

## LES GISEMENTS STRATIFORMES EN ROCHE SEDIMENTAIRE D'EUROPE CENTRALE (KUPFERSCHIEFER) ET DE LA CEINTURE CUPRIFERE DU ZAIRE ET DE ZAMBIE<sup>1</sup>

par

J. J. LEFEBVRE<sup>2</sup>

(3 figures)

**RESUME.**- On a voulu, en comparant les minéralisations cuprifères stratiformes d'Europe et d'Afrique centrale, juger si l'on pouvait justifier l'existence d'une catégorie bien définie de gisements à géométrie, environnement et métallogénèse homogènes.

La conclusion à laquelle on parvient, à l'examen des minéralisations multiples et variées d'Afrique centrale, est que la situation est beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît. On peut, dans une première approximation, distinguer en fait plusieurs familles de gisements sur la base de leur géométrie et de leur situation au sein des grands cycles sédimentaires du Katangien.

Tout à la base du Katangien, on observe des gisements subconcordants en roches rouges, riches en hématite, associés à d'importantes altérations hydrothermales et probablement en liaison avec des failles verticales affectant le soubassement (Type Kinsenda). Plus haut dans la lithostratigraphie, vers le sommet des cycles correspondant au comblement des bassins, on reconnaît des minéralisations eustratiformes, en milieu réducteur (Type Kupferschiefer), sans altérations hydrothermales apparentes. En général, plus haut dans la succession lithologique, on identifie enfin des minéralisations à caractère filonien et chimisme plus complexe, liées aux phases orogéniques clôturant le cycle katangien.

Dans le détail, cette classification des gisements est rendue plus difficile encore par l'existence de minéralisations à caractère intermédiaire (Type Kamoto), par la superposition dans un même gisement de différents types de minéralisations et, comme certaines minéralisations sont liées aux rythmes sédimentaires, par la complexité de ces derniers. On peut donc parler d'un groupe de gisements liés dans l'ensemble à un environnement tectono-sédimentaire particulier et caractéristique, mais se différenciant entre eux en fonction de l'évolution dans le temps du bassin sédimentaire.

**ABSTRACT.**- Comparing the stratiform copper mineralization of Europe and Central Africa, the aim of this paper was to evaluate the possibility of defining a homogeneous category of deposits in sedimentary rocks, based on the geometry, the environment and the ore genesis.

Examination of the numerous and variable deposits of Central Africa indicated a more complex situation. In a first approximation, it is in fact possible to discriminate several types of deposits based on their geometry and their location in the main sedimentary cycles of the Katangan.

At the bottom of the Katangan, subconcordant deposits are found in hematite-rich red-beds, associated with intense alteration and probably related to a system of vertical faulting in the Basement (Kinsenda Type). Higher in the lithostratigraphy, eustratiform mineralization has been precipitated in reducing environmental conditions (Kupferschiefer Type). This type of deposit is located at the top of sedimentary cycles which correspond to the final stages of basin filling. Apparently, this type of mineralization shows no association with hydrothermal alteration. Commonly higher in the lithological succession, vein-related mineralization is observed with a mineral content characterized by a more complex chemistry. This mineralization is related to the orogenic phases at the end of the Katangan.

1. Manuscrit reçu en mars 1988.

2. Phillips Barratt Kaiser Engineering Ltd., 2150 West Broadway, Vancouver, B.C. V6K 4L9, Canada.

Intermediate types of mineralization (Kamoto Type), superimposition of different types of ore in the same deposit, and the relationship of certain ore types to the sedimentary cycles which show to be complex in their succession, make this ore classification even more complicated.

In conclusion, it is possible to consider a group of deposits, all related to a specific type of tectonic-sedimentary cycle, but differing from each other as a function of the time-related evolution of the sedimentary basin.

## INTRODUCTION

Pour beaucoup d'observateurs, les minéralisations dans le Kupferschiefer sont considérées comme l'exemple type de gisement syngénétique-sédimentaire (Wedepohl, 1971). C'est-à-dire, dans le cas particulier de l'Europe centrale, une minéralisation provenant du lessivage des arénites continentales (Rotliegenden) et transportée par les fleuves avant d'être déposée dans le bassin du Zechstein, en même temps que les sédiments.

L'unanimité est toutefois loin d'être réalisée en ce qui regarde l'application, dans le détail, de ce modèle. Les théories syngénétiques proposent, pour la source des métaux, une origine tantôt continentale, par lessivage des Rotliegenden (Wedepohl *et al.*, 1978) ou par érosion d'anciennes minéralisations dans le soubassement (Richter, 1941), tantôt marine, par précipitation directe à partir de l'eau de mer (Brongersma-Sanders, 1968), ou encore, liée à des fumeroles hydrothermales sous-marines (Dunham, 1964) ou des solutions hydrothermales drainées vers la mer à partir des montagnes du Harz (Ekiert, 1958).

En Afrique centrale, les premiers modèles à être proposés ont été essentiellement épigénétiques. Une origine hydrothermale-magmatique des éléments constitutifs de la minéralisation était associée à la présence de «granites jeunes» (Gray & Parker, 1929, Bateman, 1930 en Zambie; Gysin, 1936, Jamotte 1939 au Zaïre). La remise en question de l'existence des granites intrusifs dans le Katangien (Garlick & Brummer, 1951), l'exemple des Kupferschiefer et les idées de Schneiderhöhn (1932) ont amené Garlick (1953-54, 1961) à proposer, pour les gisements de Zambie, une théorie syngénétique-sédimentaire dans laquelle les métaux proviennent de l'érosion du socle pré-Katangien et, emmenés par les fleuves, sont fixés par réduction bactérienne dans une mer transgressive. Dans les faciès arénitiques grossiers, une part de la minéralisation pourrait même provenir directement de l'accumulation, sur les surfaces de stratification, de sulfures de cuivre détritiques d'origine continentale (Binda, 1975).

Les dernières tentatives visant à proposer une théorie épigénétique-hydrothermale pour les gisements de Zambie (Darnley, 1960; Sales, 1962)

ou du Zaïre (Vaes, 1962) n'ont guère rencontré de succès. Au contraire, l'engouement en Zambie pour la théorie syngénétique a été tel qu'actuellement encore, dans les départements géologiques des divisions d'exploitation minière, l'introduction de nouveaux modèles est assez mal acceptée. Cette même théorie n'a pas rencontré une adhésion aussi totale au Zaïre où les publications relatives à l'origine des minéralisations cuprifères en sont encore à peser le pour et le contre des théories syngénétiques (Oosterbosch, 1962), ou admettent simplement que le problème n'a pas encore de solution (François, 1974). Il est vrai que, de part et d'autre de la frontière, les gisements ne se ressemblent guère et les arguments générés par certaines observations dans un district ne trouvent pas toujours de confirmation dans l'autre. C'est d'ailleurs à partir du Zaïre que se développera, avec l'Ecole de Liège, un nouveau modèle métallogénique faisant intervenir la diagenèse dans le processus de fixation du cuivre.

Comme le font remarquer Bowen & Gunatilaka (1977), ce nouveau concept qui veut concilier deux théories apparemment incompatibles, a probablement germé au cours des affrontements entre Dunham (1964) et Davidson (1966), lors de discussions sur la relation possible entre la minéralisation et les évaporites. Bartholomé *et al.*, d'abord (1973), pour le gisement de Kamoto au Zaïre, puis Renfro (1974), en termes plus généraux pour les Kupferschiefer et la Zambie, proposent un modèle diagénétique du type sebkha supracotidale. Dans ce modèle, le cuivre d'origine continentale, est concentré, sous forme de complexes chlorurés, dans des saumures qui lessivent, par percolation, les roches détritiques récemment déposées en milieu oxydant. Ces saumures, dont l'origine est liée à l'existence d'évaporites en bordure du bassin, peuvent au cours d'une évolution ultérieure traverser des horizons réducteurs, où le cuivre est alors fixé par adjonction à un soufre déjà en place, éliminant de ce fait le problème du transport simultané de cuivre et de soufre dans des solutions à basse température. Cette fixation peut se faire au niveau d'une concentration de pyrite diagénétique précoce (Bartholomé *et al.*, 1973), d'une couche organique riche en H<sub>2</sub>S (Renfro, 1974) ou par

substitution de minéraux sulfatés au cours d'une réduction bactérienne (Annels, 1974).

Depuis, les modèles diagénétiques ont évolué vers des concepts nettement plus épigénétiques au sens large. De nombreux auteurs proposent une source plus profonde pour les métaux (Davidson, 1964; Rentzsch, 1974; Pélissonnier, 1978). Dans les gisements d'Europe, la circulation en profondeur des saumures cuprifères est associée à des phénomènes halocinétiques (Kucha & Pawlikowski, 1986) ou tectonique (Kulick *et al.*, 1986; Jowett *et al.*, 1982; Jowett, 1986a). En Zambie, dans un modèle purement épigénétique, Sawkins (1976), Raybould (1978) et Annels (1984) invoquent le volcanisme basique, lié à une tectonique verticale, à la fois comme source des métaux (tels le Cu et le Co) et comme source d'énergie pour la mise en circulation des saumures.

Comme on peut le constater, les hypothèses sur la genèse des gisements de cuivre stratiforme en roche sédimentaire ne manquent pas d'associer intimement les provinces d'Afrique centrale (P.A.C.) et du Kupferschiefer (Ksch.). Dans un symposium sur le cuivre africain où ils tentent de cataloguer les gisements stratiformes, Lombard & Nicolini (1963) intègrent ces deux provinces dans un sous-groupe eustratiforme (le type Mansfeld) qu'ils opposent au sous-groupe du type Red-Beds. Cette classification est peu satisfaisante, car des minéralisations en roches-rouges (minéralisations pénéconcordantes, en cuivre disséminé, dans des séquences clastiques immatures et hématitiques, pouvant être colorées de rouge) sont également connues en Zambie et dans le sud-est du Shaba, au Zaïre (Lefebvre, 1986 et 1987), en association avec les gisements plus classiques.

A l'examen des observations les plus récentes, nous allons comparer ces importantes provinces cuprifères d'Europe et d'Afrique et tenter, au mieux, de mettre en évidence leurs ressemblances les plus significatives et de juger s'il est possible de les rapporter à un même modèle métallogénique ou de les rassembler dans une même catégorie de gisement.

