan er, als ernstige wetenschap, alleen maar baat zijn hebben.

Technisch is er op het boek nauwelijks wat aan te merken. De typografie is verzorgd, het papier is van uitstekende kwaliteit. Tekeningen en figuren zijn fraai uitgevoerd. Sommige foto's hadden misschien wat scherper en wat minder grijs gekund. Het boek is ingebonden in een smaakvolle, harde band. De kleurenfoto van Stevns Klint, die hem versiert, is goed gekozen als illustratie van een «boundary layer».

J. GEYS  
Antwerpen

**Recherches polaires : une stratégie pour l'an 2000.**  
Colloque organisé par L'Académie des Sciences et l'Institut Français pour la Recherche et la Technologie Polaires, 16-17-18 décembre 1992. *Technique et Documentation Lavoisier, rue de Provigny 14 - F-*

De laatste tien jaar is er een sterk vernieuwde interesse gekomen voor onderzoek in de poolgebieden. Het besef dat de verwachte temperatuursverandering het meest uitgesproken zal zijn in de hogere breedtegraden, en dat de gevolgen van veranderingen in de polaire ecosystemen te merken zullen zijn op wereldschaal, heeft een geldstroom losgeweekt richting poolgebieden. Dit laatste dan wel overwegend naar Antarctica. Een sensationeel vooruitzicht, en één waarvoor de publieke opinie, en dus ook de politieke wereld gevoelig voor zijn, is het afsmelten van de ijskappen. En inderdaad, onderzoek naar veranderingen in de zeespiegel is aan de orde van de dag. Na een verhoogde frequentie van afkalven van reusachtige tafelijksbergen in het zuidpoolgebied, komen er ook uit het noorden signalen die duiden op een opwarming: recente rapporten laten vermoeden dat de toendragebieden aldaar nu een bron geworden zijn van CO<sub>2</sub>, in plaats van dit broeikasgas op te slaan. De dikte van het zee-ijs is volgens vergelijkende radarwaarnemingen eveneens afgenomen. Daarenboven worden al deze veranderingen geregistreerd in de ijskappen zelf.

Het ter tafel liggende boek bevat een verzameling artikels door wetenschappers uit diverse disciplines, gepresenteerd te Parijs tijdens een driedaags colloquium in december 1992. Het werk draagt de uitdagende titel : 'Recherches polaires : une stratégie pour l'an 2000'. Het is enerzijds een stand-vanzaken van het Frans poolonderzoek, en anderzijds een projectie naar de toekomst. Naast een aantal algemene teksten, uitgesproken tijdens de openingzitting, komen vervolgens de volgende grotere delen aan bod: la terre et l'espace (7 artikels over astronomie, waarvan één over micrometeorieten. Actueler kan haast niet: is er leven op Mars? ); la terre solide (4 artikels: over het magnetisch veld, seismologie en de structuur van het inwendige van de aarde, het belang van geologische studies in de poolgebieden, de continentale rand van Antarctica en de geassocieerde oceanen) la terre fluide (8 artikels, over het ozonprobleem, de fysico-chemie van de troposfeer, glaciologie, dynamiek van polaire oceanen en klimaat, studie van de zuidelijke oceaan, de siliciumkringloop, de relatie oceaan-landijs en een vergelijking van de laatste klimatologische cyclus in de beide hemisferen); la terre vivante (9 artikels: mariene biologie, de interface zee-land via vogels en zeezoogdieren in de zuidelijke regionen, menselijke biologie en geneeskunde, antropologisch onderzoek, archeologisch onderzoek met de voorstelling van een nieuw langlopend project, milieuproblematiek om te eindigen met een synthese hoofdstuk.

De artikels van de openingssessie zijn bijzonder geschikt als oriëntatie in de wirwar van acroniemen waarin de internationale programma's versholven zitten. In een eerste bijdrage wordt de noodzaak van een Europese samenwerking toegelicht, weerspiegeld door het oprichten in 1989 van «The European Committee on Ocean and Polar Sciences» (ECOPS). De koppeling oceanografisch-polair onderzoek is vanuit verschillende standpunten te verdedigen, niet in het minst omwille van logistieke implicaties. Persoonlijk vrees ik voor het gevaar dat de terrestrische disciplines hierdoor naast de zijlijn kunnen belanden. Dit artikel is erg informatief om de bestaande structuren in de schoot van de Europese commissies te begrijpen. Hierbij wordt al vlug duidelijk dat sommige disciplines in het poolonderzoek tot het big-science/big-money establishment behoren.

