

SIGNIFICATION TECTONIQUE DU COUPLE D'ANOMALIES GRAVIMETRIQUES NEGATIVE-POSITIVE DE LA CHAÎNE KATANGUIENNE (NEOPROTEROZOÏQUE) DU SUD-EST DU CONGO ET DU NORD DE LA ZAMBIE (AFRIQUE CENTRALE) : INTERPRETATION PRELIMINAIRE

Mwene N. SEBAGENZI^{1, 2}

¹ *Laboratoire de Géophysique-Faculté des Sciences, Université de LUBUMBASHI, BP 1825 Lubumbashi, Congo.*

² *Bureau d'Etudes Géologiques Gecamines, Likasi, B.P. 450, Lubumbashi, Congo.*

RESUME. La carte de l'anomalie de Bouguer élaborée à partir de mesures du champ de gravité récemment réalisées dans la province du Katanga au SE du Congo complétant les données préexistantes de la Zambie, fait apparaître sur la chaîne katanguienne du NéoProtérozoïque un couple d'anomalies négative-positive comparable à ceux qu'on observe au-dessus de chaînes anciennes et modernes ailleurs dans le monde. Ces anomalies sont disposées suivant deux bandes parallèles qui épousent l'allure en arc caractéristique de la chaîne. La bande négative qui se superpose au complexe des dômes correspondant à la Zone Axiale, dénote l'existence d'une racine crustale associée à l'orogénèse katanguienne d'âge panafricain. La bande positive située sur la Zone Interne de la chaîne peut s'expliquer, soit par la géométrie d'un Moho redressé à 25 km, soit par un matériau intracrustal lourd culminant à 3 km de profondeur. Par analogie avec d'autres chaînes connues à travers le monde, l'étude de ce couple d'anomalies constitue au Congo et en Zambie une nouvelle méthode permettant de déterminer le sens de plongement d'une paléozone de subduction. Cette subduction qui était orientée vers le Sud, a été suivie d'une collision continent-continent vers 600 Ma avec épaissement crustal. L'expulsion vers le Nord du matériel katanguien fragilisé, s'est opérée à la suite de poussées venues du sud où elles étaient exercées par un bloc cratonique rigide (craton de Zimbabwe) qui a imposé sa géométrie d'origine en arc à l'édifice katanguien. Ces résultats confortent le modèle tectonique faisant jouer un rôle de chevauchements majeurs aux accidents structuraux auxquels coïncident les accidents gravimétriques limitant les bandes d'anomalies.

MOTS-CLES: anomalie de Bouguer, chaîne katanguienne, Protérozoïque, Congo, Zambie, subduction, collision.

ABSTRACT. Tectonic significance of the paired negative-positive gravity anomalies of the Katangan belt (NeoProterozoic) of southeastern Congo and northern Zambia (Central Africa): Preliminary interpretation.

The Bouguer map obtained using gravity measurements recently acquired from Katanga province of southeastern Congo completing results from previous surveys in Zambia, reveals that the NeoProterozoic Katangan belt is characterized by two bands of negative-positive anomalies similar to that of a number of ancient and fold modern belts. The negative band which is observed over the "dômes complex" area is associated with the Katangan Axial Zone, where it may be interpreted in terms of crustal root zone related to crustal thickening inherited from the Katangan orogeny of Panafrican age. Two models are proposed to account for the positive anomaly band occurring over the Katangan Inner Zone. In the first model, we propose an upward shift of the Moho at 25 km depth and in the second would a shallow crustal heavy body at 3 km depth is assumed. Based on similarities with other belts around the world, the study of this couple of anomalies may constitute a new method to determine in Congo and Zambia the paleosubduction direction, assuming for the Katangan belt an origin by continent collision around 600 M.y. that followed southward convergent plate motion. This continental collision implies northward expulsion of the Katangan belt which was guided by a reentrant zone of the Zimbabwe craton. These results agree with the tectonic model of major thrusting for the faults which coincide with steep gradients separating the negative and positive anomalies bands.

KEYWORDS: Bouguer anomaly, Katangan belt, Proterozoic, Congo, Zambia, Subduction, Collision.

1. INTRODUCTION

La chaîne katanguienne du SE du Congo et du nord de la Zambie constitue un exemple d'orogène dont l'origine commence à être moins controversée grâce au développement d'études géologiques réalisées durant les deux dernières décennies (voir IGCP Project 302, 1995). Dans le cadre des idées mobilistes actuellement admises, l'orogène semble être le résultat du contact entre deux plaques plus ou moins rigides, une plaque nord et une plaque sud. Une des questions fondamentales à résoudre est celle de la définition des modèles structuraux détaillés avec modélisation à la fois de la croûte supérieure et de l'interface croûte-manteau. Le point de désaccord fondamental des modèles géodynamiques qui ont été proposés antérieurement provient de l'importance plus ou moins grande accordée par les auteurs à des observations locales.

Parmi ces modèles, on peut citer celui d'Unrug (1983) dans lequel l'édifice katanguien a été assimilé à une microplaque initialement coïncée entre les zones cratoniques archéennes du Congo et du Kalahari. Cette microplaque aurait subi une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre pour acquérir la forme en arc qui la caractérise. Le point faible de ce modèle réside dans le fait qu'aucun argument d'ordre paléomagnétique n'a été pris en compte pour l'appuyer. Par ailleurs, en tenant compte de l'échelle de cette région qui est relativement réduite par rapport à celle des vastes domaines où de telles rotations s'opèrent, il est pratiquement difficile de l'envisager.

Quant au modèle de Kampunzu *et al.* (1991), il se réfère aux caractères géochimiques du magmatisme alcalin observé dans la localité de Kibambale pour proposer un modèle géodynamique de subduction qui pourrait rendre compte de la formation des structures katangiennes. Malheureusement ce modèle se limite à l'étude pétrologique des roches magmatiques sans exploiter les éléments structuraux disponibles pour préciser la direction de l'ancienne zone de Benioff.

Actuellement, les chercheurs travaillant sur l'orogène considèrent que la mise en évidence dans la région du complexe des dômes d'un métamorphisme de très haute pression à $P \geq 1400$ MPa et $T = 600 - 650$ °C, dont l'âge protérozoïque supérieur (700 Ma) a été prouvé (Cosi *et al.*, 1992), apporte un argument pétrologique d'importance majeure sur l'appartenance antérieure à une zone de subduction des roches exhumées du complexe des dômes.

Dans ce contexte, l'intérêt de développer des études

géophysiques dans la chaîne était évident, et spécialement la gravimétrie. Cette méthode relativement peu onéreuse, qui devrait à l'avenir être complétée par des profils sismiques réfraction et réflexion, permet de rendre compte en partie de la structuration de la chaîne qui se traduit gravimétriquement par un couple d'anomalies négative-positive comparable à ceux qu'on observe ailleurs sur d'autres orogènes (Sebagenzi, 1993). Suivant le développement de la tectonique des plaques, un tel couple d'anomalies est classiquement interprété en termes de convergence des plaques, de suture et de collision (ex. Brooks, 1970; Gibb et Thomas, 1976; Bayer et Lesquer, 1978; Dagnières *et al.*, 1982; Thomas, 1983).

Dans cette note sont présentés les zones structurales les plus marquantes de la chaîne katanguienne et les résultats fondamentaux apportés par la gravimétrie, avec un accent particulier sur les éléments de solution qu'elle apporte aux problèmes géodynamiques.

2. CONTEXTE STRUCTURAL

Le SE du Congo et la Zambie font partie de la zone des hauts plateaux (altitude moyenne : plus de 1000 m) d'axe NE-SO, comprise entre les fossés récents de l'Upemba à l'O du Congo, de Luangwa, Lukusashi et Luano à l'E en Zambie (Fig. 1 et 2). Du point de vue topographique, en partant du 10° parallèle dans la direction nord-sud, le profil de pente relativement douce est perturbé lorsqu'on recoupe l'Arc cuprifère ou chaîne katanguienne. Cette perturbation devient d'autant plus prononcée que le complexe des dômes situé au sud de la frontière entre le Congo et la Zambie (De Swardt *et al.*, 1965), correspond à une zone de haut relief atteignant 1400 à 1450 m d'altitude. Au sud de ce complexe, les altitudes décroissant progressivement, se stabilisent autour de l'altitude moyenne régionale.