## COMPARAISON DES DEUX PROVINCES

### DIMENSIONS

En ce qui regarde l'aspect économique de ces provinces, leur importance n'est plus à démontrer. Les gisements stratiformes en roche sédimentaire comprennent des concentrations en minerai parmi les plus grandes (après les porphyres cuprifères) et les plus riches (un contenu en cuivre égal ou supérieur à celui des gisements de

sulfures massifs en roches volcaniques). Au sein de ce type de gisement, les Ksch. et P.A.C. constituent des réserves très importantes. Le récent district de Lubin en Pologne (fig. 1A) contiendrait de l'ordre de 20 millions de tonnes de cuivre exploitable (Gustafson & William, 1981) dans un minerai dont la teneur varie entre 1,5 et 2,0 % Cu. L'ensemble du bassin cuprifère polonais constituerait des réserves de l'ordre de 50 millions de tonnes de cuivre, pour un minerai estimé jusqu'à une profondeur de 1200 m et à teneur moyenne de 2 % Cu (White, 1986). Si on y ajoute le cuivre correspondant aux districts de Mansfeld et Eisleben, épuisés depuis 1970, et celui de Sangerhausen, toujours en exploitation (environ 2,5 millions de tonnes de cuivre pour la République démocratique allemande), enfin les minéralisations du Richelsdorfer Gebirge (République fédérale allemande), dont l'exploitation est achevée depuis 1950, on peut estimer à un peu moins de 55 millions de tonnes l'ensemble du cuivre récupérable originellement dans le Ksch.

Dans la province cuprifère d'Afrique centrale (fig. 1B), une estimation grossière de la quantité de métal donne environ 100 millions de tonnes de Cu, soit 60 pour la Zambie (y compris les gisements en réserve dans le dôme de Mwombezhi : Fleischer *et al.*, 1976; Chadwick, 1986), et dont il n'en resterait que 13 d'exploitables économiquement en 1986. Une quarantaine de millions de tonnes serait une estimation conservatrice pour le Zaïre où, faut-il le rappeler, toute minéralisation inférieure à 2 % de cuivre n'est pas considérée comme économique, ce qui laisse supposer des accumulations de cuivre beaucoup plus considérables que celles généralement admises.

### AGE

Une autre parmi les premières caractéristiques géologiques qui viennent à l'esprit quand on compare des provinces métallogéniques est l'âge de la minéralisation, ou au moins celui des roches dans lesquelles elle s'est mise en place. Or, ce facteur ne paraît pas essentiel dans le cas qui nous occupe : les gisements stratiformes en roches sédimentaires se sont formés à de nombreuses reprises au cours de l'histoire géologique et ce, à partir du Protérozoïque moyen (Udokan?). C'est-à-dire, semble-t-il, à partir d'une époque où la composition en oxygène de l'atmosphère atteint un palier suffisamment élevé pour voir se développer des environnements à caractère oxydant (Rutten, 1967; Schidrowski, 1984), environnements que l'on trouve souvent en association plus ou moins étroite avec les gisements liés aux strates (Gustafson & William, 1981).

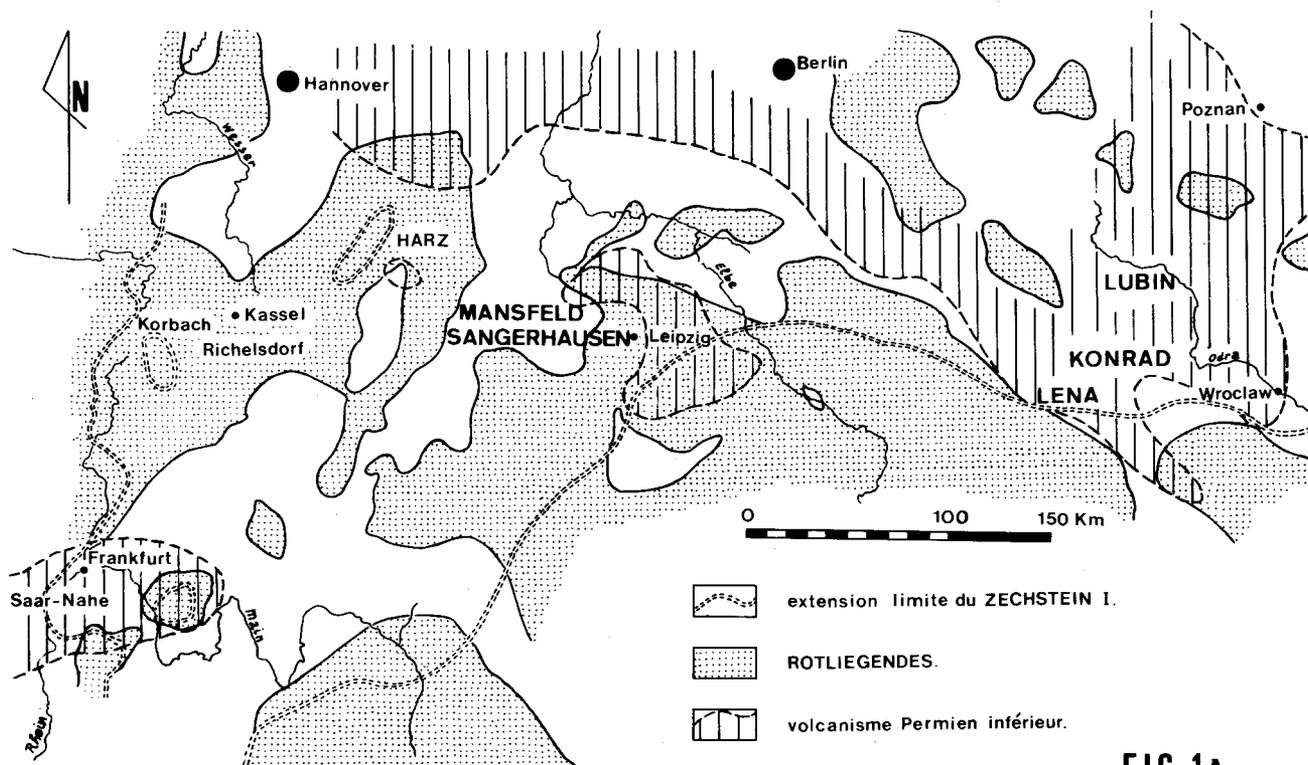


FIG.1A

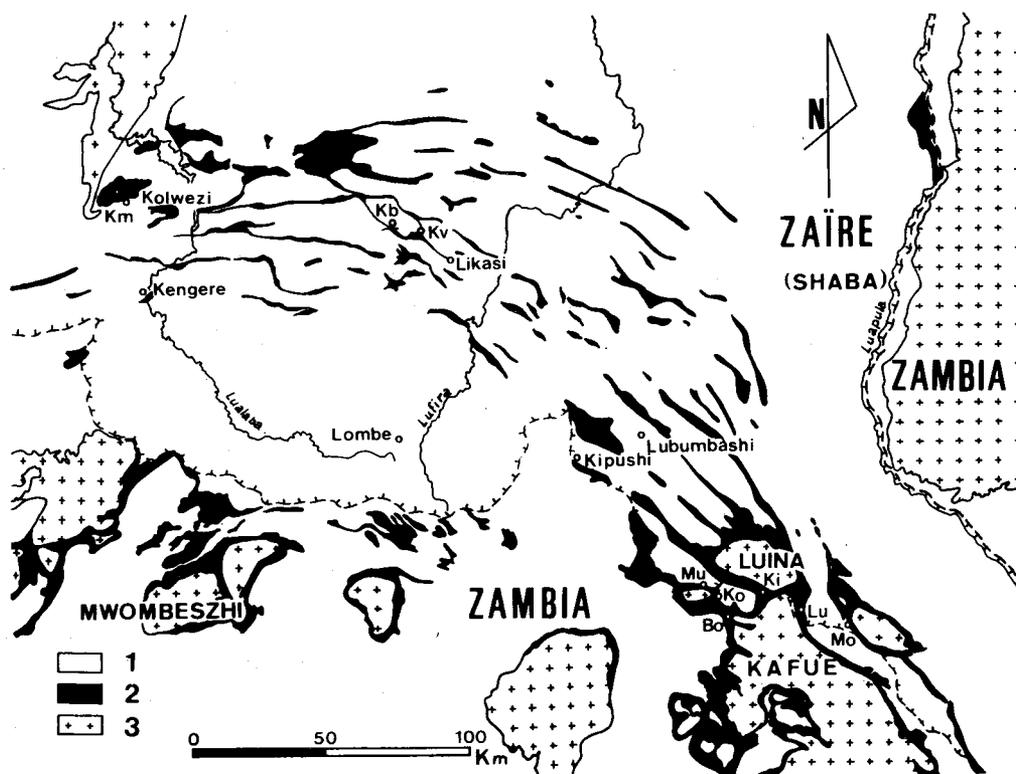


FIG.1B

Fig. 1.- Situation générale

1A. Situation du Permien d'Europe Centrale avec la localisation des principales provinces cuprifères.

1B. Province cuprifère d'Afrique Centrale. 1. Dépôts post-Shaba; 2. Supergroupe du Shaba; 3. Soubassement anté-Shaba.

Km : Kamoto; Kb : Kbolela; Kv : Kambove; Mu : Musoshi, Ko : Konkola; Bo : Kirila Bombwe; Lu : Lubembe; Mo : Mokambo.

Les périodes géologiques favorables à la formation de gisements stratiformes sont également des périodes qui correspondent assez bien avec le développement de dépôts sédimentaires de type aride à semi-aride, caractérisés par la présence simultanée de grès-rouges et d'évaporites.

A cette conjonction de périodes géologiques favorables et de types d'environnement, on peut également rapporter d'autres familles de minéralisations où l'élément cuivre et la géométrie stratoïde ne sont plus des facteurs dominants. Faisant partie intégrante des grands bassins cuprifères d'Afrique et d'Europe, on peut invoquer les gisements à Zn-Pb-Cu-Ge-Ga de Kipushi au Zaïre et de Tsumeb en Namibie, le gisement Pb-Zn-V de Kabwe en Zambie, les minéralisations du type U-(Ni) à Shinkolobwe, Kalongwe, Mindola, etc... dans la Province d'Afrique centrale (P.A.C.), enfin les Mansfelder Rücken à Cu-Co-Ni-U-Ag dans le Ks. On doit également prendre en compte, le gisement Cu-U-Au, au sein des sédiments clastiques, riches en hématite, d'Olympic Dam dans l'Adélaïdien d'Australie (Roberts & Hudson, 1983). D'autres importantes minéralisations uranifères dans les grès-rouges pourraient être également invoquées dans ce contexte : le district de Beaverlodge en Saskatchewan où la minéralisation, d'âge Protérozoïque moyen, occupe une zone fracturée à l'interface d'un soubassement métamorphique et de roches rouges appartenant à l'Aphébién tardif, ou encore les minéralisations U-V(Cu-Pb-Ag) du plateau du Colorado (U.S.A.), exploitées dans des sédiments clastiques rouges, la plupart continentaux, qui se succèdent quasi sans interruption du Permien au Pliocène. Ces différents types de gisements constituent une liste qui n'est certainement pas limitative.