In een tweede bijdrage wordt de toekomst van het internationaal onderzoek in Antarctica behandeld. Deze zal mede afhangen van de uiteindelijke evolutie van het Antarctisch Verdrag. Op zijn beurt zal dat natuurlijk van invloed zijn op de hoeveelheid geld die regeringen er voor over hebben om vertegenwoordigd te zijn op dit continent. De auteur van dit artikel houdt het voor mogelijk dat een voortgezette wereldwijde economische regressie eveneens een negatief effect zal hebben, vooral voor het meer fundamenteel gerichte onderzoek.

Het derde artikel licht de rol toe van waarnemingen vanuit de ruimte. Grondwaarnemingen en ruimte-waarnemingen complementeren elkaar immers in termen van het bestreken gebied in zowel ruimte als tijd.

Dat de arctische en antarctische gebieden een bijzondere plaats innemen in de problematiek van de wereldwijde veranderingen die onze planeet roeren, werd reeds in de inleiding van deze bespreking duidelijk gemaakt. Hierover gaat dan ook het vierde artikel.

Deze openingsreeks wordt afgesloten met een bijdrage over permanente waarnemingen en het terrestrische milieu. Het is immers nodig om over continue reeksen van waarnemingen te beschikken die toelaten de natuurlijke variatie en de evolutie van het terrestrische milieu in te schatten. Ze zijn tevens noodzakelijk om de satellietwaarnemingen aan te vullen (zie ook artikel 3) en om een beter begrip te krijgen van o.m. de energetische mechanismen op zowel regionale als globale schaal.

Uit dit boek blijkt weer eens het onevenwicht arctisch versus antarctisch onderzoek. Dit heeft natuurlijk politieke achtergronden, en het gevolg hiervan is dat

onderzoek in Antarctica meestal een zaak is dat door de overheden geïnitieerd is. Arctisch onderzoek gebeurt door de initiatieven van kleinere onderzoekseenheden. Dit is geen absolute regel. Er zijn in Antarctica ook Belgische onderzoeksgroepen actief in internationale context zonder dat ze deel uitmaken van het nationale antarctisch programma. En anderzijds zijn er natuurlijk de mega-projecten zoals de ijskernstudies en het oceanografisch onderzoek in de Arctis. Het aantal onderzoekers dat bijv. in België actief is in het niet-glaciologisch terrestrisch onderzoek, zij het geologisch, geomorfologisch of biologisch, is op twee handen te tellen. Toch hebben Belgen al belangrijke bijdragen op het terrestrische domein geleverd, denk hierbij aan de studies van Pissart (Luik), over periglaciaire fenomenen.

Er zijn evenwel tekenen van verandering merkbaar: een daarvan is de International Working Group for the Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF), waarin naast de vertegenwoordigers van de «arctische» landen, eveneens mensen van meer zuidelijke gebieden vertegenwoordigd zijn. Onderrneer Nederland, niet België. Als tegenhanger van de SCAR (Scientific Committee on Antarctic Science) is het International Arctic Science Committee (IASC) geïnstalleerd sinds 1990. Dit orgaan bepaalt nu mede de arctische component van het IGBP-Global Change programma. In de korte inleiding van het boek wordt trouwens expliciet de wens geuit dat de Franse vertegenwoordiging in de Arctis zou toenemen.

Samenvattend : het onderhevig boek is een verhelderend en overzichtelijk werk over de stand van het wetenschappelijk onderzoek in de poolgebieden.

Louis BEIJENS,  
Departement Biologie, Sectie arctische ecologie,  
limnologie en paleobiologie.  
RUCA Antwerpen

G. BOILLOT - *La dynamique de la lithosphère. Une introduction à la géologie.* Masson S.A., boulevard Saint-Germain 120 - F-75280 Paris Cedex 06. France. 1996, 129 p., ISBN 2-225-85323-1.

L'ouvrage introduit les phénomènes géologiques par les lois physiques élémentaires et les applique à la dynamique de la lithosphère : il analyse les forces et les mouvements animant la Planète à sa surface et en profondeur. Plus précisément, il traite de la géodynamique de la lithosphère, c'est à dire de l'enveloppe superficielle et rigide du globe.