La chaîne katanguienne qui s'intègre dans l'environnement topographique ainsi présenté, correspond à un orogène du Néoprotérozoïque dessinant une virgation convexe vers le Nord dans la partie occidentale de l'Arc et vers le NE dans sa partie orientale. Elle est limitée à l'O et au NO par des formations tardi-ubendiennes regroupées sous la dénomination du Lukoshien (1980-1850 Ma) et par la chaîne kibarienne (1200-950 Ma) (Fig.1). Au Nord et au nord-est, elle est bordée par son avant-pays peu ou pas plissé structuralement allongé NE-SO. Ses limites est et sud coïncident respectivement avec la chaîne des Irumides d'âge kibarien et la zone de cisaillement majeur de Mwembeshi (Unrug, 1983) interprétée par Daly (1988) comme faille de transfert.

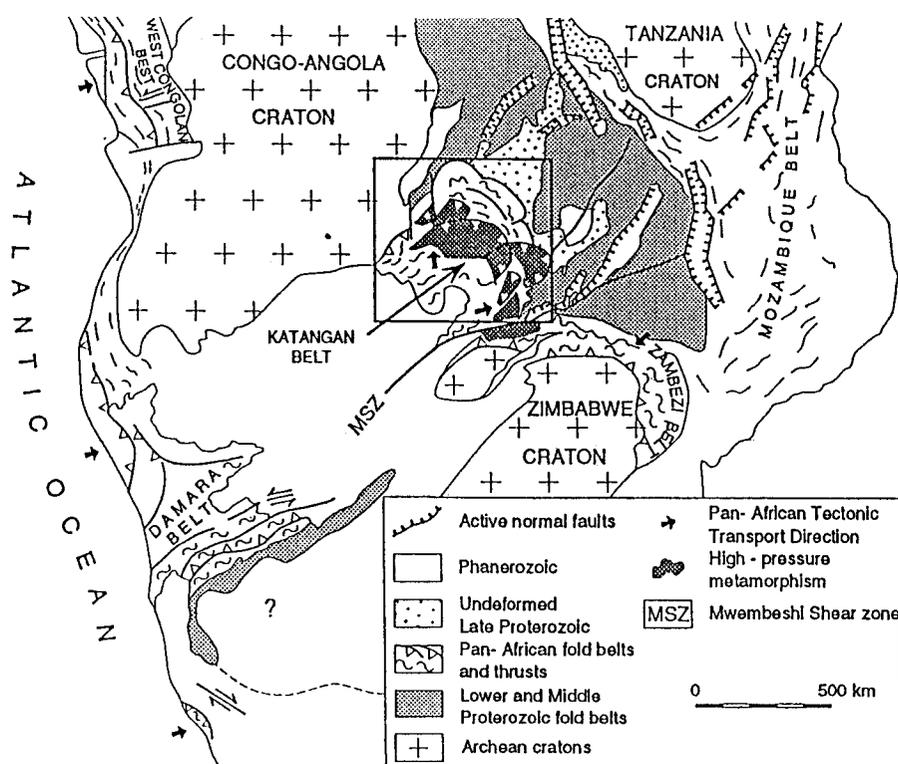


Figure 1. Position structurale de la chaîne katanguienne par rapport aux zones cratoniques archéennes du Congo, du Zimbabwe et de Tanzanie. La légende des figurés est montrée par le cadre situé dans le coin inférieur droit de la figure (établie à partir de Porada, 1989, légèrement modifiée).

Cette chaîne comprend des formations qui se sont déposées dans un bassin subsident dont l'évolution s'est accompagnée d'injections des roches basiques (Auger, 1975; Porada, 1989; Lefèbre, 1975, Cosi *et al.*, 1992). La séquence est constituée principalement par un ensemble de couches sédimentaires et de métasédiments, reposant en discordance sur un socle plus ancien antérieur à 1000 Ma. Elle est classiquement subdivisée en trois supergroupes (François, 1973, 1974). A la base, le supergroupe du Roan et au sommet les supergroupes de Kundelungu inférieur et supérieur. Le supergroupe du Roan comprend des dépôts détritiques assez épais commençant par un conglomérat, couverts par une association spatiale des formations de plateforme (dolomies, calcaires) avec des évaporites, ces dernières témoignant de conditions d'un environnement lagunaire ou de mer peu ouverte typique d'une ouverture océanique. Les supergroupes de Kundelungu inférieur et supérieur présentent un caractère plus terrigène et comportent chacun à leur base un conglomérat d'origine probablement glacio-marine (Binda et Van Enden, 1972; Dumont et Cahen, 1978). Mais il semble que le caractère typiquement glaciaire de ce conglomérat n'a été observé

qu'en un nombre très limité d'affleurements et que son origine marine est plus vraisemblable (Hanon et Dumont, 1994).

L'évènement majeur panafricain (600 Ma) a fortement déformé les couches katanguiennes dans le Copperbelt zambien et dans l'Arc cuprifère de la province congolaise du Katanga et a simultanément remobilisé des couches plus anciennes. En se référant aux travaux de De Swardt et Drysdall (1964), De Swardt *et al.* (1965), Porada (1989, 1994) et Unrug (1983, 1992), on peut distinguer dans la chaîne les trois grandes zones structurales suivantes : la zone externe ou zone nord, la zone axiale ou zone centrale et la zone interne ou zone sud (Fig. 2).

2.1. LA ZONE EXTERNE

La zone externe est située immédiatement au Sud du chevauchement frontal, une des structures majeures de l'édifice katangien. Ce chevauchement qui se présente comme un faisceau des failles parfois subverticales est bien visible à l'affleurement où, par endroits, il coïncide

avec d'importantes dénivellations de la topographie (Sebagenzi, 1993). Il correspond au passage brutal du style tabulaire caractéristique de l'avant-pays de la chaîne, aux plis serrés qui affectent les mêmes couches dans la zone externe (Trefois & Hanon, 1994). Cette zone structurale est caractérisée par des plis de direction ouest-est à plans axiaux courbes et généralement déversés vers le NE.

Dans la région ouest de l'Arc cuprifère, les travaux de terrain ont permis de mettre en évidence d'importants raccourcissements crustaux et une tectonique en nappes particulièrement développée dans le secteur minier de Kolwezi, où d'après François (1973, 1994, 1995) l'amplitude de la nappe peut atteindre et dépasser 60 km. Contrairement aux idées de certains auteurs qui considèrent que les nappes en question sont des olistostromes (Bellière, communication orale, 1997), cette tectonique qui constitue un phénomène structural évident n'est plus à mettre en doute (voir par ex.

Coward et Daly, 1984; Unrug, 1992; Kampunzu *et al.*, 1994; Porada, 1994). Le charriage des complexes de nappe dans toute la chaîne a été favorisé par la déshydratation et la fluidisation de produits évaporitiques ayant joué un rôle de lubrifiant (Cailteux et Kampunzu, 1995). Par ailleurs, la tectonique de chevauchements a été facilitée par des zones de cisaillement parfois mylonitisées, dont certaines ont provoqué d'importants décollements de la couverture (Coward et Daly, 1984).

2.2. La zone axiale

La zone externe et la zone axiale sont séparées par un deuxième chevauchement qui pourrait correspondre au réseau des failles de Kansuki et de Monwezi cartographiées dans le secteur de Kolwezi par François (1973). Ce chevauchement qui est nettement visible sur les photos de satellites Landsat (Unrug, 1992) se poursuit au SE jusqu'au sud de Lubumbashi, mais son tracé se perd vers Mufulira et Ndola en Zambie, sans doute en raison de la complexité structurale liée au dôme de Kafue.