En conclusion, le facteur temps n'aurait de signification qu'en ce qu'il marque certaines périodes plus favorables à la formation d'un type d'environnement particulier. Ce type d'environnement serait propice à la concentration économique de certains éléments, avec une spécificité relative qui paraît surtout liée à la disponibilité de l'élément dans le bassin (qu'il y ait été introduit par voie sédimentaire, avec le matériel clastique, ou par épigénétisme familial ou étranger) et à l'évolution tectonosédimentaire de ce bassin dans le temps.

Dans le cas des Provinces d'Afrique centrale, par exemple, les Cu-Co sont des éléments dominants au cours des phases initiales de l'évolution du bassin, alors que U, Ni puis le Zn s'imposent progressivement au cours des phases ultérieures.

## ENVIRONNEMENT TECTONO-SEDIMENTAIRE (fig. 2)

### Kupferschiefer (Ksch.)

En Europe, le Ksch. fait partie d'un cycle sédimentaire de grande amplitude qui suit de peu les phases paroxysmales de l'orogénie hercynienne. Sur le Paléozoïque ancien, plissé isoclinalement, vont se déposer toute une succession de dépôts détritiques continentaux, Carbonifère supérieur et Permien inférieur. A la fin du Stéphanien, une importante tectonique distensive s'accompagne d'une intense activité volcanique bimodale (Ziegler, 1982), suivie de l'apparition de rifts continentaux (Jowett & Jarvis, 1984). Ces derniers vont contrôler le dépôt de roches clastiques rouges, mêlées à un matériel volcanique riche en alcalins et localement très abondant (Autunien de Pologne, Ryka, 1981; Rotliegende du Bassin de Saar-Nahe, Negendank, 1971).

Continuellement réamorçés par les effondrements répétés des fosses permienes, vraisemblablement liés aux phases saaliennes qui annoncent la fin du cycle orogénique varisque, les dépôts des Rotliegenden consistent en une superposition de cycles sédimentaires s'affinant vers le haut (de conglomérats à siltites). Ces cycles sont composés de faciès détritiques de type piémont, fluvial, éolien et de faciès lacustres, correspondant à un milieu aride à semi-aride (Glennie, 1972).

Avec le Permien supérieur, au moins quatre cycles sédimentaires vont se succéder (Jowett, 1986b). Ces cycles évoluent progressivement, de bas en haut, de dépôts du type lagunes ou lacs permanents peu profonds à des dépôts salins épais. Le cycle inférieur Z1, le plus important en épaisseur, est également le plus important du point de vue économique, car c'est à ce seul niveau qu'on observe une minéralisation localement exploitable. Il se compose, à la base, de moins d'un mètre de pélites noires, finement stratifiées, carbonatées, charbonneuses et pyriteuses (Kupferschiefer T1). Ces pélites passent progressivement vers le haut à des calcaires gris contenant de nombreux fossiles (Zechsteinkalk Cal), puis à des dépôts salins épais (Werra-anhydrite Al et Werra-halite Na).

Le Zechstein d'Allemagne contient des évaporites sur près de 2000 mètres d'épaisseur, ce qui impliquerait l'existence d'un bassin de sédimentation relativement profond (Schmalz, 1969). Un bassin peu profond, générateur de sédiments évaporitiques d'épaisseur considérable, ne peut se concevoir que si la subsidence s'effectue à un rythme parallèle à celui de la

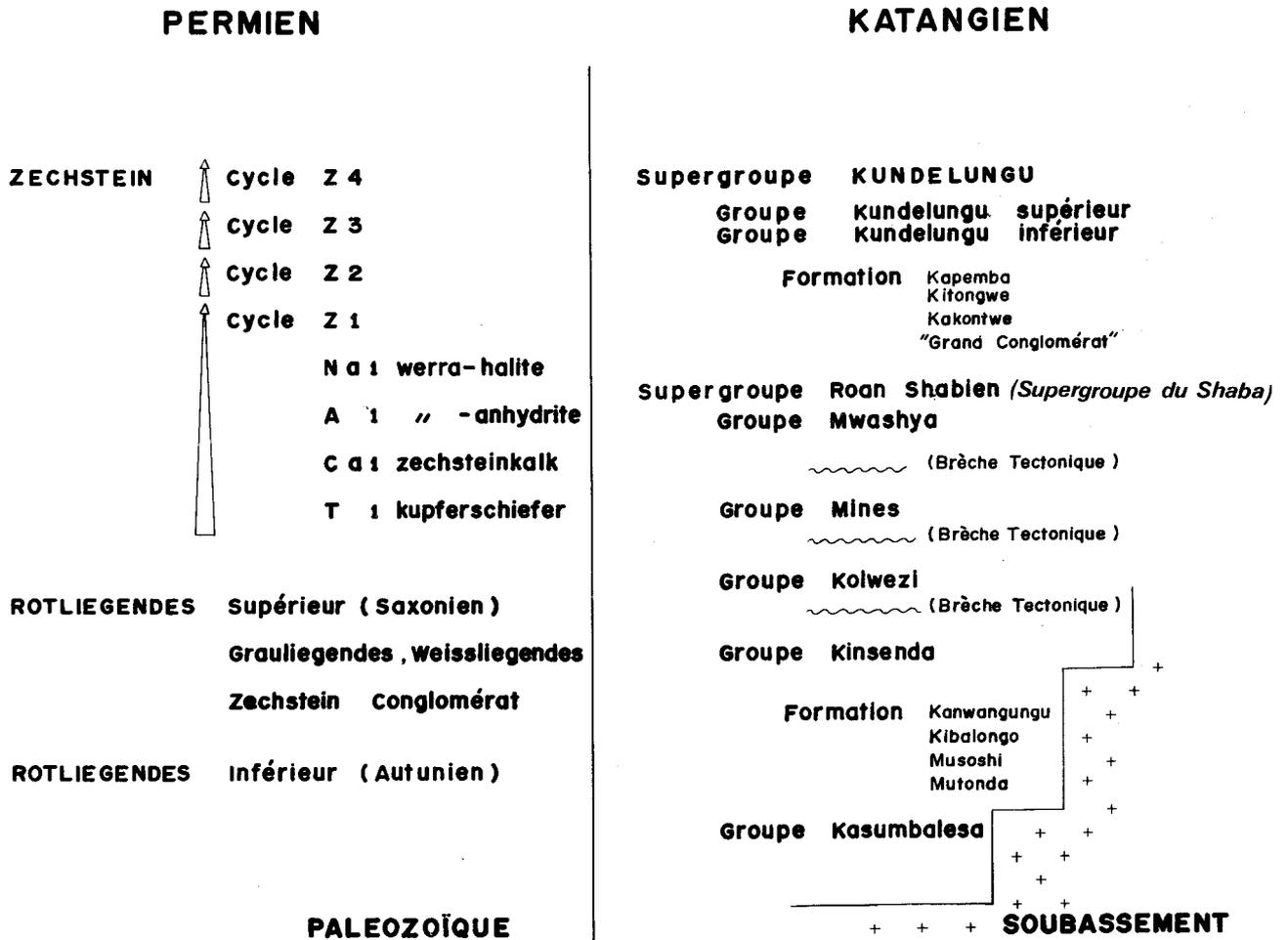


Fig. 2.- Echelles lithostratigraphiques

précipitation chimique: une situation qui n'est possible que dans le seul cas d'un bassin limité par des failles actives.

Le Permien d'Europe centrale correspondrait donc à un environnement que l'on peut qualifier globalement de transitoire, avec une évolution qui marque le passage d'un milieu continental à un milieu marin marginal et se traduit par un mégacycle sédimentaire évoluant de roches-rouges à des roches de précipitation chimique en milieu confiné. Ce cycle correspondrait, en fait, à un gigantesque cyclothème, de 1000 à 2000 mètres d'épaisseur, résultant d'une sédimentation rythmique, vraisemblablement liées à une tectonique verticale, active en permanence.

Au-dessus de ces considérables épaisseurs d'évaporite, le retour à des grès-rouges (Bund-sandstein), suivis de dolomies et calcaires (Muschelkalk), indique l'existence d'un nouveau cycle sédimentaire majeur, de 1000 mètres d'épaisseur au maximum, d'âge triassique et, semble-t-il, également contrôlé par l'activité de bassins limités par des failles (Rift triassique : Jowett, 1986b).

#### Province cuprifère d'Afrique centrale (P.A.C.)

Un environnement tectono-sédimentaire très semblable a été reconnu dans le P.A.C. La masse des couches y est toutefois plus épaisse et leur succession plus complexe.

Sur un soubassement modérément métamorphique, par endroits intensément plissé, recoupé par de nombreux dikes doléritiques et envahi par de grandes masses magmatiques, certaines paraissant relativement récentes (Red Granite, Mendelshohn, in Mendelshohn, 1961; Granite porphyrique de Kinsenda, Gysin, 1936), repose en discordance le Supergroupe du Shaba (Lefebvre, 1988). La base de ce Supergroupe est formée de couches grossièrement détritiques, riches en hématite, et correspondant à des dépôts pédimentaires, fluviaux et éoliens (Lefebvre, 1988). L'hématite est fréquemment concentrée sur la surface des stratifications croisées qui abondent dans les conglomérats feldspathiques et arkoses grossières. Comblant le fond de petites dépressions linéaires, probablement bordées de failles sub-verticales, on reconnaît des masses

non négligeables de roches épicycliques en partie formées de tuf acide lithique, riche en cristaux, de composition assez alcaline, essentiellement potassique (gisement de Kinsenda). Cet ensemble de roches déposées en milieu oxydant forme la base de un à deux cycles sédimentaires majeurs, s'affinant vers le haut, qui évoluent par saccades et multiples retours en arrière vers des environnements de type plaine d'épandage et, plus rarement lacustre. Ces derniers faciès sont principalement représentés par des pélites massives vertes, finement gréseuses et feldspathiques, contenant de nombreuses concrétions évaporitiques et fantômes de sélénites, à présent remplacés par une dolomite finement pigmentée d'hydrohématite et plus rarement d'oligiste (faciès d'épandage), ou par des siltites rubanées vertes à rares lentilles arkosiques (faciès limniques).