L'auteur aborde un sujet qu'il connaît bien, puisqu'il dirige actuellement une importante équipe de

recherche sur la dynamique de la lithosphère appartenant à l'observatoire océanologique de Villefranche-sur-Mer et à l'Université de Nice-Sofia-Antipolis. Il est également professeur à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris V).

Cet ouvrage se distingue par des schémas particulièrement clairs, abondants et toujours en parfaite illustration d'un texte qui se veut le plus simple possible. L'auteur l'a volontairement débarrassé d'un vocabulaire trop spécialisé qui décourage souvent le lecteur.

Ma seule critique négative sera pour l'éditeur (Masson). On peut admettre que, dans une page de garde, l'éditeur alerte le lecteur sur le problème du photocopiage. En revanche, il est abusif, comme c'est le cas de cet ouvrage, que sur presque toutes les pages impaires, l'éditeur impose la phrase «© Masson. La photocopie non autorisée est un délit». D'une part, cette phrase n'empêchera pas le photocopiage. D'autre part, cette phrase nuit à l'esthétique et à la convivialité de l'ouvrage. Pourquoi un lecteur qui a acheté ce livre, doit-il constamment avoir ces propos culpabilisant sous les yeux.

L. DEJONGHE

Service géologique de Belgique.

H. BALTSCHJEFFSKY (Ed.) - *Origin and Evolution of Biological Energy Conversion.* VCH, Pappelallee 3 - D-69469 Weinheim, Deutschland. 1996, 313 p., ISBN 1-56081-614-7. Price : DM 188.00.

L'une des meilleures définitions de la vie est celle que F. Jacob donne dans son livre «La logique du vivant»: «La vie est un flux d'énergie, de matière et d'information». Cette définition met l'accent sur l'exigence fondamentale d'énergie dans toutes les réactions se déroulant dans les organismes vivants y compris celles requises dans la construction des macromolécules d'ADN et d'ARN.

C'est également le sujet de ce livre divisé en 11 chapitres qui traitent des systèmes métaboliques majeurs dont on connaît bien l'évolution des réactions bioénergétiques. Les cinq premiers chapitres traitent des questions générales et y donnent de nouvelles ouvertures. Les six derniers chapitres traitent, quant à eux, des mécanismes essentiels de la conversion d'énergie au cours de la photosynthèse et de la respiration ainsi que de l'évolution des principaux composants de la conversion d'énergie lors de ces processus vitaux.

M.-Cl. GROESSENS-VAN DYCK  
Université Catholique de Louvain

Donald R. PROTHERO & Fred SCHWAB - *Sedimentary Geology. An Introduction to Sedimentary Rocks and Stratigraphy*. W.H. Freeman at Macmillan Press, Houndmills, Basingstoke, Hampshire, RG21, 6XS, United Kingdom. 1996, 608 p., ISBN 0-7167-2726-9. Price : £ 28.95.

Les traités consacrés à la géologie sédimentaire sont nombreux. Que nous apporte celui-ci ? Il s'agit comme beaucoup d'autres ouvrages modernes d'un livre magnifiquement illustré par de nombreux schémas, photos, traitant la plupart des aspects de la géologie sédimentaire, depuis les mécanismes à l'échelle du grain jusqu'à la dynamique des bassins. Quelques rudiments de diagenèse complètent l'information. Ce qui est original et particulièrement bienvenu, c'est l'intégration de plusieurs chapitres concernant la stratigraphie séquentielle, la magnéostratigraphie, la stratigraphie événementielle, le problème des corrélations, etc, tout ceci vu dans une optique très dynamique d'évolution des bassins sédimentaires. Seul regret, le caractère relativement pauvre de la bibliographie. Cet ouvrage est à recommander aussi bien pour les étudiants que pour les sédimentologues confirmés.

F. BOULVAIN

Service géologique de Belgique

J.J. VEEVERS & R.C. TEWARI - *Gondwana Master Basin of Peninsular India Between Tethys and the Interior of the Gondwanaland Province of Pangea*. *Memoir 187. Geological Society of America, P.O. Box 9140, Boulder, Colorado 80301-9140. USA.* 1996. 72 p. ISBN 0-8137-1187-8 (hardcover). Price : \$ 42.00,-.