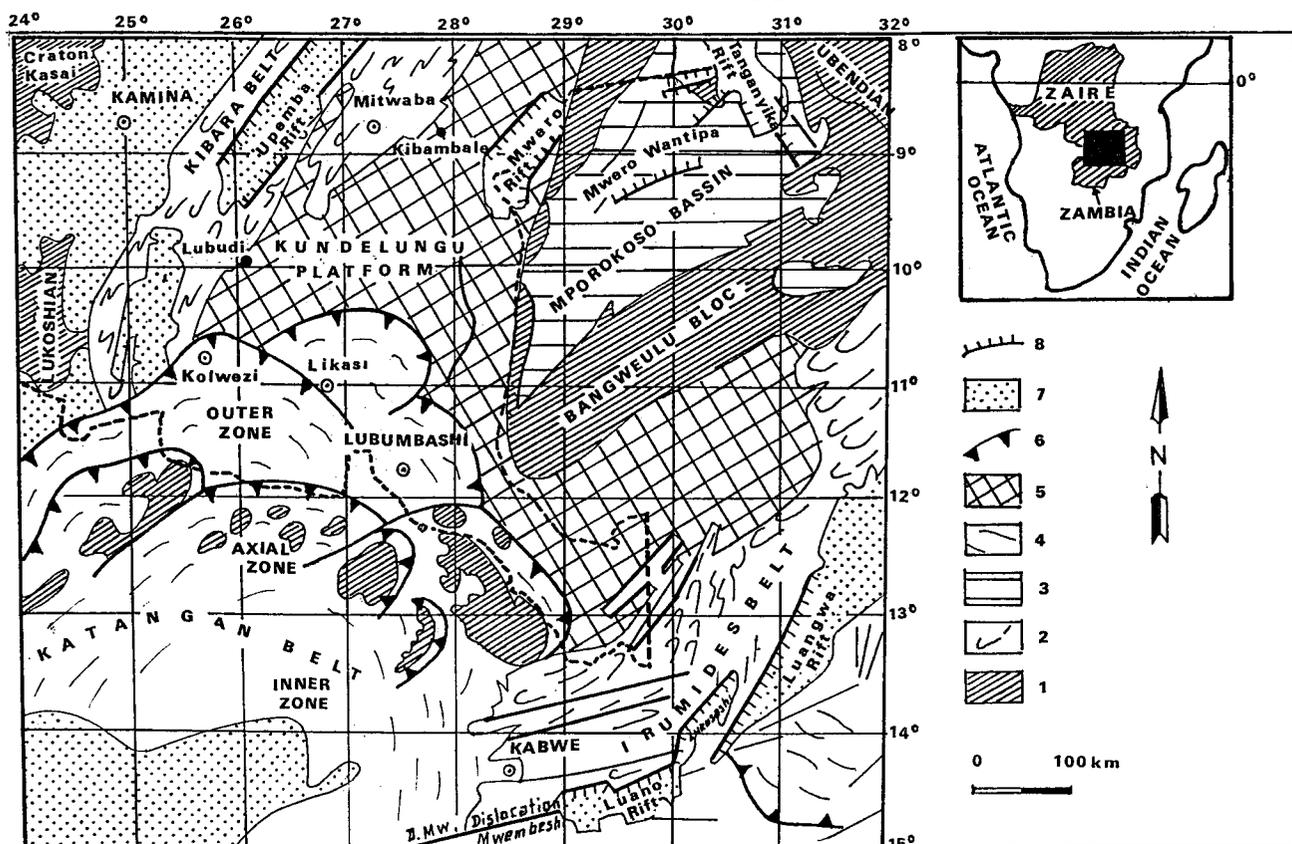


Figure 2. Schéma géologique du sud-est du Congo et du nord de la Zambie montrant les relations entre la chaîne katangienne, le craton archéen du Kasai, les chaînes protérozoïques ubendienne, kibarienne et des Irumides (établi à partir de la carte d'Unrug, 1992, légèrement modifiée). Les principaux rifts mésozoïques à récents sont présentés. 1: Archéen et Protérozoïque inférieur; 2: Chaîne kibarienne et Chaîne des Irumides et 3: Plateforme Muva (Protérozoïque moyen); 4: Chaîne et 5: Plateforme katangienne (Protérozoïque supérieur); 6: Chevauchements katangiens; 7: Phanérozoïque; 8: Failles normales actives.

La zone axiale située au sud de ce chevauchement majeur correspond à la partie de l'orogène caractérisée par un haut relief (1400-1450 m) d'alignement des dômes dont Luina situé au Congo, Kabombo, Mwombeshi et Solwezi en Zambie, sont les mieux connus actuellement. Ils font partie d'un vaste complexe constitué de métasédiments, granites et gneiss, migmatites, dont l'âge Rb-Sr de 1882 Ma sur Zircon (Ngoyi *et al.*, 1991) implique que le socle tardi-ubendien a été réactivé. L'analyse pétrostructurale réalisée dans cette pile tectonique par Cosi *et al.* (1992) permet de confirmer que ces dômes affleurants représentent des lames gneissiques tectoniquement intercalées au sein de métasédiments. Ces auteurs ont mis en évidence un premier stade de très haute pression à $P \geq 1400$ MPa et $T = 600-650$ °C caractérisé par la présence de talc + disthène dans les métasédiments, omphacite + grenat dans les éclogites comparables aux assemblages éclogitiques décrits par Vrana (1975) dans le secteur de Lusaka au sud de la zone cisailante de Mwombeshi. L'âge de ce métamorphisme Rb-Sr; K-Ar; U-Pb de 700 Ma est franchement protérozoïque supérieur. Des conditions du faciès amphibolite ($P = 500$ MPa et $T = 500-600$ °C) associées à des circulations de fluides auxquelles sont liées les minéralisations d'uranium identifiées dans la zone des dômes (Cosi *et al.*, 1992), ont largement rétrotransformé ces associations minérales de très haute pression. Ce faciès à très haute pression implique que les roches katanguennes ont été enfouies dans une zone de subduction avant d'être exhumées, comme cela est classiquement admis pour ce type de métamorphisme. Le développement des conditions du faciès amphibolite clôturent donc l'histoire métamorphique de la chaîne pendant un dernier stade correspondant à la décompression générale de l'édifice katanguien.

2.3. LA ZONE INTERNE

La zone interne comprend en affleurement des roches carbonatées du Roan inférieur très déformées, mais faiblement métamorphisées dans les conditions du schiste vert à amphibolite (Ramsay et Ridway, 1977), avec des granites et des gneiss anatectiques syn- à post-orogéniques. Le massif granitique du Hook en Zambie et les roches acides de Mtuga ont fait l'objet des datations radiométriques Rb-Sr et K-Ar panafricains (600 Ma) et de détermination des rapports isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ [0.730 - 0.750], impliquant pour ces magmas granitiques orogéniques une origine anatectique correspondant à la fusion partielle des granitoïdes ubendiens ou tardi-ubendiens (N'gambi *et al.*, 1986). Le magmatisme post-orogénique est représenté par des complexes intrusifs de composition acide proche de

granites alcalins et de syénites népheliniques dont le mieux connu est la syénite de Mukumbi (458 - 427 Ma, U-Pb; 413 ± 5 Ma K-Ar; Cosi *et al.*, 1992).

3. DONNEES GRAVIMÉTRIQUES

D'une manière générale, les données géophysiques au SE du Congo étaient rares avant 1988. Quelques anciens travaux sur la sismicité et le champ de gravité précisant le cadre sismotectonique régional étaient disponibles à cette époque (Bram, 1972; Fairhead et Anderson, 1973; Fairhead et Reeves, 1977). C'est seulement durant les dix dernières années que les études géophysiques ont été particulièrement développées pour servir d'outil d'investigation de la structure profonde. Ces études sont précisément axées sur la géothermie et la gravimétrie.

En effet, une étude géothermique et gravimétrique a été entreprise entre 1988 et 1990 au SE du Congo et réalisée par le Laboratoire de Géophysique de l'Université de Lubumbashi (Congo), en collaboration avec le Centre Géologique et Géophysique de l'Université Montpellier II (France). Elle avait dès l'origine, deux objectifs: d'une part, apporter des contraintes gravimétriques à la compréhension de la formation des structures de la chaîne katanguenne; d'autre part, proposer de nouveaux éléments géophysiques appuyant le modèle structural de rifting récent associé à une remontée de l'asthénosphère préconisé par d'intéressants travaux, comme ceux de Chapman et Pollack (1977), Fairhead et Reeves (1977), Grimison et Chen (1988).