Le premier cycle, que l'on observe seulement dans les dépressions les plus profondes (350 m dans la dépression linéaire de Kasumbalesa, au Nord-Ouest de l'Anticlinal de la Kafue : Lefebvre, 1988) a été entièrement incorporé dans une même unité, le Groupe de Kasumbalesa (fig. 2), et ne semble pas contenir d'importantes minéralisations. Lui est superposé un second cycle sédimentaire, de 60 à 425 m d'épaisseur, qui contient cette fois de nombreuses minéralisations cuprifères, souvent très riches. Ce cycle s'inscrit entièrement dans la Formation de Mutonda qui constitue la base du Groupe de Kinsenda. En Zambie, à la formation de Mutonda correspond grossièrement les «Footwall Aquifer» et «Footwall Quartzite» des gisements de la Division de Konkola. Le passage à la formation suivante est tranché et s'observe sur de grandes distances. Il se compare assez au contact Rotliegenden-Zechstein du Ksch. et consiste en la superposition de faciès lacustres ou lagunaires à des faciès de plaine d'épandage dans une dépression endoréique (Kinsenda, Lubembe, Mokambo) plus ou moins envahie de dépôts fluviatiles (Musoshi, Chililabombwe, M'Baya). Cette deuxième formation du Groupe de Kinsenda (Formation de Musoshi : maximum 175 m) correspond également à un cycle majeur, s'affinant vers le haut : il correspond toutefois à un degré de maturité plus élevé dans l'évolution du bassin. Comme pour le Zechstein, on observe un passage progressif de siltites, déposées dans un milieu à énergie très faible (Ore Shale des Zambiens), à d'épais dépôts évaporitiques à présent remplacés par de la dolomite et magnésite, de la silice et du talc. Dans le détail, cette évolution peut présenter certaines variations locales :

- l'abondance d'apports fluviatiles dans la région Musoshi-M'Baya diffère pour une longue période l'apparition de faciès évaporitiques;

après une brève apparition au sommet de la Formation de Musoshi (Membre du P.C.D.), il faut attendre la Formation de Kanwangungu pour voir les évaporites se mettre en place définitivement;

- à Lubembe, les évaporites s'installent rapidement après un court épisode euxinique, marqué par le dépôt de siltites riches en matière organique; l'ensemble résulte en une séquence idéale (siltite rubanée verte, pélite noire, marne sombre, carbonates et évaporites claires) semblable à celle du Ksch.

La minéralisation en cuivre, quand elle est présente, se concentre à la base de cette séquence avec un indice de stratiformité toujours extrêmement élevé comme pour le Ksch.

A ces épaisseurs non négligeables de matériel à tendance évaporitique va correspondre l'apparition d'importantes dislocations tectoniques qui vont interrompre la succession lithostratigraphique du Roan shabien. Dans la partie supérieure de ce Supergroupe du Shaba (au moins 1000 m d'épaisseur), transformée en mégabrèche, on reconnaît plusieurs passages de grès-rouges à des roches argilo-dolomitiques de milieu réducteur et légèrement confiné. La séquence idéale de ces nouveaux événements sédimentaires est cette fois inversée par rapport au Ksch. et au Groupe de Kinsenda. Dans le Groupe des Mines, correspondant vraisemblablement à la première transition «milieu oxydant-milieu réducteur» et à laquelle est attachée la grande majorité des gisements exploités au Shaba, la séquence idéale s'exprime par la succession suivante (épaisseur variant de la dizaine à plusieurs centaines de mètres) :

- grès-rouges de piémont et d'épandage proximal à la base,
- argilites et grès argileux pyriteux de plaine d'épandage endoréique,
- dolomies évaporitiques intercotidales,
- marnes gréseuses claires, lagunaires,
- siltites claires puis charbonneuses, noires.

Enfin, au sommet de la séquence et principalement dans les régions septentrionales du bassin katangien, s'observent des grès et conglomérats arkosiques fluviatiles. Le fait que cette séquence soit inversée par rapport au Ksch. ne semble pas affecter la position de la minéralisation qui se localise à nouveau à la base du cycle, presque immédiatement au-dessus de l'interface «milieu oxydant-milieu réducteur».

Au-dessus du Supergroupe du Shaba, le Supergroupe du Kundelungu est composé de deux cycles sédimentaires majeurs. Ces cycles débu-

tent par des dolomies plus ou moins évaporitiques et passent à des calcaires, puis à des pélites et, enfin, des grès-rouges hématitiques vers le sommet. Chacun d'eux comporte à la base une formation à diamictites qui s'apparente à des coulées boueuses (Cahen, 1978), mêlées à un matériel volcanique basique fissural, vraisemblablement attaché à des mouvements verticaux du bassin. Le Kundelungu inférieur (de 1000 à 4000 m d'épaisseur) contient d'importantes minéralisations cupro-zincifères, d'allure filonienne, dans les carbonates à la base du cycle sédimentaire (gisement de Kipushi et indices de Kengere et Lombe, dans la Formation des Calcaires de Kakontwe). Le Kundelungu supérieur (de 1000 à 1500 m d'épaisseur) contient, dans les roches-rouges au sommet du cycle, quelques minéralisations cuprifères stratiformes sans valeur économique (François, 1974).

## ROCHES IGNEES

Dans le Ksch., des roches ignées ont été observées en abondance dans le Permien inférieur. Elles correspondent à un volcanisme bimodal, assez alcalin, composé principalement de mélanophyre trachyandésitique, de rhyolites porphyriques alcalines et de séries basaltiques à latitiques, souvent profondément spilitisées. Ces manifestations effusives sont clairement associées au démarrage des cycles sédimentaires du Rotliegendes. Toutefois, il n'apparaît pas de relation directe entre ce volcanisme et la minéralisation du Ksch. Tout au plus, peut-on remarquer que ces dernières sont présentes seulement quand le volcanisme bimodal du Permien inférieur continental est bien développé.

Dans la Province cuprifère d'Afrique Centrale, l'identification des manifestations volcaniques est rendue difficile par les importantes recristallisations qu'ont subies les roches en général (spilitisations et kératephyres, microclinisation des roches acides et biotitisation des roches basiques). Il ressort toutefois des plus récentes observations, toutes n'étant pas encore publiées, que le volcanisme a été présent pendant tout le Katangien. Il serait, comme pour le Ksch., bimodal et intimement associé à la tectonique verticale qui contrôle la sédimentation (Lefebvre, 1985).

Des tufs acides, en partie épicrostiques, ont été récemment reconnus dans le Sud-Est du Shaba, à la base de la Formation de Mutonda. Ils succèdent de peu à des roches basiques dont la signification n'est pas encore pleinement comprise. Il pourrait s'agir d'épanchements, à la base du Supergroupe du Shaba, de roches injectées dans le soubassement anté-Katangien, le long de fractures et failles sub-verticales de direction N60 à 85°E. Ces

tions forment des dikes plus ou moins épais de diabases, amphibolites et biotitites, associées à d'épaisses lentilles de quartz, souvent bréchié. Aux épontes, la roche ancienne est souvent mylonitisée et profondément altérée (quartz, séricite, pyrite). Les altérations hydrothermales, souvent complexes, associées aux minéralisations à la base du Katangien de Kinsenda et Lubembe pourraient être raccordées à ces zones tectonothermales (Lefebvre, 1987).

L'existence de minces lits cinéritiques dans l'horizon minéralisé (H.M. ou Ore Shale) à la base de la Formation de Musoshi est plus que probable.

Des roches effusives basiques et acides ont été reconnues à chaque transition «milieu oxydant-milieu réducteur» dans la partie supérieure du Supergroupe du Shaba. Généralement, ce sont des cendres acides feldspathisées et localement des ignimbrites (Groupe de Mwashya et des Mines), qui succèdent à des coulées basaltiques, associées à de nombreuses accumulations pyroclastiques et hyaloclastiques spilitisées (Groupe de Mwashya).

De larges épanchements de tholéiites continentales, en nappes superposées, à intercalations d'hyaloclastites et de laves en coussin bréchiées s'insèrent dans les diamictites à la base des cycles du Kundelungu.

Il a été proposé que ces roches effusives basiques, et celles du Groupe de Mwashya en particulier (Lefebvre, 1973), présentaient un lien génétique avec les nombreux filons-couche de diabase intercalés dans les dolomies et roches-rouges de la partie supérieure du Roan shabien. Pour Annels (1984), ces manifestations hypovolcaniques, fréquentes au Sud du Shaba et à l'Ouest du dôme de la Kafue en Zambie, proviendraient de fractures verticales profondes liées à un rift intracratonique protérozoïque. Les métaux responsables des minéralisations du P.A.C. auraient, pour cet auteur, suivi le même cheminement.

## CARACTERISTIQUES DE MINERALISATION

### Type «Kupferschiefer»

La minéralisation du Ksch. est attachée au contact entre le Permien supérieur et inférieur, plus particulièrement à la base du premier cycle de Zechstein (Z1), négligeant totalement les autres cycles sédimentaires. En effet, il ne semble pas exister d'augmentation anormale de la teneur en métaux dans les pélites à la base des cycles supérieurs (Rentzsch, 1974). Au sein de ce cycle Z1, la minéralisation peut varier légèrement en position avec, occasionnellement, des teneurs économiques sous le Kupferschiefer, c'est-à-dire au som-

met réduit et blanchi du Rotliegendes (Weissliegendes de la mine de Rudna en Pologne; Grauliegendes du bassin de Richelsdorf en Allemagne fédérale) ou, en bordure de bassin, des minéralisations au sommet du «Kupfermergel», équivalent latéral plus dolomitique et nettement moins carboné du Kupferschiefer (gisement de Konrad, Nowy Kosciol et Lena en Pologne; le Golfe de Korbach en Allemagne fédérale). Dans le premier cas, on observe directement, sous la minéralisation, les roches originellement rouges des Rotliegendes; dans le second cas, la base du Zechstein est tachetée de rouge (parfois aussi haut que le A1; fig. 3a et b) par des cryptocristallisations d'oxyde de fer (Rote Fäule), avec localement substitution d'une pyrite primaire par de l'hématite.