This volume is the result of a cooperative research project 'Comparative basin analysis of classical Gondwana (India) basins and equivalents in Australia' and shows that the Gondwana master basin was part of a 10.000-km-wide alluvial fan sourced from an upland in East Antarctica and was subsequently disrupted during stages of Pangean rifting and seafloor spreading. The master basin filled initially with glaciogenic sediment in valleys that were drowned in an ephemeral sea before isostatic rebound. Coal measures accumulated to the end of Permian times and were succeeded by red beds in Triassic times. Deposition of the master basin finally ended during an Early Jurassic phase of intense transpression that dismembered the lobate master basin into individual structural basins. This work thus forms an essential contribution to global paleogeographic reconstructions for the Permian and the Triassic, with extension to the Cretaceous/Tertiary boundary (emplacement of Decan Traps). Contrary to

the usual paleogeographical maps axed around the North Atlantic, this work takes the viewpoint from the South. The relation of the master basin with the sediment source area on Antarctica and with the continental margins is well presented; information on the Gondwanan basins in South America, Africa and Madagascar is rather scant, except for the common plate tectonic evolution.

This volume is packed with dense information of successive stratigraphic formations, including occurrences, datation, correlations, depositional environment, paleogeography, and post-depositional basin evolution. New data on sedimentology and paleogeography, resulting from research conducted for this project, complement the synthesis. Thermal evolution and subsidence analysis, sequence stratigraphy, 3-D sedimentary architecture and economic geology (sandstone, coal) are not discussed, however.

The broad overview and systematic approach make this work invaluable as an essential introduction to the Permian-Triassic of the world, to Indian geology and to the mechanisms of the Permian coal deposits.

Michiel DUSAR

Belgian Geological Survey

A.A. MEYERHOFF, A.J. BOUCOT, D. MEYERHOFF HULL & J.M. DICKINS - *Phanerozoic Faunal & Floral Realms of the Earth: The Intercalary Relations of the Malvinokaffric and Gondwana Faunal Realms with the Tethyan Faunal Realm*. *Memoir 189. Geological Society of America, P.O. Box 9140, Boulder, Colorado 80301-9140. USA.* 1996. 69 p. ISBN 0-8137-1189-4. Price : \$ 40.00,-.

Le problème soulevé par ce volume est le suivant : les limites des plaques décrites par les géophysiciens et par de nombreux géologues ne correspondent bien souvent pas aux limites des différentes entités paléobiogéographiques proposées par les paléontologues, sur base de la distribution des flores et des faunes. Si les données biogéographiques constituent un outil potentiellement très riche pour décrire l'évolution tectonique de la Terre durant le Phanérozoïque, il apparaît que ces informations sont sous-exploitées, voire carrément négligées, par les tectoniciens. Pour illustrer ce problème, les auteurs ont compilé un ensemble de données biogéographiques, depuis le début du Paléozoïque jusqu'au Mésozoïque, en concentrant particulièrement leurs efforts sur la vaste zone de transition séparant les domaines biogéographiques septentrionaux «chauds» (le Domaine téthysien, par exemple) des domaines méridionaux «froids». Ces derniers sont représentés, au cours du Cambrien

moyen et supérieur, par le Domaine atlantique, de l'Ordovicien jusqu'au Dévonien moyen, par le Domaine de Malvinokaffric et, du Permien inférieur jusqu'au Crétacé inférieur, par le Gondwana. Les auteurs montrent que cette zone intercalaire, dont la largeur a pu atteindre 5000 kilomètres, a existé pendant tout le Phanérozoïque : à l'intérieur de cette zone, des faunes réputées septentrionales ont bien souvent alterné avec des faunes typiquement méridionales ; bien plus, des taxa méridionaux et septentrionaux ont constamment coexisté au sein des mêmes couches géologiques. Actuellement, aucune théorie tectonique ne vient expliquer l'existence de cette zone intercalaire. Il apparaît également que le Gondwana ne pouvait pas être le super-continent clamé par les tectoniciens ; il devait au contraire être largement entaillé par de profonds bassins océaniques, depuis le Permien inférieur jusqu'au Crétacé supérieur. Pour les auteurs de ce livre, les relations géographiques entre continents et bassins océaniques auraient en fait peu changé depuis le début du Carbonifère.