Alors qu'en Zambie les mesures du flux de chaleur (Chapman et Pollack, 1977) et la couverture gravimétrique (Mazac, 1974; Cowan et Pollack, 1977) existaient depuis bientôt deux décennies, au SE du Congo il n'y avait aucune détermination du flux de chaleur. On retrouvait jusqu'en 1990 seulement 41 stations gravimétriques du réseau Martin basé sur d'anciens travaux (Duclaux *et al.*, 1954) des missions belges de Recherches Minières en Afrique (REMINA).

Les travaux géothermiques réalisés par Sebagenzi *et al.* (1992, 1993) ont révélé l'existence des valeurs du flux de chaleur très élevées (valeur moyenne : 65 mWm^{-2}) comparativement à l'âge précambrien de la lithosphère. Après la prise en compte de la contribution crustale au flux de surface, un manteau supérieur anormalement chaud (1000 - 1200 °C) a été mis en évidence entre 80 à 100 km de profondeur.

Les données sismiques faisant défaut, les premières

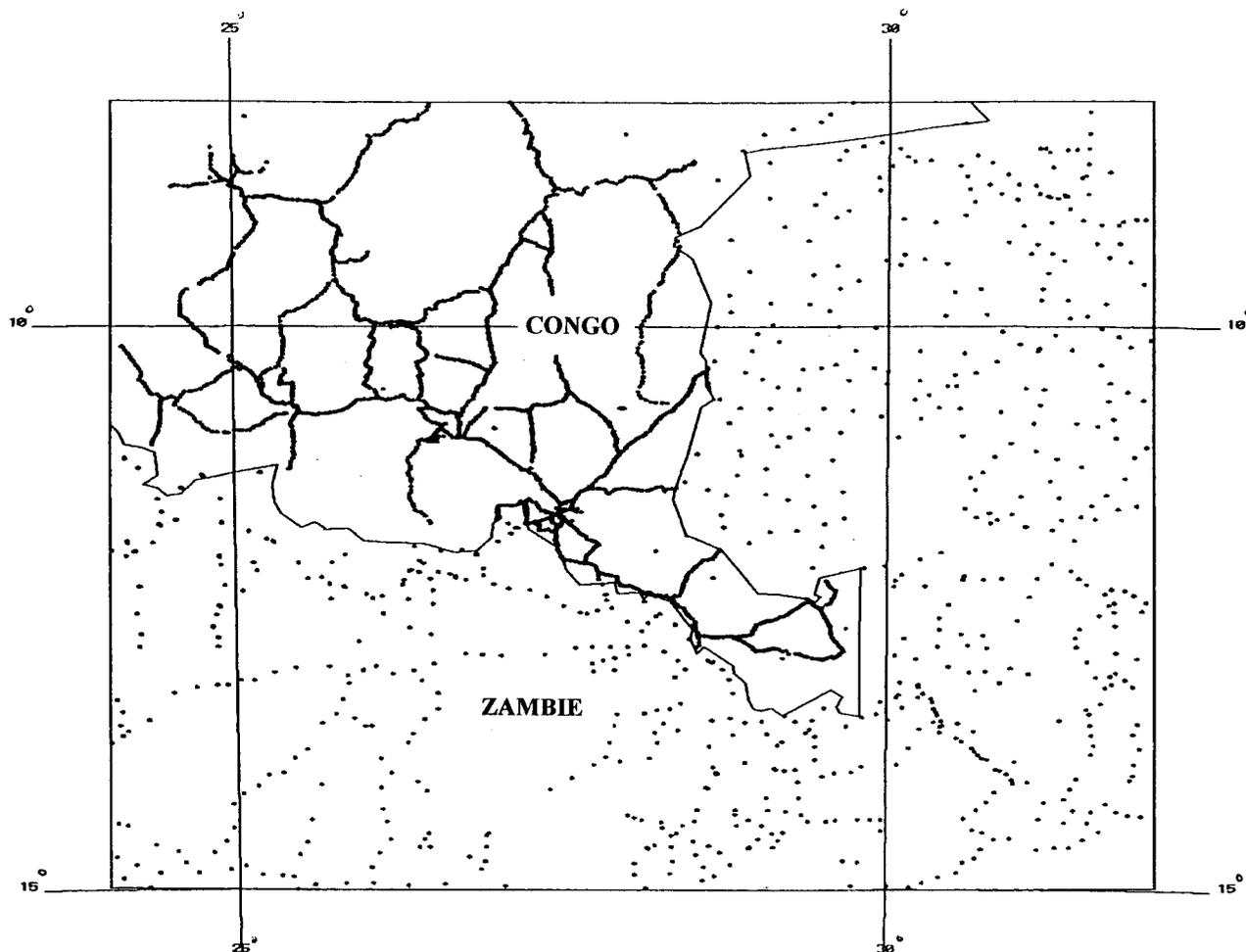


Figure 3. Plan de positionnement des stations gravimétriques utilisées pour élaborer la carte de l'anomalie de Bouguer.

tentatives d'estimation de l'épaisseur et de détermination de la composition de la croûte ont été réalisées en Zambie en se basant sur des considérations d'ordre pétrologique (Andrews-Speed, 1989) et géothermique (Chapman et Pollack, 1977). S'inspirant de travaux zambiens, en tenant compte du fait que le SE du Congo appartient à la même province structurale que la Zambie, Sebagenzi (1993) et Sebagenzi *et al.* (1993) considèrent au sein de la croûte katangienne deux niveaux : (1) une croûte supérieure d'environ 13 km d'épaisseur, constituée de granitoïdes et de roches métamorphisées dans les conditions du faciès amphibolite; (2) de 13 à 30 km de profondeur une croûte inférieure de composition granulitique. Et au-delà de 30 km, s'étend un manteau supérieur.

En ce qui concerne les investigations gravimétriques, Sebagenzi (1997) vient de présenter et de discuter de manière approfondie l'anomalie régionale de grande longueur d'onde (amplitude minimum: -140 mgal), qui correspond en fait au prolongement SO de l'anomalie

négative associée au Rift est-africain (Girdler, 1975). Appuyant son étude sur la corrélation flux anomal-anomalie régionale négative en accord avec la présence des fossés récents d'effondrement, d'une sismicité appréciable et des mécanismes au foyer toujours de type faille normale, il interprète l'anomalie négative par un corps chaud et léger correspondant à une remontée de l'asthénosphère à 123 km de profondeur.

L'intérêt d'une telle interprétation est qu'elle confirme aussi les prédictions de Girdler (1975). En fait, les premiers travaux qui les confirmèrent sont ceux de Fairhead et Reeves (1977). Par des calculs d'approche numérique basés sur la relation anomalie gravimétrique régionale et résidu de temps de trajet des téléseismes (+ 0.5 s), ces auteurs ont proposé pour cette région précambrienne marquée par des hauts plateaux, un modèle de lithosphère amincie épaisse de 125 km dans l'axe NE-SO de l'anomalie négative. La présente étude constitue pratiquement la deuxième contribution gravimétrique depuis 1990, à la connaissance de la structure profonde de la région. Elle est consacrée à