En termes de métallogénèse, on peut donc parler d'une minéralisation fixée en un point singulier, à l'intersection de deux «manifestations» géologiques qui s'expriment selon des lieux géométriques non nécessairement parallèles :

- un front d'oxydo-réduction lié à l'évolution sédimentologique du bassin et attaché à la base d'un cycle sédimentaire, souvent enrichi en matière organique («manifestation» géologique liée à l'environnement sédimentaire : «lieu» L1; fig. 3a et b);
- un front d'oxydo-réduction lié à des conditions post-sédimentaires («manifestation» géologique post-sédimentaire : «lieu» L2) qui succède et se superpose à la première «manifestation».

Une autre «manifestation» géologique qui conditionnerait l'apparition d'une minéralisation (Jowett, 1986b) est la présence de fortes dénivelées dans la paléotopographie pré-autunienne, pour autant que ce soit dans une zone riche en matériel volcanique. Il n'est pas encore assuré que cette dernière «manifestation» soit indépendante de la précédente. Il est en effet possible que ces deux dernières conditions soient liées à un même phénomène métallogénique.

#### Type «Rücken»

Un autre type de minéralisation observé dans le Ksch., mais de moindre importance économique, consiste en des veines discordantes à sulfarséniures de Cu-Co-Ni-U-Ag, riches en quartz, carbonates et sulfates, qui recoupent la base du Zechstein dans des zones faillées en relation avec l'orogénèse alpine (Dunham, 1964).

#### Type «Kinsenda»

La situation est plus complexe dans le P.A.C. En fait, sur la base de ce qui a été dit pour le Ksch., il faut séparer les minéralisations d'Afrique centrale en types très sensiblement différents.

Tout à la base du Groupe de Kinsenda, près du contact avec le soubassement, s'observe un premier groupe de minéralisations caractérisé par le gisement de Kinsenda et Lubembe au Zaïre et vraisemblablement apparentés aux FW Arenites Orebodies d'Annels (1984). Les particularités distinctives de ce type, aisément identifiables à Kinsenda, tiennent tout d'abord à la géométrie de la minéralisation qui est contrôlée par la porosité de la roche-hôte. Lenticulaire subconcordante à Kinsenda, la minéralisation s'infiltré dans les conglomérats arkosiques à la base des séquences sédimentaires, avec des teneurs de 2 à 20% Cu, alors qu'elle est bloquée vers le haut par les unités argileuses au sommet de ces mêmes séquences (fig. 3e). A Lubembe, la roche-hôte présente une succession lithologique plus homogène avec un horizon épais d'arkoses grossières, relativement uniformes. Il en résulte un étalement nettement discordant de la minéralisation, dont la teneur baisse proportionnellement (tache minéralisée de 50 à 70 m d'épaisseur à une teneur de 2% Cu en moyenne). Une autre particularité inhérente à ce type est la localisation de la minéralisation cuprifère dans des arénites grossières, déposées dans un milieu oxydant à haute énergie. On observe, en effet, immédiatement en périphérie des lentilles minéralisées, une abondance d'hématite concentrée dans les joints de stratification croisée.

Le «lieu» (L1), qui a aidé à fixer la minéralisation dans le Ksch., n'est pas présent dans le type «Kinsenda»; ce qui lui fait perdre toute allure stratiforme. On reconnaît par contre le «lieu» front d'oxydation post-sédimentaire (L2) et la relation «minéralisation-irrégularité du soubassement» associée à la présence de matériel volcanique. En effet, la minéralisation lenticulaire est inscrite dans un emboîtement d'altérations hydrothermales qui semblent prendre racine dans les failles verticales affectant le soubassement et qui, à Kinsenda au moins, paraissent pour certaines avoir été la source d'un volcanisme fissural bimodal. L'emboîtement d'altérations se calque sur une zonation de la minéralisation. En effet, de bas en haut des lentilles minéralisées, on passe progressivement d'un conglomérat arkosique rose à hématite à un conglomérat poreux, lessivé, d'où l'hématite a disparu. On pénètre ensuite dans une roche rendue méconnaissable par une intense recristallisation de quartz et microcline. Cette zone, d'abord orange puis rouge à rouge sombre, tient sa couleur d'une abondante cryptocristallisation d'oxyde de fer et pourrait fort bien représenter un équivalent assez spectaculaire du Rote Fäule européen. C'est à ce niveau qu'apparaissent les premiers indices d'une minéralisation cuprifère, en taches isolées, très riches en chalcosine et contenant localement du cuivre natif. Dans la zone

suivante, devenue très blanche et où sérécitisation et silicification tendent à faire disparaître progressivement les feldspaths, on observe un passage de la chalcosine à la digénite, puis à une alternance de bandes à bornite et à chalcopyrite dans laquelle s'intercale parfois un niveau à chalcosine. Au coeur de la lentille, la roche est souvent gris sombre, extrêmement silicifiée et riche en sulfures de cuivre sous la forme d'une anastomose de veinules parfois épaisses de digénite et chalcosine massives. En continuant la progression vers le haut, on retrouve dans l'ordre inverse les zones précédemment décrites, pour aboutir enfin au conglomérat feldspathique rose riche en hématite de la zone non altérée. Remarquons enfin que le rubanement formé par l'alternance de sulfures de Cu, clairement visible dans l'altération formé par Cu, clairement visible dans l'altération blanche au coeur des lentilles, a un aspect très semblable à celui qu'on peut observer dans le Weissliedens, richement minéralisé en chalcosine et digénite, de la mine Rudna en Pologne (Kucha & Pawlikowski, 1986).

#### Type «Konkola»

Stratigraphiquement au-dessus du type «Kinsenda», qui se localise à la base de la Formation de Mutonda, on trouve les minéralisations du type «Konkola» au contact des Formations de Mutonda et Musoshi, dans des siltites (Ore Shale des Zambiens) formant un horizon remarquablement continu dans la Province cuprifère de Zambie. Le type «Konkola» a beaucoup de caractères en commun avec les gisements d'Europe. Les siltites constituent l'unité inférieure d'un cycle sédimentaire très semblable à celui du Ksch., et la minéralisation apparaît à peu de distance au-dessus d'arénites, localement très grossières, déposées dans un milieu oxydant, favorable à la cristallisation de l'hématite («lieu» L1 du métallotect). A une échelle appropriée, la minéralisation se montre

légèrement discordante sur ce contact lithologique (fig. 3c); elle présente, du bas vers le haut, une zonation chalcosine-bornite-chalcopyrite-pyrite bien marquée qui succède de peu à une ligne, ou à des marbrures rouges, s'apparentant très fort au Rote Fäule (Lefebvre & Tshauka, 1986). Ces marques rouges ne s'observent que lorsqu'il existe une minéralisation sulfurée dans la siltite. A Kinsenda, par exemple, la roche est richement minéralisée en pyrite au-dessus de nombreuses marbrures de teinte bordeaux («lieu» L2 correspondant au front d'oxydation post-sédimentaire); à Lubembe, la roche est absolument vierge de tout sulfure et ne montre pas ces taches d'oxydation. Enfin, la minéralisation qui ne semble pas s'associer à des altérations particulièrement discernables de la roche-hôte, forme une série de gisements qui s'alignent le long d'un corridor correspondant au «Ore Shale Alignment» d'Annels (1984). Cet alignement épouse une zone en dépression (Kasumbalesa Trough : Lefebvre 1988) qui pourrait correspondre à un rift intracratonique auquel s'associeraient de nombreuses manifestations hypovolcaniques de composition basique (Annels, 1984). Les seules différences marquantes entre le type «Konkola» et le Ksch., résident dans la composition de la roche-hôte qui ne contient pas ou peu de matière organique (même quand elle est entièrement dépourvue de minéralisation) et celle de la minéralisation où l'association Cu-Zn-Pb du Ksch. est remplacée, dans le P.A.C., par l'association Cu-Co.

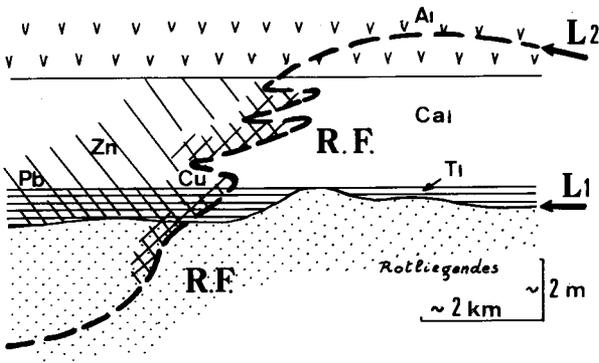
#### Type «Kamoto»

De 500 à 600 m (?) plus haut dans la colonne stratigraphique, on trouve le type «Kamoto» qui correspond aux gisements les plus caractéristiques de la Province cuprifère du Shaba. Il présente une certaine ressemblance avec le type «Konkola» en ce qu'on y retrouve le premier «lieu», à caractère sédimentologique, et certaines indications quant à

Fig. 3. Section schématique des différents types de minéralisation envisagés

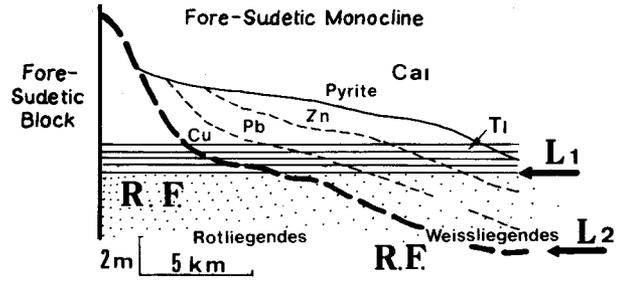
Dans ces différents schémas, l'accent a été placé sur la localisation des repères L1 et L2 de la minéralisation :

- la minéralisation se place au-dessus de L1 qui correspond à une discontinuité lithologique majeure, associée à une variation des conditions d'oxydo-réduction liée à l'évolution sédimentologique du bassin;
  - elle se situe également en périphérie de L2 qui correspond à un front d'oxydo-réduction post-sédimentaire.
- 3a. Schéma classique du Kupferschiefer de la R.D.A. (Rentzsch, 1974) où la minéralisation, à l'intersection de L1 et L2, est discordante par rapport à T1. Une zonation R.F. (Rote Fäule), cuivre, zinc, plomb y a été clairement reconnue. Les zones quadrillées correspondent à la localisation de la minéralisation à haute teneur, les zones lignées à la minéralisation à faible teneur.
- 3b. Un schéma semblable pour le Kupferschiefer de la Pologne a été publié par Jowett (1986). Dans les figures 3a et b, T1 représente la base du Zechstein qui consiste en shale noir (faciès Kupferschiefer) dans les zones profondes du bassin et en marne gris sombre (faciès Kupfermergel) dans les zones littorales.
- 3c. Dans le type «Konkola» (Lefebvre & Tshauka, 1986), les repères L1 et L2 sont quasiment juxtaposés. La minéralisation résultante a un degré de stratiformité élevé et une zonation (en Cu principalement) sub-parallèle aux couches.
- 3d. Dans le type «Kamoto», bien illustré à Kimpe, le repère L2 en forme de champignon est nettement sécant sur L1 et impose sa forme à la zonation de la minéralisation cuprifère et à l'altération associée des roches.
- 3e. Dans le type «Kinsenda», l'absence de L1 résulte en une allure fortement discordante de la minéralisation.