Ce livre très richement documenté (bien que les spécialistes des différents domaines ou groupes biologiques traités trouveront inmanquablement des lacunes dans la bibliographie) est un véritable plaidoyer pour une collaboration efficace entre tectonophysiciens, géophysiciens, stratigraphes, paléontologues et biogéographes : les résultats des travaux relevant de ces différentes disciplines devront être intégrés pour que soient élaborés de nouveaux modèles tectoniques réellement satisfaisants et crédibles. D'une manière plus générale, ce livre est un excellent essai sur la méthodologie scientifique, montrant admirablement que les modèles établis ne sont jamais immuables et que si la Science veut avancer réellement, elle ne doit négliger aucune de ses disciplines.

P. GODEFROIT

Institut royal des Sciences naturelles de Belgique

Ivan PSENCIK, Vlastislav CERVENY & Ludek KLIMES - *Seismic Waves in Laterally Inhomogeneous Media. Part I and Part II.* Birkhäuser Verlag AG, Klosterberg 23 - CH-4010 Basel, Switzerland.

1996. 714 p., ISBN 3-7643-5648-0 & 3-7643-5651-0. Prix : SFr 96,-.

Ces deux ouvrages sont constitués d'une trentaine d'articles présentés à Prague en 1995 lors d'un colloque sur la propagation des ondes sismiques dans les milieux latéralement hétérogènes.

Le premier livre (Part I) reprend la première partie des contributions sélectionnées qui ont principalement

trait à la modélisation de la propagation des ondes dans des structures complexes 2D et 3D. Différentes méthodes de modélisation (méthodes spectrales, méthodes des différences finies, méthodes de raies, etc.) sont présentées et appliquées à des cas synthétiques ou réels. Plusieurs techniques hybrides sont également décrites et analysées. Les trois derniers papiers sont consacrés à des problèmes d'inversion des données sismiques.

La plupart des papiers du second ouvrage sont consacrés au calcul des temps d'arrivée (et aussi des amplitudes des raies) dans des modèles 2D et 3D. Différents développements de la méthode des tracés des raies sont présentés, y compris l'application au problème de la propagation des ondes dans les milieux anisotropes.

Les éditeurs, ainsi que la plupart des auteurs, sont des spécialistes mondialement reconnus en modélisation et cet ensemble d'articles peut donc être considéré comme un ouvrage présentant un état actuel des connaissances dans le domaine de la modélisation en dynamique.

De présentation agréable, ce volume spécialisé s'adresse cependant avant tout aux scientifiques (géophysiciens principalement) ayant déjà une expérience en modélisation numérique.

D. JONGMANS

Université de Liège

Wilhelm JOHANNES & François HOLTZ - *Petrogenesis and Experimental Petrology of Granitic Rocks.* Springer-Verlag GmbH & Co, Tiergartenstrasse 17 - D-69121 Heidelberg, Deutschland. 1996. 184 p., ISBN 3-540-60416-2. Prix : DM 168,00.

L'ouvrage de W. Johannes et F. Holtz est le vingt-deuxième volume de la prestigieuse série «Minerals and Rocks» publiée par Springer-Verlag.

Les auteurs font la synthèse des nombreux travaux expérimentaux effectués sur les roches de composition granitique au sens large. Cette synthèse vient à point près de 40 ans après la monographie des pionniers de la pétrologie expérimentale des granites que furent OF Tuttle et NL Bowen (Origin of granite in the light of experimental studies in the system  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  -  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  -  $\text{SiO}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$ , 1958). Le lecteur pourra apprécier la masse impressionnante de données expérimentales obtenues sur le système granitique et la confrontation de ces données avec les granites naturels.

Dans le chapitre introductif, les auteurs situent les granites dans le développement de la croûte

continentale et présentent succinctement les caractéristiques chimiques et minéralogiques de ces roches. Deux chapitres sont consacrés au système haplogranitique Qz - Ab - Or : le chapitre 2 examine les conditions de fusion à la fois pour les systèmes anhydres et pour ceux qui contiennent une phase fluide (H<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub>) et précise les relations de phase au liquidus dans les différentes conditions. Les propriétés des magmas hydratés sont explicitées en détail au chapitre 3 : solubilité et spéciation de l'eau, viscosité et propriétés rhéologiques, densité, diffusion des éléments, montée adiabatique. Les chapitres 4 et 5 étudient les effets de l'addition d'éléments majeurs (Al, Fe, Mg) ou mineurs (P, F, B, Li) sur les relations de phase dans le système haplogranitique et les conditions de stabilité et de solubilité des minéraux accessoires communs des granites, à savoir l'apatite, le zircon et la monazite.