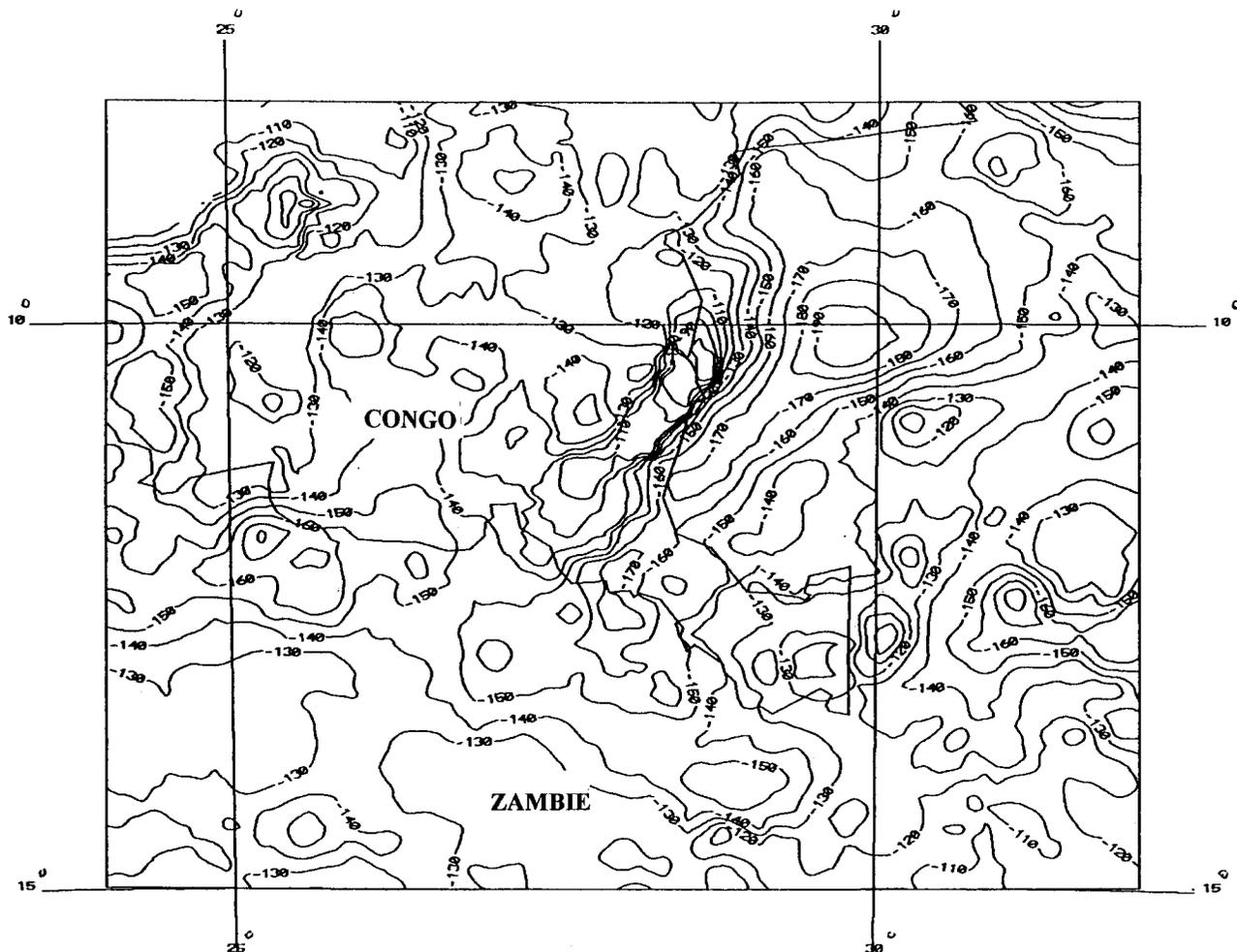


Figure 4. Carte de l'anomalie de Bouguer du SE du Congo et du nord de la Zambie ($d = 2.67 \text{ g/cm}^3$): l'équidistance des isovaleurs est de 10 mgal; pas de la grille: 10 km x 10 km. Système IGSN 71.

l'étude des anomalies de moyenne longueur d'onde imputables aux structures de la chaîne katangienne. On peut voir à partir de la figure 3 qui présente le plan de positionnement des points de mesures, qui comprend plus de 3000 points dont 1900 ont été récemment levés au SE du Congo par Sebagenzi (1993), que la répartition des stations gravimétriques au Sud du 10° parallèle semble maintenant satisfaisante pour rendre possible cette étude.

La carte homogène de l'anomalie de Bouguer pour l'ensemble de la région congolo-zambienne (densité de réduction : 2.67 g/cm^3), qui a été élaborée à partir d'une grille carrée 10 x 10 km est présentée sur la figure 4. Elle montre des valeurs d'anomalie qui varient entre -

190 et -75 mgal avec une moyenne fortement négative de -140 mgal. Dans le souci de ne pas surcharger cette

carte et de préserver la lisibilité des courbes, celles-ci ont été tracées tous les 10 mgals. Nous ne nous étendons pas ici sur la présentation méthodologique détaillée des données, car elle a été faite dans des travaux antérieurs (Sebagenzi, 1993, 1997). Cependant, il est important de savoir que, pour séparer les effets associés aux structures crustales de ceux dus aux structures profondes sous la croûte inférieure, une anomalie régionale a été définie en termes de grande longueur d'onde de l'anomalie de Bouguer, en ajustant un polynôme de degré 6 à l'anomalie de Bouguer (voir Sebagenzi, 1993 et 1997). La soustraction de cette anomalie (Fig. 5) qui est une partie de l'anomalie régionale publiée par Sebagenzi *et al.* (1993) et discutée en détail par Sebagenzi (1977), à l'anomalie de Bouguer (Fig.4) donne l'anomalie résiduelle (Fig. 6) associée aux structures de la chaîne katangienne traitées dans cette étude.

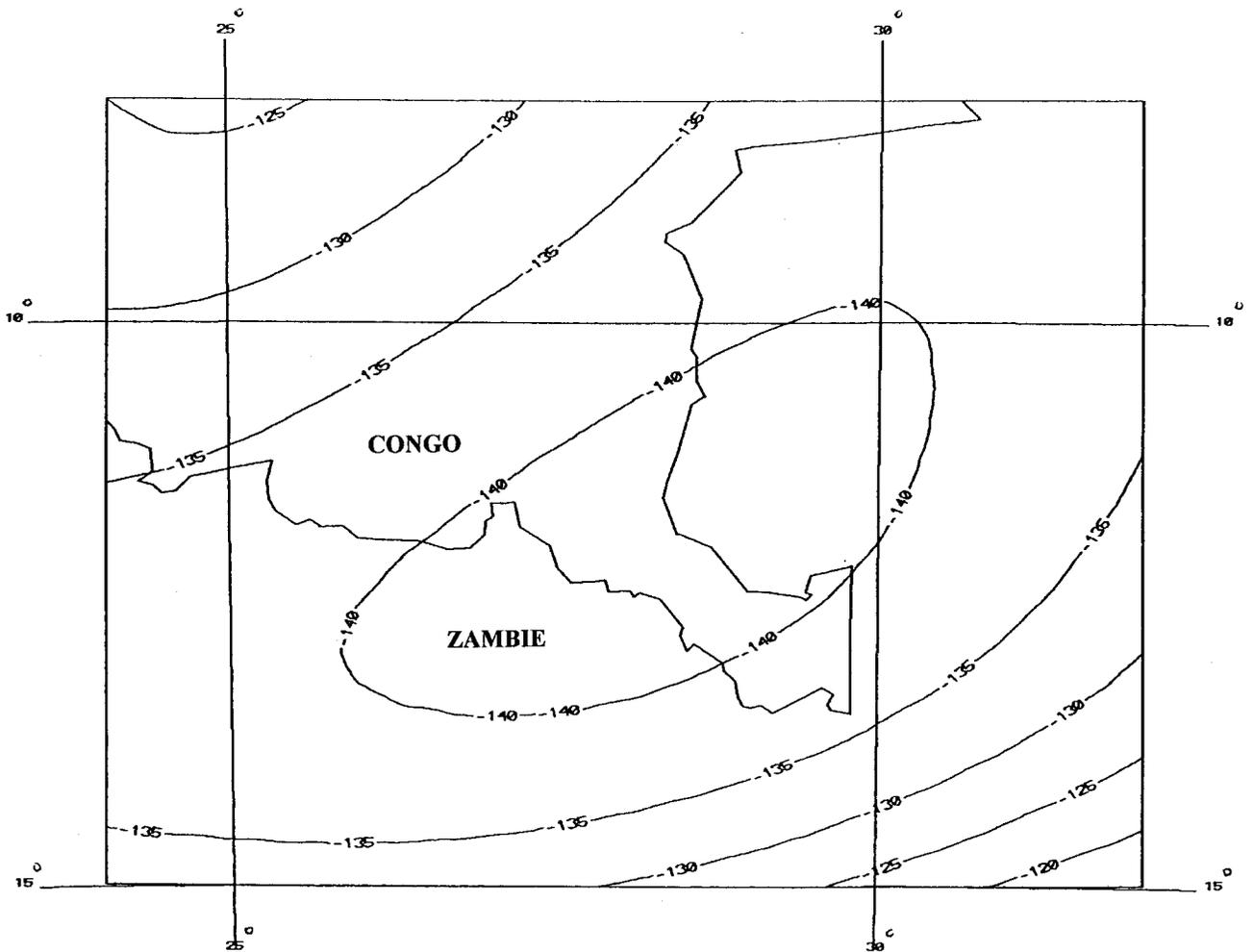


Figure 5. Carte de l'anomalie régionale du SE du Congo et du nord de la Zambie, de degré 6 en x et y. L'équidistance des isovaleurs est de 5 mgal.