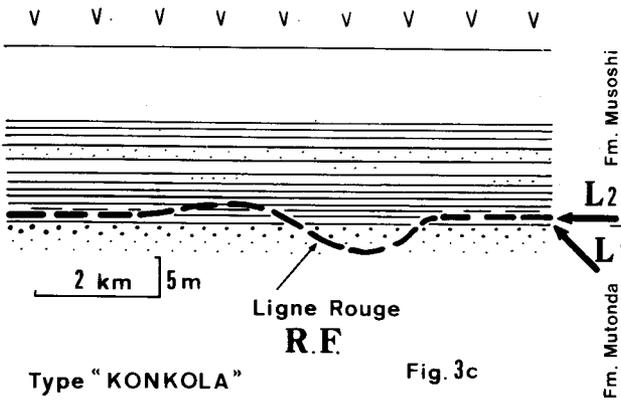
Kupferschiefer RDA  
d'après Rentzsch 1974

Fig. 3a



Kupferschiefer Pologne  
d'après Jowett 1986

Fig. 3b



Type "KONKOLA"

Fig. 3c

Lefebvre & Tshauka 1986

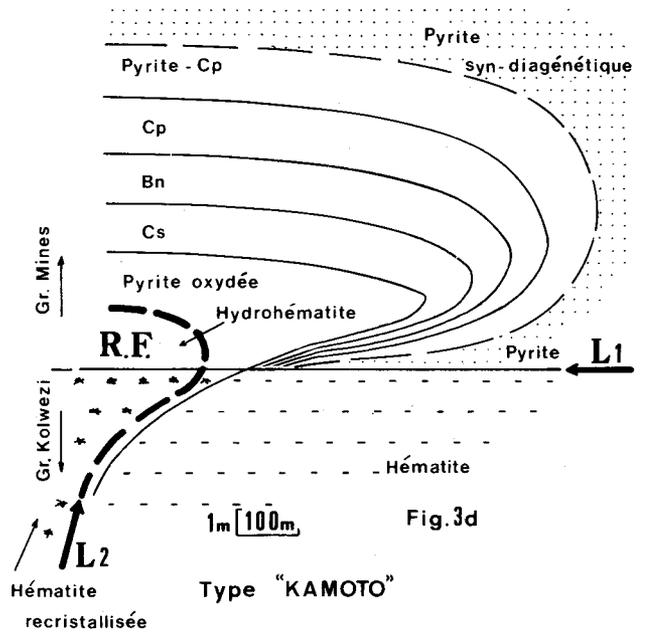


Fig. 3d

Type "KAMOTO"

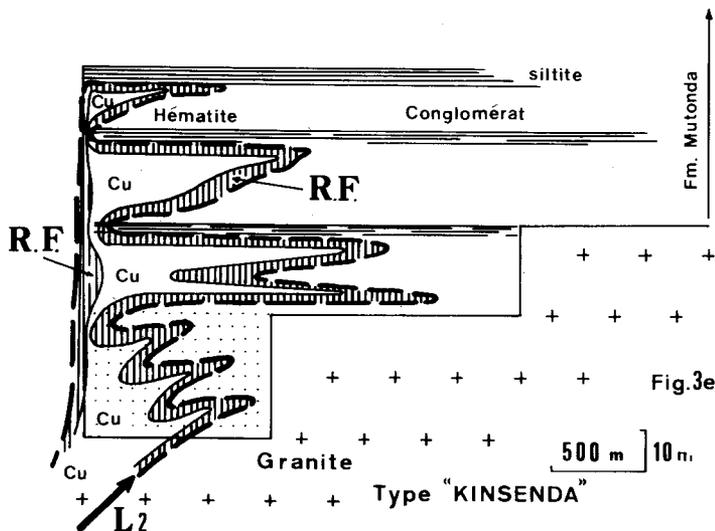


Fig. 3e

Type "KINSEDA"

- L 1 discontinuité lithologique majeure
- L 2 front d'oxydo-réduction
- R.F. ROTE FAÛLE

FIG. 3

l'existence du second. Le premier «lieu» L1 correspond, dans ce nouveau type, à d'épaisses roches-rouges (Groupe de Kolwezi) sur lesquelles repose un cycle sédimentaire qui, cette fois, est inversé par rapport au Ksch. (Groupe des Mines). La conséquence en est que les minéralisations sont disséminées dans des roches principalement carbonatées et sont moins abondantes dans les niveaux argileux situés plus haut. Pour le reste, on retrouve une zonation des sulfures assez semblable à celle du type «Konkola», avec, toutefois, une brève apparition de faciès pyriteux dans la partie inférieure (Cailteux, 1985). Cette zonation est également perturbée par la variété des unités lithologiques qui constituent le cycle. C'est ainsi que les teneurs en métaux baissent considérablement au sommet de la Formation de Kamoto (Membre R.S.C.) composée d'une dolomie massive, épaisse, et apparemment peu favorable à la fixation de la minéralisation. Les taches minéralisées du type «Kamoto» sont donc, quand le R.S.C. est bien développé (Nord-Ouest de la Province cuprifère zaïroise) divisées en deux corps minéralisés situés immédiatement au-dessous et au-dessus de dolomies fortement recristallisées, réputées stériles ( $\text{Cu} < 2\%$  : François, 1974). Dans le reste de la province, on ne dispose en général que d'un seul corps minéralisé, confiné à la partie inférieure du cycle sédimentaire.

La recherche du second «lieu» L2 et la reconnaissance d'altérations hydrothermales possibles sont rendues malaisées par la présence, le long du premier «lieu» L1, d'une discordance tectonique localement importante. Des marbrures rouges ou un blanchiment ponctué de taches rouges à la base de la minéralisation ont toutefois été observés sporadiquement (Kaboléla, Lefebvre, 1976; Kambove W, Cailteux, 1985).

Au Sud-Est du Shaba, où certains gîtes ont une dimension plus restreinte, ce qui leur permet de se conserver intégralement malgré la tectonique, on reconnaît, associée à la minéralisation, une zone d'altération en forme d'entonnoir (fig. 3d). Dans la partie la plus profonde de la zone d'altération, les roches-rouges du Groupe de Kolwezi se caractérisent par l'assemblage (Mg-Al) chlorite-phengite associée à une abondance d'hématite assez grossièrement recristallisée. A la base du Groupe des Mines, dans une zone à importante cristallisation de talc, albite et tourmaline, on observe tout d'abord une pyrite oxydée, partiellement transformée en hématite, disséminée dans une roche vaguement rougie que l'on pourrait rapporter à un faciès Rote Faüle. Plus haut, dans la zone, la chalcosine enrobe, puis se substitue à la pyrite. Une zone à bornite succède à la chalcosine, toutes deux avec une texture en stockwerk de la minéralisation, mêlée à de nombreuses veinules riches en

albite et magnésite. Alors que la chlorite s'ajoute à l'assemblage d'altération précédent, la chalcopyrite, en imprégnation grossière ou en veinules, se substitue à la bornite. A l'assemblage chalcopyrite-pyrite, correspond plus ou moins un assemblage d'altération talc-smectite. Alors qu'elle pénètre la Formation de Kamoto, mieux stratifiée, la minéralisation, en fine dissémination, paraît s'intégrer mieux dans le contexte sédimentaire de l'ensemble. Au niveau de la Formation de Kambove (S.D.), la pyrite est redevenue prédominante, localement auréolée d'un peu de chalcopyrite. Talc et smectite ne sont plus décelables dans la roche; ils ont disparu quelques mètres avant un front de décoloration, au-delà duquel la roche apparaît sombre, plus riche en matière organique. Hors des zones d'altération, même à grande distance des indices minéralisés, le Groupe des Mines, plus sombre et plus riche en carbone, reste abondamment pyriteux avec des teneurs en cuivre ne dépassant guère les 200 ppm; ce en quoi il se distingue du type «Konkola» où le «Ore Shale», stérile, est non carboné et entièrement dépourvu de pyrite.

Les complications tectoniques n'ont pas encore permis de mettre en évidence un lien possible entre les minéralisations du type «Kamoto», dans le Groupe des Mines, et des accidents verticaux affectant le soubassement. Toutefois, dans les niveaux les plus jeunes du Supergroupe du Shaba, constituant le Groupe de Mwashya, il a été possible de montrer l'existence d'une relation spatiale entre la distribution des gisements et indices minéralisés de type «Kamoto» et un linéament souligné par d'abondantes accumulations de roches liées à un volcanisme basique fissural (Lefebvre, 1985).

Ce type s'apparente donc également très fort au type Ksch. grâce à la présence du premier «lieu» géologique L1 qui assure une certaine stratiformité à la minéralisation, tempérée toutefois par l'allure en entonnoir du second «lieu».

#### Type «Kundelungu»

Les rares minéralisations en cuivre stratiforme observées dans le Supergroupe du Kundelungu ont été fort peu étudiées étant donné leur faible potentiel économique. Les quelques observations réalisées au cours des levés généraux permettent toutefois d'en définir les caractéristiques principales. Il s'agit d'une minéralisation pauvre, à chalcopyrite essentiellement, qui affecte une épaisseur réduite de siltite verdâtre (de quelque mm à quelques dm; François, 1974), en général à peu de distance au-dessus de roches-rouges ou bariolées. Comparée à leur épaisseur, ces minéralisations ont une extension assez exceptionnelle (la centaine de km?) qui résulte en une géométrie à

caractère hautement stratiforme. Par ce caractère et l'absence d'indications relatives à des transformations minéralogiques secondaires de la roche, ce type est, dans le P.A.C., celui qui cadre le mieux dans un contexte «syngénétique».