Le système «tonalite» (Qz - Ab - An) est examiné au chapitre 6 à partir des systèmes expérimentaux d'une part et des tonalites naturelles d'autre part. Les trois derniers chapitres concernent les granites proprement dits, c'est-à-dire l'étude du système quaternaire Qz - Or - Ab - An. Sont envisagés successivement :

- le système synthétique Qz - Or - Ab - An et les conditions de fusion du plagioclase ;
- les expériences de fusion et de cristallisation à partir de divers matériaux géologiques naturels (grauwackes, pélites, obsidiennes, ...) sous des conditions variables de pression et d'activité des fluides ;
- la formation des magmas granitiques en l'absence d'une phase fluide, c'est-à-dire par fusion lors de la destruction d'un minéral hydraté comme le mica ou la hornblende (processus de «dehydration melting»).

Les nombreuses illustrations (en particulier les microphotographies des produits expérimentaux) et les tableaux sont de qualité remarquable (comme dans tous les volumes de cette série).

Cet ouvrage constitue une synthèse extrêmement claire sur la pétrologie expérimentale des granites : il devrait intéresser tous les pétrologistes et figurer dans toute bonne bibliothèque des Départements des Sciences de la Terre. Par ailleurs, le lecteur désireux de poursuivre ses recherches plus avant pourra le faire à partir de l'abondante bibliographie (plus de 500 références).

Mon seul regret est que les auteurs n'aient pas consacré, ne fut-ce qu'un bref chapitre au problème de l'origine, toujours très controversée, des granites alcalins. Cette réserve mineure n'enlève évidemment rien à l'exceptionnelle qualité globale de cet ouvrage.

Daniel DEMAIFFE  
Université libre de Bruxelles

Gerold WETER, Wolfgang H. BERGER, Gerold SIEDLER & David J. WEBB. *The South Atlantic. Present and Past Circulation*. Springer-Verlag GmbH & Co, Tiergartenstrasse 17 - D-69121 Heidelberg, Deutschland. 1996, 644 p. ISBN 3-540-62079-6. Price : DM 168,00.

This book is the outcome of a symposium held Aug. 15-18, 1994 at Bremen University to present and discuss the results of recent research on present and past circulation in the South Atlantic.

As described by the organizers, a symposium on the South Atlantic seemed timely and appropriate because the results from a number of recent projects in oceanography and marine geosciences needed to be integrated into existing knowledge. Monitoring programs, in operation since 1991 as part of the World Ocean Circulation Experiment (WOCE), included studies of the meridional water-mass and heat transports, the western boundary currents, and deep- and bottom-water transports in the Brazil Basin. Comprehensive studies, carried out in the context of IGBP Core Projects PAGES (Past Global Changes) and JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study), provided new data for the various current and production systems of the South Atlantic.

Extensive geological, geophysical and geochemical investigations were carried out since 1989 at the University of Bremen on the reconstruction of current and productivity systems in the South Atlantic for the last 300,000 years.

A key aim of the organisers was to provide a forum in which people could integrate the results coming from both oceanographic and geological studies. The South Atlantic is an ideal region for this purpose. As the connecting link between the Antarctic and the North Atlantic, the South Atlantic plays a crucial role with regard to the heat budget of the North Atlantic and to the biogeochemical budget of the global ocean. Water from the South Atlantic moves north across the equator at shallow depths replacing North Atlantic Deep Water, which forms in the northern North Atlantic due to cooling of salty surface waters, and moves south at depth.

« Investigations of sediments have revealed that the production of North Atlantic Deep Water decreased during glacials when, in its place, there was probably more intermediate water production reaching to greater depths. The reduction or possibly the complete interruption of North Atlantic Deep Water production during glacial periods may have been directly caused by a decrease in energy and salt inputs from the South Atlantic, resulting from changes in surface circulation as well as changes in the Agulhas Current system and the Antarctic Circumpolar Current. Thus changes occurring further south and in other ocean can influence the climate of the North Atlantic via the South Atlantic heat transfer system.