4. ANOMALIE RESIDUELLE ET CHAÎNE KATANGUIENNE

La chaîne katanguienne est gravimétriquement marquée par un couple d'anomalies négative-positive disposées selon deux bandes parallèles qui épousent l'allure en arc caractéristique de la chaîne (Fig. 6). La bande négative dont la longueur d'onde varie entre 100 et 200 km et qui peut conférer à l'anomalie un caractère régional, se superpose à la zone axiale. Elle comprend des anomalies de courte longueur d'onde (75 km) dont le minimum coïncide avec l'emplacement structural des dômes (amplitude -45 mgal). La bande positive qui est aussi large que la bande négative (100-200 km) coïncide avec la zone interne de la chaîne où elle atteint plus de 20 mgal d'amplitude maximum. Des tels couples d'anomalies ont déjà été observés ailleurs sur des chaînes anciennes et modernes, par exemple sur la chaîne hercynienne des Appalaches en Amérique du Nord (Hutchinson *et al.*, 1983; Thomas, 1983) et sur les

Alpes et les Pyrénées d'Europe occidentale (ECORS-ECOP gravity group, 1989; Torné *et al.*, 1989). Selon les modèles proposés sur ces chaînes avec contraintes sismiques, l'anomalie négative dénote l'existence d'une racine associée à un épaissement crustal, alors que l'anomalie positive est interprétée, soit par un matériau intracrustal dense situé dans la croûte supérieure, soit par un coin du manteau dans la croûte inférieure (Thomas, 1983; Torné *et al.*, 1989). Dans certains cas, la source des anomalies peut être à la fois superficielle, intermédiaire et profond, mais sans données sismiques il est difficile de faire une discrimination (Hutchinson *et al.*, 1983). Toutefois dans le cadre moderne des idées mobilistes adoptées pour comprendre et préciser les grandes étapes de formation des orogènes, tenant compte d'une période de subduction suivie d'une collision continent-continent, la géométrie couple d'anomalies négative-positive constitue un indicateur d'importance majeure de détermination du sens de plongement de la subduction. En effet, le plongement de l'ancienne zone

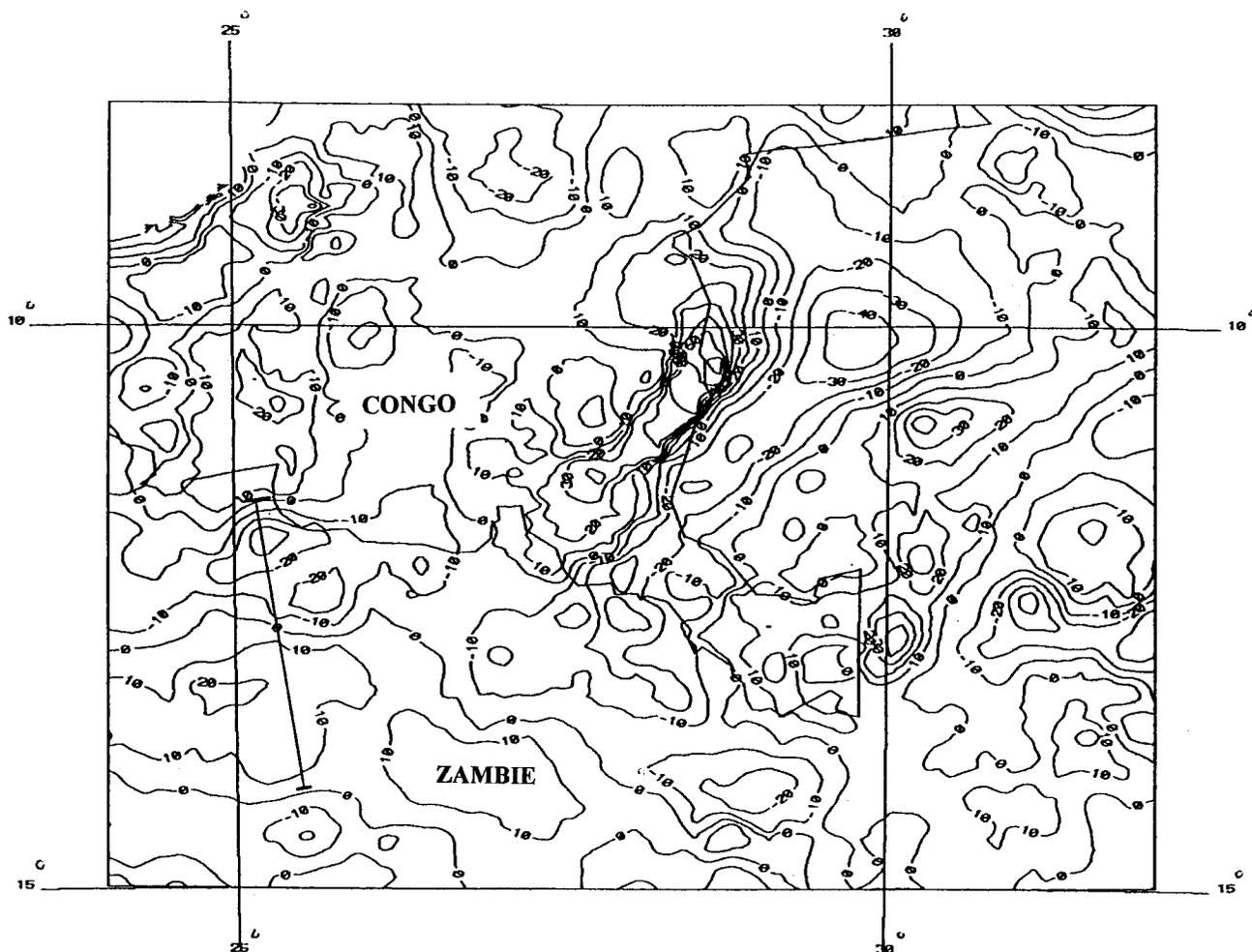


Figure 6. Carte de l'anomalie résiduelle du SE du Congo et du nord de la Zambie, obtenue à partir des cartes des figures 4 et 5 : l'équidistance des isovaleurs est de 10 mgal. Le profil NNW - SSE de la Fig. 7 est indiqué au sud-ouest de la carte en Zambie.

de subduction est généralement orienté de la bande négative vers la bande positive. Dans l'exemple du Canada assez bien étudié par Thomas (1983), la géométrie couple d'anomalies négative-positive est conforme à celle des deux provinces géologiques d'âges différents qui ont été mises en contact lors de l'orogénèse hercynienne. La bande négative est observée au-dessus de la plaque plongeante supportant la province la plus ancienne, alors que la bande positive se superpose à la plaque chevauchante transportant la province la plus jeune. Dans le cas de la chaîne katangienne, l'anomalie négative est supposée due à l'épaississement crustal associé à la plaque plongeante, alors que l'anomalie positive coïncide avec la plaque chevauchante. Ce modèle de subduction convient bien au cas de la chaîne katangienne dans la mesure où les arguments structuraux, pétrologiques auxquels s'ajoute la signature gravimétrique, convergent pour l'appuyer. Dès lors, il est tout à fait normal d'admettre avec Cosi

et al. (1992) par exemple, que les zones cratoniques archéennes situées dans le sud de la chaîne katangienne (craton de Zimbabwe), ont été rémobilisées lors de la tectogenèse katangienne. De la sorte, on peut raisonnablement penser que celles-ci seraient enfouies sous les sédiments plissés de la zone interne et que, par leur densité (2.79 g/cm^3) plus élevée que celle de la croûte supérieure (2.70 g/cm^3), elles soient susceptibles de créer une anomalie positive comparable à l'anomalie observée sur cette zone structurale.