### Type «Filonien»

Faisant pendant au type «Rücken» d'Europe centrale et ce, avec une signification économique beaucoup plus importante, on reconnaît dans le P.A.C. des minéralisations attachées à des veines ou fractures, et qui peuvent imprégner l'encaissant sédimentaire avec une allure concordante à stratiforme.

Le chimisme de ces minéralisations est très variable et semble évoluer dans le temps en parallèle avec la maturation du bassin sédimentaire. Les manifestations du type «Filonien», qui passent pour les plus anciennes, impliquent le cuivre, le cobalt et, plus rarement, le zinc en faible quantité (Kaboleta : Lefebvre, 1976). Ces éléments se confinent dans des fractures d'extension, à déplacement le plus souvent nul, avec un remplissage principalement composé de quartz et dolomite. Tout au long de ces veines, la minéralisation présente une zonation qui évolue, de bas en haut, de l'hématite à l'hydrohématite, puis de la chalcosine à la pyrite, en passant par la bornite et la chalcopyrite. Un peu de zinc s'observe occasionnellement dans la partie supérieure de cette zonation. Celle-ci n'est pas toujours en phase avec la minéralisation encaissante, cette dernière pouvant même être totalement absente (Groupe des Mines à minéralisation pyriteuse essentiellement, recoupé de veines riches en sulfures de Cu). C'est au niveau du Shaba supérieur que ces veines sont les plus fréquentes. Elles sont alors le plus souvent stériles (rare pyrite grossière) et contiennent une abondance de minéraux argileux variés et complexes.

D'âge apparemment plus récent (Infracambrien à Cambrien), on observe des minéralisations Cu-Ni-U, principalement dans les roches du Groupe des Mines et de la Formation de Musoshi, où elles remanient les minéralisations cuprifères préexistantes. La mise en place de ces nouveaux éléments est associée à un cortège d'altérations hydrothermales de moyenne et haute température et s'effectue le long de failles et fractures que l'on peut mettre en relation avec les phases tardives de l'orogénèse lufilienne (Lefebvre & Tshauka, 1986).

Enfin, avec un âge cambrien, des minéralisations d'allure filonienne à Zn, Cu, Pb et Ag remontent le long de cassures transversales pour imprégner la base du Kundelungu inférieur et transformer les calcaires de la Formation de Kakontwe par silicification et métasomatose magnésienne (Intiomale & Oosterbosch, 1974).

## CONCLUSION

Dans sa présentation du colloque de Liège sur les gisements stratiformes de cuivre, Bartholomé (1974) faisait part déjà de ses préoccupations concernant l'appartenance possible de cette grande famille de gisements à des provinces à la fois polymétalliques et polytypiques (concentrations de plusieurs éléments dans des gisements de type différent).

Les informations présentées dans cette note tendent à montrer que l'identification des minéralisations du Ksch. et du P.A.C. à un seul type de gisement a pour résultat d'occulter la structure d'un phénomène appartenant à une dimension supérieure, plus complexe sans doute, mais qui tend toutefois à s'intégrer naturellement dans le processus d'évolution tectono-sédimentaire d'un bassin dans son ensemble.

Aux minéralisations du type cuivre stratiforme en roche sédimentaire se rapportent sans trop de difficulté les types Ksch., «Kundelungu» et «Konkola» sommairement décrits dans cette note. D'autres minéralisations observées dans les mêmes bassins s'en écartent parfois très fort, à la fois par la géométrie, le chimisme et par le concept d'un mécanisme post-diagénétique qui tend à s'y attacher nettement. On peut considérer chacun de ces types comme un état transitoire d'une évolution métallogénique à l'échelle d'un cycle orogénique complet.

De cette évolution métallogénique, nous en proposons le schéma suivant :

1. introduction de la minéralisation (polymétallique) dans le bassin, le long de failles verticales affectant le soubassement :
  - phase taphrogénique;
  - minéralisation épigénétique, subconcordante, en roches-rouges;
  - type «Kinsenda»;
  - remarques : la source ultime des métaux pourrait donc être extra-bassinale et profonde comme le suggèrent Sawkins (1976), Raybould (1978) et Annels (1984); toutefois le volcanisme qui semble y être attaché n'est pas nécessairement responsable directement de la minéralisation, il est lié à une tectonique verticale dont certaines directions auraient été également empruntées par des solutions minéralisantes de température relativement élevée (Lefebvre, 1988).
2. fixation en fin de cycle sédimentaire majeur, d'une minéralisation liée à une phase résiduelle, conservée en solution dans des saumures emprisonnées en milieu oxydant :

- A. fixation en relation avec le rejeu des failles verticales
- phase aulacogénique initiale
  - minéralisation dia-ou épigénétique, maculiforme, fixée par une pyrite préexistante
  - type «Kamoto»
  - remarques : la source des métaux peut être complexe et comporter, en plus du matériel d'origine profonde, des éléments résultant du lessivage des sédiments arkosiques grossiers et des roches volcaniques à la base des cycles sédimentaires; les solutions minéralisantes consisteraient en saumures (dont l'existence est liée à la présence de sédiments évaporitiques dans le bassin) transportant les métaux sous forme de complexes divers, à des températures non négligeables, en relation avec le rajeunissement du système de fractures verticales; la fixation de la minéralisation se ferait par substitution du fer dans les amas de pyrite stratiforme syn- ou diagénétique, à l'endroit où les saumures les recoupent lors de leur progression verticale.
- B. fixation au cours d'un processus nettement mieux intégré dans le contexte sédimentaire.
- phase aulacogénique terminale
  - minéralisation syn- ou diagénétique, eustratiforme, en roche arénitique fine ou carbonatée réductrice
  - type «Kundelungu», Ksch.?, «Konkola»?
3. fixation d'une minéralisation également résiduelle, mais cette fois relativement enrichie en éléments moins communs au bassin par fixation du cuivre lors des étapes antérieures, et remise en mouvement au cours des phases tectoniques liées à l'orogénèse katangienne :
- phase orogénique
  - minéralisation épigénétique filonienne par imprégnation le long des fractures.
  - type «Filonien».

## REMERCIEMENTS

Les sociétés Phillips Barrat Kaiser Engineering Ltd. à Vancouver et Sodimiza à Lubumbashi ont, grâce à leur appui, rendu ce travail possible. Les Directions Générales respectives sont remerciées pour en avoir permis la publication.

Le Professeur I. de Magnée a bien voulu en relire le texte et l'améliorer par ses nombreuses suggestions.

Mesdames J. Verbruggen et M. Vella se sont très aimablement chargées d'en dactylographier le texte.

## BIBLIOGRAPHY

- ANNELS, A.E., 1974. Some aspects of the Stratiform Ore Deposits of the Zambian Copperbelt and their genetic significance. In: P. Bartholomé (ed.), Centenaire de la Société géologique de Belgique. Gisements Stratiformes et Provinces cuprifères, *Soc. géol. Belgique*, Liège: 235-254.
- ANNELS, A.E., 1984. The geotectonic environment of Zambian copper-cobalt mineralization. *J. geol. Soc. London*, 141: 279-289.
- BARTHOLOME, P., 1984. Centenaire de la Société géologique de Belgique. Gisements Stratiformes et Provinces cuprifères, *Soc. géol. Belgique*, Liège: Texte d'introduction.
- BARTHOLOME, P., EVRARD, P., KATEKESHA, F., LOPEZ-RUIZ, J. & NGONGO, M., 1973. Diagenetic Ore-Forming processes at Kamoto, Katanga, Republic of the Congo. In: Ores in Sediments, Amstutz G.C. & Bernard A.J. (eds.), Springer-Verlag, Berlin: 21-41.
- BATEMAN, A.M., 1930. The Rhodesian copper deposits. *Can. Inst. Min. and Met.*, Tr. 33 (216): 477-513.
- BINDA, P.L., 1975. Detrital bornite grains in the Late Precambrian B graywacke of Mufulira. *Mineral Deposita*, 10: 101-107.
- BOWEN, R. & GUNATILAKA, A., 1977. Copper: its geology and economics. John Wiley & Sons. New York, Toronto: 366 p.
- BRONGERSMA-SANDERS, M., 1968. On the geographical association of strata-bound ore evaporites. *Mineral Deposita*, 3: 286-291.
- CAHEN, L., 1978. Les mixtites anté-cambriennes de l'Est du Zaïre: mise au point intérimaire. *Mus. roy. Afr. centr. Tervuren (Belg.)*, Dépt. Géol. Min., Rapp. ann. 1977: 33-64.
- CAILTEUX, J., 1985. Le Roan shabien dans la région de Kambove (Shaba-Zaïre). Etude sédimentologique et métallogénique. Thèse non publiée, Université de Liège.
- CHADWICK, J., 1986. The future of Zambian mining. *International Mining*, June: 12-22.
- DARNLEY, A.B., 1960. Petrology of some Rhodesian Copperbelt orebodies and associated rocks. *Trans. Inst. Min. Metall.*, London, 69: 137-173.
- DAVIDSON, C.F., 1964. Uniformitarianism and ore genesis. *Mining Mag.*, 110 (3): 176-185; 110 (4): 244-253.
- DAVIDSON, C.F., 1966. Some genetic relationships between ore deposits and evaporites. *Trans. Inst. Min. Metall.*, London, 75: B216-225.
- DUNHAM, K.C., 1964. Neptunist concepts of ore genesis. *Econ. Geol.*, 59: 1-21.
- EKIERT, F., 1958. Geological conditions and mineralogical character of the Zechstein in the Mansfeld basin (en polonais avec résumé anglais). *Warsaw Inst. Geologiczny Biul.*, 126: 57-110.
- FLEISCHER, V.D., GARLICK, W.G. & HALDANE, R., 1976. Geology of the Zambian Copperbelt. In: Wolf, K.H. (ed.), Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits. Vol. 6. Elsevier Scient. Pub. Co., Amsterdam, Oxford, New York: 223-352.
- FRANÇOIS, A., 1974. Stratigraphie, tectonique et minéralisations dans l'Arc cuprifère du Shata (République du Zaïre). In: P. Bartholomé (ed.), Centenaire de la Société géologique de Belgique. Gisements Stratiformes et Provinces cuprifères, *Soc. géol. Belgique*, Liège: 79-101.
- GARLICK, W.G., 1953-1954. Reflections of prospecting and ore genesis in Northern Rhodesia. *Trans. Inst. Min. Metall.*, London, 63: 9-20; disc. 94-106, 241-263, 358-367, 416-422, 526-530.
- GARLICK, W.G., 1961. The syngenetic theory. In: The geology of the Northern Rhodesian copperbelt. Mendelsohn, F. (ed.), London, McDonald: 146-165.
- GARLICK, W.G. & BRUMMER, J.J., 1951. The age of the granites of the Northern Rhodesian Copper Belt. *Econ. Geol.*, 46: 478-497.
- GLENNIE, K.W., 1972. Permian Rotliegendes of northwest Europe interpreted in light of modern desert sedimentation studies. *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 56: 1048-1071.
- GRAY, A. & PARKER, R.J., 1929. The copper deposits of Northern Rhodesia. *Eng. Min. Journ.*, 128 (10, 11, 12): 384-389, 429-434, 470-473.
- GUSTAFSON, L.B. & WILLIAMS, N., 1981. Sediment-hosted stratiform deposits of copper, lead and zinc. *Econ. Geology*, 75th Anniversary Volume, 1981: 139-178.