The South Atlantic also plays a decisive role in the coupling of oceanic processes between the Antarctic and lower latitudes. The Antarctic water belt is of major significance for global climate as it supplies large regions of ocean with intermediate and bottom water. While the North Atlantic is influenced by the South Atlantic through the input of warm near-surface water, the input of North Atlantic deep Water into the Southern ocean and the Antarctic Circumpolar Current is one of the determining factors of the oceanography of the Antarctic. It is probable that the formation of Antarctic Intermediate and Bottom Water is greatly enhanced by the upward flow of warm, salt-enriched deep water, which hinders sea-ice formation and delivers salt for increased density after cooling. »

**It is most appropriate to congratulate the editors for their achievement.**

It is not exceptional that scientists feel the need to convey a meeting to exchange newly acquired data, working hypotheses and update the state of the art in a particular field. Not so often does this result in the publication of *substantiated, usable* proceedings, available to the scientific community within a reasonable time (not the usual maximum 4 pages per author, completely outdated when it is finally published in an obscure grey report series). It is very rare that the final publication has the outstanding quality of « The South Atlantic ».

The book is comprehensive, well-written, superbly illustrated, thoroughly documented and it will no doubt constitute a landmark in our understanding of the South Atlantic oceanography

It will have its place in all specialized libraries.

Jacques C.J. NIHOUL  
Université de Liège

J. GUILLEMOT - *Elements of geology*. Institut Français de Pétrole - Editions Technip, 27 rue

Ginoux, F-75737 Paris Cedex 15. 1991, 204 p. ISBN 2-7108-0699-1 (hardcover). Prix 240 FF.

This book from the Oil and Gas Exploration Techniques series, originally written as a course for engineering students of the Ecole Nationale Supérieure du Pétrole et des Moteurs and first published in 1968, presents the basics of geology in a very simple but surely attractive way for the intended readership. The book provides factual information on the constitution of the earth, the different rock types, the stratigraphic units, sedimentation and sedimentary basins and their deformation, without much digression on theoretical considerations or comprehensive schemes. The text is short and concise, the illustrations are schematic or else taken from didactic real life situations (with the drawback that simplified drawings of thin sections through sedimentary rocks, are presented instead of the original photomicrographs). They are undoubtedly derived from a student course, and must have proven their value. As a consequence, few references are mentioned and correctly not considered to be of particular interest to the users of the book. The most recent reference dates from 1984. It is remarkable that an edition in the Oil and Gas Exploration Techniques series, albeit a work first published in 1968, is not updated and that fundamental insights such as sequence stratigraphic models are omitted.

These shortcomings make this book not very suitable for the formation of geologists. However, it is not aimed at academic learning but at practical training of petroleum engineering students, enabling them to discuss on the nature of the rocks they drill through. In this respect this work could indeed be of great service.