5. MODELES PROPOSES ET DISCUSSIONS

Nous avons choisi de modéliser les structures de la chaîne katangienne le long d'un profil SSE - NNO qui s'étend sur 320 km (Fig. 7). Il traverse successivement la zone interne et la zone axiale dans l'extrémité occidentale de la chaîne, où les travaux des géologues évoluant dans le secteur minier en particulier sont assez

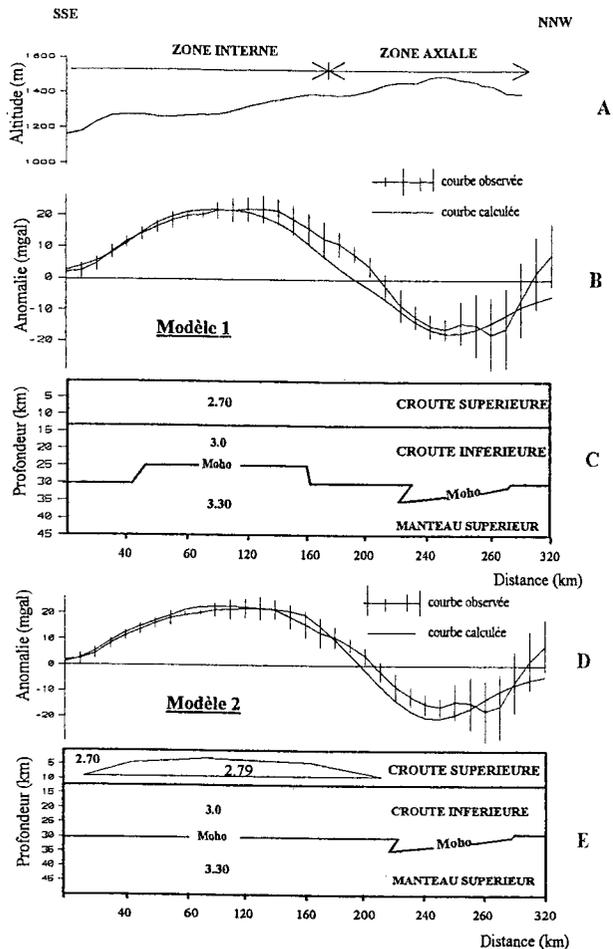


Figure 7. Modèles gravimétriques théoriques calculés sur le profil SSE - NNO.

A: Profil topographique correspondant; **B:** Courbes observées et calculées pour le modèle 1; **C:** Modèle 1 où l'anomalie positive est expliquée par un Moho redressé. **D:** Courbes observées et calculées pour le modèle 2; **E:** Modèle 2 où l'anomalie positive est associée à un bloc crustal dense (contraste de densité 0.09 g/cm^3). Les valeurs de densité sont données à titre indicatif; seuls les contrastes de densité sont significatifs.

détaillés. L'anomalie a été calculée en utilisant la méthode de calcul 2-D de Talwani *et al.* (1959). Etant donné que nous nous intéressons aux grandes longueurs d'ondes de l'anomalie résiduelle associée à la structure crustale, nous n'avons pas tenu compte de l'effet des variations de courte longueur. Les valeurs de densité assignées au modèle de référence sont de 2.70, 3.0 et 3.40 g/cm^3 , respectivement pour la croûte supérieure, la croûte inférieure et le manteau supérieur. Si on utilise dans la modélisation la densité du manteau supérieur 3.40 g/cm^3 , l'épaisseur de la racine katanguienne calculée est de 3 km. Mais la densité du manteau supérieur utilisée pour les modèles de la Fig. 7 est de

3.30 g/cm^3 , cela dans le but de montrer qu'un tel changement influe peu sur l'épaisseur de la racine crustale qui atteint dans ce cas 5 km, mais sans changement fondamental du modèle. En d'autres termes, quelle que soit la valeur de densité utilisée, il faut tenir compte d'une racine crustale inclinée vers le Sud pour expliquer l'anomalie négative. D'après cette interprétation, le Moho katanguien atteint 35 km de profondeur sous la région correspondant au complexe des dômes, en supposant une croûte d'épaisseur normale égale à 30 km et un contraste de densité croûte inférieure-manteau supérieur égal à -0.30 g/cm^3 . Il s'agit bien évidemment d'une chaîne du Protérozoïque supérieur et il est fort probable que la racine katanguienne a maintenant disparu. Cependant, on peut se laisser guider par la double coïncidence qui se dégage entre la zone des dômes et la bande d'anomalies négatives, d'une part, entre cette zone et un haut relief (1300 à 1450 m d'altitude) le long de tout l'Arc cuprifère, d'autre part, pour penser que la racine de la croûte katanguienne n'a pas totalement disparu et que par conséquent, cette croûte est encore anormalement épaisse. Cet épaissement crustal peut s'expliquer, soit par un modèle de compensation isostatique de la masse due au relief induit par les chevauchements successifs du matériau crustal lors de l'orogénèse katanguienne, soit par un modèle de flexion de la croûte continentale associée à cette orogénèse. Cette interprétation est en accord avec l'idée de Mazac (1974) sur l'épaissement crustal dans cette zone. Toutefois, l'épaisseur actuelle de la croûte katanguienne qui a dû être très importante ($\geq 60 \text{ km}$) compte tenu du degré élevé du métamorphisme ($P \geq 1400 \text{ MPa}$ et $T = 600-650 \text{ }^\circ\text{C}$), a subi un amincissement post collision auquel s'ajoute actuellement un amincissement récent. Ce dernier, qui est une conséquence de la remontée asthénosphérique sous la zone des plateaux du SE du Congo et de la Zambie, est associé en surface à l'ouverture suivant un axe NO-SE des fossés récents de l'Upemba et de Mwero au Congo, de la Luangwa, Lukusashi et Luano en Zambie (Sebagenzi *et al.*, 1993; Sebagenzi, 1997).

Dans l'état actuel de nos connaissances sur l'histoire géologique régionale, en l'absence de contraintes sismiques, on peut proposer deux modèles pour expliquer l'anomalie positive superposée à la zone interne. Le premier correspond à un corps profond en termes de Moho redressé sous cette zone (Modèle 1) et le deuxième, à un corps dense (densité: 2.79 g/cm^3) de nature différente situé dans la croûte supérieure (Modèle 2). Les deux modèles (Fig. 7) ont en commun le long du profil la présence d'une racine crustale dissymétrique inclinée vers le Sud et épaisse de 5 km sous la zone axiale. D'après le premier modèle (Fig.7 C), le Moho

culmine à 25 km sous la zone interne. Il implique un amincissement crustal associé à une phase de distension post-katanguienne dont l'âge serait, soit mésozoïque à la suite du morcellement du supercontinent de Gondwana, soit cénozoïque lorsque l'Arabie s'est détachée de l'Afrique avec le développement de l'actuel système du Rift est-africain, soit récent en rapport avec l'ouverture progressive des fossés de l'Upemba, de Mweru au Congo, de Luangwa-Lukusashi et de Luano en Zambie. Par analogie avec les modèles gravimétriques des Appalaches, des Alpes et des Pyrénées qui sont contraints par la sismique, il serait possible de supposer l'existence d'une croûte katanguienne plongeante vers le Sud, qui serait surmontée par un coin du manteau et par une croûte sud dont le Moho culmine à 25 km sous la zone interne.