- GYSIN, M., 1936. Les minerais de cuivre du Sud-Katanga. Comité Spécial du Katanga, *Ann. du Service des Mines*, VII : 139 p.
- INTIOMALE, M.M. & OOSTERBOSCH, R., 1974. Géologie et géochimie du gisement de Kipushi, Zaïre. In: P. Bartholomé (ed.), Centenaire de la Société géologique de Belgique. Gisements Stratiformes et Provinces cuprifères, *Soc. géol. Belgique*, Liège: 123-164.
- JAMOTTE, A., 1939. Contribution à l'étude géologique du gisement cuprifère de Musoshi (Katanga méridional). *Publ. Assoc. Ing. Fac. Pol. de Mons*, 74 (5) : 64 p.
- JOWETT, E.C., 1986a. Effects of tectonic environment on Kupferschiefer-type deposits. In: Symposium on Sediment-Hosted Stratiform Copper Deposits: Program and Abstracts (Ottawa, 17-19 May 1986). *Can. Mineralogist*, 24 : 190.
- JOWETT, E.C., 1986b. Kupferschiefer and other sediment-hosted deposits in central Europe. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada, Canadian Geophysical Union, Joint Annual Meeting, Ottawa 86, Field Trip 12, *Guidebook* : 79 p.
- JOWETT, E.C., JOWETT, R.J. & RYDZEWSKI, A., 1982. The Kupferschiefer copper-silver deposits : syngenetic or epigenetic? Geological Association of Canada, Abstracts, 7 : 58.
- JOWETT, E.C. & JARVIS, G.T., 1984. Formation of foreland rifts. In: Jansa, L.F., Burolet, P.F. & Grant, A.C. (eds.), Basin Analysis: Principles and Applications. *Sedimentary Geology*, 40 : 51-72.
- KUCHA, H. & PAWLKOWSKI, M., 1986. Two-brine model of the genesis of stratabound Zechstein deposits (Kupferschiefer type), Poland. *Mineral Deposita*, 21 : 70-80.
- KULICK, J., LEIFELD, D. & THEUERJAHR, A.-K., 1986. A geochemical and petrofacies study of the Kupferschiefer in Hessia, West-Germany. In: Symposium on Sediment-Hosted Stratiform Copper Deposits: Program and Abstracts (Ottawa, 17-19 May 1986). *Can. Mineralogist*, 24 : 192.
- LEFEBVRE, J.J., 1973. Présence d'une sédimentation pyroclastique dans le Mwashya inférieur du Shaba méridional (ex-Katanga). *Ann. Soc. géol. Belg.*, 96 : 197-217.
- LEFEBVRE, J.J., 1976. Minéralisation cupro-cobaltifère et zincifère d'aspect épigénétique à Kabolela, Shaba, Zaïre. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 99 : 315-335.
- LEFEBVRE, J.J., 1985. Le Groupe de Mwashya. Mégacyclothème terminal du Roan (Shaba : Zaïre sud-oriental). Volcanisme et dynamique du bassin sédimentaire. *Mus. roy. Afr. centr. Tervuren* (Belg.), *Dépt. Géol. Min.*, Rapp. ann. 1983-1984 : 121-151.
- LEFEBVRE, J.J., 1986. Lithostratigraphy of copper occurrences in Southern Shaba (Zaïre), and correlations with the Zambian Copperbelt. In: Symposium on Sediment-Hosted Stratiform Copper Deposits: Program and Abstracts (Ottawa, 17-19 May 1986). *Can. Mineralogist*, 24 : 193-194.
- LEFEBVRE, J.J., 1987. Vertical fault-related hydrothermal alteration associated with the Cu-Co mineralization in the sediment-hosted stratiform deposits of Southeast Shaba, Zaïre. In: Special Session on Metal Concentration Mechanism in Sedimentary Basins (Saskatoon, May 25-27, 1987). *G.A.C.-M.A.C.*, Joint Annual Meeting.
- LEFEBVRE, J.J., 1988. Depositional environment of copper-cobalt mineralization in the Katangan sediments of South-East Shaba, Zaïre, sous presse.
- LEFEBVRE, J.J. & TSHAUKA, T., 1986. Altérations associées à la minéralisation uranifère de Musoshi (Shaba-Zaïre). *Mus. roy. Afr. centr. Tervuren* (Belg.), Ann. Sér. in-8°, Sci. Géol., 92 : 63 p.
- LOMBARD, J. & NICOLINI, P., 1963. Les types morphologiques de gîtes métallifères dans les séries sédimentaires et leurs caractères spécifiques. In: J. Lombard & P. Nicolini (eds.), Gisements Stratiformes de cuivre en Afrique. 2e partie : Tectonique (Lusaka, 1962) : 233-246.
- MENDELSON, F., 1961. The geology of the Northern Rhodesian copperbelt. London, McDonald : 523 p.
- NEGENDANK, J.F.W., 1971. Der Palao-Rhyolith auf dem Leisberg bei Schlossbockelheim und seine geologische Umgebung. Abhandlungen hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, 56 : 151-162.
- OOSTERBOSCH, R., 1962. Les minéralisations dans le Système de Roan au Katanga. In: J. Lombard & P. Nicolini (eds.), Gisements Stratiformes de cuivre en Afrique. 1ère partie : lithologie, sédimentologie (Copenhague, 1960) : 71-136.
- PELISSONIER, H., 1978. Relations hydrodynamiques entre socles et bassins sédimentaires. Implications métallogéniques. *C.R. Acad. Sci. Paris* (D. 287) : 443-445.
- RAYBOULD, J.G., 1978. Tectonic controls on Proterozoic stratiform copper mineralization. *Trans. Inst. Min. Metall.*, London, 87 : 879-86.
- RENFRO, A.R., 1974. Genesis of evaporite-associated stratiform metalliferous deposits ; a sabhka process. *Econ. Geol.*, 69 : 33-45; Discussion, 70 : 407-409.
- RENTZSCH, J., 1974. The Kupferschiefer in comparison with the deposits of the Zambian copperbelt. In: P. Bartholomé (ed.), Centenaire de la Société géologique de Belgique. Gisements Stratiformes et Provinces cuprifères, *Soc. géol. Belgique*, Liège: 403-426.
- RICHTER, G., 1941. Geologische Gesetzmässigkeiten in der Metallführung des Kupferschiefers. *Arkiv für Lagerstättenforschung*, 73 : 61 p.
- ROBERTS, D.E. & HUDSON, G.R.T., 1983. The Olympic Dam copper-uranium-gold deposit, Roxby Downs, South Australia. *Econ. Geol.*, 78 : 799-822.
- RUTTEN, M.G., 1967. Sedimentary ores of the Early and Middle Precambrian and the history of atmospheric oxygen. In: H.J. Clifford (ed.), Sedimentary ores. Ancient & Modern., Proc. 15th intr-university geological Congress (Un. of Leicester, Dec. 1967) : 187-195.
- RYKA, W., 1981. Some problems of the Autunian volcanism in Poland. In: Proceedings, International Symposium on Central European Permian. *Geological Institute*, Warsaw : 165-179.
- SALES, R.H., 1962. Hydrothermal versus syngenetic theories of ore deposition. *Econ. Geol.*, 57 : 721-734; disc., 1963, 58 : 145, 444-456, 609-618; 1964, 59 : 162-167.
- SAWKINS, F.J., 1976. Metal deposits related to intracontinental hotspot and rifting environments. *J. Geol.*, 84 : 653-671.
- SCHIDLOWSKI, M., 1984. Early atmospheric oxygen levels : constraints from Archean photo-autotrophy, *Journ. Geol. Soc.*, 141 : 243-250.
- SCHMALZ, R.F., 1969. Deep-water evaporite deposition : a genetic model. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 53 : 798-823.
- SCHNEIDERHOHN, H., 1932. The geology of the Copperbelt, Northern Rhodesia. *Min. Mag.*, London, 46 : 241-245.
- VAES, J.F., 1962. A study of the metamorphism of the Roan sediments at the Musoshi copper deposit and its consequences. *Mus. roy. Afr. centr. Tervuren* (Belg.), Ann., Sér. in-8°, Sci. géol., (43) : 130 p.
- WEDEPOHL, K.H., 1971. Kupferschiefer as a prototype of syngenetic sedimentary ore deposits. *Soc. Min. Geol. Japan*, 3 : 268-273.
- WEDEPOHL, K.H., DELAVALUX, M.H. & DOE, B.R., 1978. The potential source of lead in the Permian Kupferschiefer Bed of Europe and some selected Paleozoic mineral deposits in the Federal Republic of Germany. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 65 : 273-281.
- WHITE, L., 1986. Polish Copper. Europe's biggest mines thrive on stratiform ores and integrated smelting and refining. *Eng. Min. Journ.*, Feb. 1986 : 26-30.
- ZIEGLER, P.A., 1982. Geological atlas of Western and Central Europe. *Shell Intern. Maatsch.*, B.V. : 130 pp.