Michiel DUSAR  
Geological Survey of Belgium

# Index volume 104 - 1995

## Society News

Assemblée générale - Algemene Vergadering (28.02.1995)		
Rapport du Président - Verslag van de Voorzitter	1-2	173
Rapport du Trésorier - Verslag van de Penningmeester	1-2	177
Conseil d'Administration Geologica Belgica Raad van Bestuur	1-2	179
Un retour dans le passé - Een terugblik op onze publicaties	1-2	180
Comptes-rendus - Boekbesprekingen	1-2	181
Comptes-rendus - Boekbesprekingen	3-4	312
M. BOUGHRIBA - ref. LEBBE <i>et al.</i>		
G. CUNY - Evolution des faunes de vertébrés à la limite Trias-Jurassique : apports de la Lorraine.	1-2	55
J. DE CONINCK - Indicateurs biostratigraphiques du phytoplancton à paroi organique des sables marins du Tertiaire à Oret (Entre-Sambre-et-Meuse).	1-2	151
L. DEJONGHE - ref. NGOYI <i>et al.</i>		
L. DEJONGHE, L. DOYEN & M. DUSAR - Hommage à Ivan de Magnée.	3-4	195
D. DELSATE - ref. MILNER <i>et al.</i>		
D. DELSATE - Une nouvelle dent d'Haramiyidae ( <i>Thomasia woutersi</i> ? Butler & Macintyre, 1994, Mammalia, Allotheria) du Rhétien d'Habay-la-Vieille (Lorraine belge).	1-2	23
L. DOYEN - ref. DEJONGHE <i>et al.</i>		
L. DOYEN - La géologie appliquée, du Minerai de Fer des Prairies de la Campine au Gisement de Cuivre de Kipushi (Hasselt, 23 mai 1905 - Ixelles, 5 février 1993).	3-4	196
Ch. J. DUFFIN - ref. MILNER <i>et al.</i>		
Ch. J. DUFFIN - The first Sphenodontian remains (Lepidosauromorpha, Reptilia) from the Late Triassic of the Gaume (Southern Belgium).	1-2	35
M. DUSAR - ref. DEJONGHE <i>et al.</i>		
B. FOBE - Lithostratigraphy of the Vlierzele Formation (Ypresian, NW Belgium).	1-2	133
A. FRANCOIS - Le contact entre le socle kibarien et la couverture katanguienne dans la région de Kolwezi (Shaba, Zaïre)	3-4	283
P. GODEFROIT - ref. GROESSENS-VAN DYCK <i>et al.</i>		
P. GODEFROIT - Biodiversité des reptiles marins du Jurassique inférieur belgo-luxembourgeois.	1-2	67
P. GODEFROIT - Un crâne d' <i>Ichthyosaurus communis</i> (Reptilia, Ichthyosauria) du Sinémurien supérieur de Lorraine belge.	1-2	77
P. GODEFROIT & D. SIGOGNEAU-RUSSELL - Cynodontes et mammifères primitifs du Trias supérieur en région lorraine et luxembourgeoise.	1-2	9
P. GODEFROIT, P. VIGNAUD & A. LIEGER - Un Téléosauridae (Reptilia, Mesosuchia) du Bathonien supérieur lorrain (France).	1-2	91
E. GROESSENS - ref. GROESSENS-VAN DYCK <i>et al.</i>		
M.-Cl. GROESSENS-VAN DYCK, E. GROESSENS & P. GODEFROIT - Georges Wouters (1935-1992) & Jean-Claude Lepage (1947-1992) : deux exemples de bonnes relations entre géologues amateurs et professionnels.	1-2	3
S. HUA - A propos d'un crâne de <i>Dyrosaurus phosphaticus</i> (Thomas, 1983), (Crocodylia, Mesosuchia) : contributions à l'interprétation paléocéologique et biogéographique des Dyrosauridae.	1-2	109
L. LEBBE & M. BOUGHRIBA - Interpretation of a double pumping test at Assenede by means of an inverse numerical model and the comparison of ordinary and biweighted least square solutions.	1-2	163
A. LIEGER - ref. GODEFROIT <i>et al.</i>		
A.R. MILNER, Ch. DUFFIN & D. DELSATE - Plagiosaurid and capitosaurid amphibian material from the Late Triassic of Medernach, Grand-Duchy of Luxembourg.	1-2	43

K. NGOYI & L. DEJONGHE - Géologie et genèse du gisement stratoïde cuprifère de Kinsenda (SE du Shaba, Zaïre).	3-4	245
H. PELISSONNIER - Les gisements minéraux hydrothermaux en contexte sédimentaire.	3-4	199
D. SIGOGNEAU-RUSSELL - <i>ref. GODEFROIT et al.</i>		
R. SMITH - <i>ref. SMITH et al.</i>		
Th. SMITH & R. SMITH - Synthèse des données actuelles sur les vertébrés de la transition Paléocène-Eocène de Dormaal (Belgique).	1-2	119
A.-C. VAN OVERBEKE & J. VERKAEREN - Le gisement Ag, Pb, Zn, Cu de Pachapaqui (Pérou) : étude préliminaire minéralogique, pétrologique et microthermométrie.	3-4	301
L. VAN WAMBEKE - Les carbonatites : origine, minéralogie et importance économique actuelle. La contribution belge et de l'Union Européenne.	3-4	291
J. VERKAEREN - <i>ref. VAN OVERBEKE et al.</i>		
P. VIGNAUD - <i>ref. GODEFROIT et al.</i>		