Le deuxième modèle (Fig. 7 E) qui correspond à un corps intracrustal dense (contraste de densité 0.09 g/cm³) qui s'étend entre 3 et 10 km de profondeur, suggère que l'ensemble métasédiments du Roan inférieur-croûte dense et peut-être socle pré-katanguien associé, est en position structurale chevauchante vers le Sud sur le craton de Zimbabwe. Un tel modèle avait été proposé pour expliquer l'anomalie positive associée à la zone de suture de la chaîne panafricaine le long de la marge orientale du craton ouest africain (Bayer et Lesquer, 1978; Lesquer et Louis, 1982). Par ailleurs, il est comparable au modèle proposé par Coward et Fairhead (1980) pour interpréter l'anomalie positive qui marque la zone de contact entre la chaîne du Limpopo du Protérozoïque inférieur et le craton archéen du Zimbabwe. Dans le cas de l'orogène katanguien, cette interprétation implique que la zone de dislocation majeure de Mwembeshi pourrait correspondre à une zone de cisaillement ductile comparable à celles qui coïncident avec les limites des chaînes protérozoïques d'Afrique centrale et australe, affectant à la fois la croûte inférieure et la croûte supérieure (Coward et Fairhead, 1980). Implicitement, l'édifice katanguien aurait, à un moment de son histoire, subi des efforts de poussée d'un bloc cratonique rigide et expulsé vers le Nord. Ce bloc cratonique dont la géométrie d'origine était vraisemblablement celle d'un rentrant, a imposé aux sédiments katangiens plissés et fragilisés la forme en arc qui caractérise actuellement la chaîne. Cette expulsion a sans doute été facilitée par les zones de décollement, les surfaces de cisaillement et les autres structures tectoniques katangiennes qu'on pourrait assimiler à des "lignes de glissement" dans un modèle mécanique de poinçonnement d'un métal mou par un objet rigide (voir par exemple Molnar et Tapponier, 1975; Tapponier, 1977). Une telle situation a été observée dans les chaînes panafricaines édifiées en zones

intracratoniques, dans un contexte de subduction suivi d'une collision continent-continent, particulièrement en Afrique occidentale (Lesquer et Louis, 1982) et en Afrique orientale (Bonavia et Chorowicz, 1992).

On peut aussi envisager un troisième modèle, celui d'une zone de suture cryptique (densité: 3.15 g/cm³) pentée vers le Sud située derrière le complexe de dômes pour expliquer l'anomalie positive. Mais la faiblesse d'un tel modèle réside en ce que, aucune ophiolite témoin irrécusable du paléo-océan katanguien n'a été observée jusqu'à ce jour dans la chaîne katanguienne. Les seuls témoins possibles sont les lentilles de métalherzolites associées aux éclogites à talc-disthène décrites par Cosi *et al.* (1992) dans le complexe de dômes et par Vrana (1975) au sud de la zone de cisaillement de Mwembeshi dans la région de Lusaka. Le fait d'observation important à retenir ici est que ces roches sont partout associées aux mêmes métasédiments katangiens carbonatés et évaporitiques. Toutefois, même ailleurs dans d'autres orogènes où la suture est jalonnée de roches basiques et ultrabasiques comme par exemple en Afrique occidentale (Bayer et Lesquer, 1978; Lesquer et Moussine-Pouchkine, 1980), on n'observe pas toujours des véritables reliques d'une croûte océanique typique associés aux métamorphites de haute pression. En Chine centrale par exemple (Wang *et al.*, 1989; Wang et Liou, 1991) comme dans le segment de la chaîne panafricaine au Mali (Caby, 1993), seules les roches de très haute pression à coesite sont réputées être d'indiscutables indicateurs pétrologiques d'une zone de subduction.

En définitive, cette diversité de modèles illustre le caractère d'indétermination inhérente à la méthode gravimétrique. Tant qu'on aura pas des données sismiques pour contraindre la modélisation gravimétrique, il sera difficile de présenter une image convaincante de la croûte katanguienne. Mais qualitativement, on peut désormais considérer le couple d'anomalie négative-positive caractéristique de la chaîne comme le meilleur marqueur gravimétrique confortant le contexte de subduction suivi d'une collision continent-continent et sa géométrie comme élément de détermination du sens de plongement de l'ancien plan de Benioff. Les nappes spectaculaires de Kolwezi et celles qui recouvrent l'avant-pays de la chaîne résulteraient de la collision entre la marge passive du craton de Zimbabwe et la marge active d'un continent nord.

6. CONCLUSIONS

La chaîne katanguienne du SE du Congo et du nord de la Zambie est gravimétriquement marquée par un couple

d'anomalies négative-positive comparable à ceux qu'on observe sur d'autres chaînes anciennes et modernes à travers le monde. Ce couple qui est considéré comme un argument de taille apporté par la gravimétrie pour reconnaître dans cette orogène le contexte de subduction suivi d'une collision continent-continent vers 600 Ma, est un indicateur appréciable du sens de l'ancienne zone de subduction. Ce sens peut être déterminé sur base de la géométrie des anomalies. En effet dans le cas de la chaîne katangienne, l'anomalie négative est due à l'épaississement crustal associé à la plaque plongeante, alors que l'anomalie positive coïncide avec la plaque chevauchante, où elle correspond soit à la géométrie d'un Moho redressé vers le nord impliquant peut-être un coin du manteau surmontant la croûte plongeante, soit à une croûte dense de nature différente recouverte par les métasédiments du Roan inférieur, le tout en position structurale chevauchante vers le Sud. Dans l'état actuel des connaissances, il est difficile d'opter objectivement pour l'un ou l'autre des deux modèles. Des informations sur des réflecteurs éventuels sont requises pour donner une image convaincante de la croûte katangienne.

La signature gravimétrique et les modèles proposés impliquent qu'une croûte solidaire à une plaque nord a plongé sous une croûte sud et que le blocage de la subduction est intervenu par collision continentale avec épaississement crustal. D'autres indicateurs, pétrologiques et structuraux notamment, confortent cette interprétation. En effet, les assemblages éclogitiques récemment décrits dans la zone des dômes (Cosi *et al.*, 1992) et la tectonique en nappes (François, 1973, 1974) constituent respectivement des témoins irrécusables de l'enfouissement dans une zone de subduction des roches katangiennes avant leur exhumation et de l'expulsion vers le N du continent katangien par un bloc rigide. Cette expulsion a certainement été facilitée par les zones de décollement, les surfaces de cisaillement et les autres structures tectoniques katangiennes. Dans cette optique, une étude quantitative de la déformation katangienne par modélisation numérique ou analogique pourrait apporter une contribution significative à la compréhension de la formation des structures observées, en précisant mieux l'étape actuelle de l'évolution géodynamique. Cette étude basée sur la théorie des champs de lignes de glissement permettrait d'estimer la répartition des contraintes en assimilant la lithosphère katangienne à un milieu rigide-plastique poinçonné par un milieu rigide. Dans cette approche, un des préalables sera certainement la définition de la loi régissant le comportement des matériaux katangiens (rigide-plastique, élasto-plastique, visco-plasto-élastique...). Un deuxième sera la signification qu'on voudra donner aux paramètres du modèle mécanique à élaborer.

7. REMERCIEMENTS

Ce travail qui s'intègre dans le cadre d'une thèse de doctorat de géophysique interne, a été financé par le gouvernement français dans son programme de coopération universitaire. Les échanges permanents avec de R. Caby, A. Lesquer, G. Vasseur et J.L. Vigneresse ont été appréciés. Je remercie vivement D. Jongmans et J. Bellière dont les critiques constructives ont permis d'améliorer sensiblement le manuscrit.

8. REFERENCES

- ANDREWS-SPEED, C.P., 1989. The Mid-Proterozoic Mporokoso Basin, Northern Zambia: Sequence Stratigraphy, Tectonic Setting and Potential for Gold and Uranium Mineralization. *Precambrian Research*, 44: 1-17.
- AUGER, F., 1975. Manifestations volcaniques dans le Roan inférieur et dans la Série des Mines du Shaba, République du Zaïre. *Annales de la Faculté des Sciences, Université nationale du Zaïre*, 1: 35-42.
- BAYER, R & LESQUER, A., 1978. Les anomalies gravimétriques de la bordure orientale du craton ouest-africain: géométrie d'une suture pan-africaine. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 6/XX: 863-876.
- BINDA, P.L. & VAN ENDEN, J.G., 1972. Sedimentologic evidence on the origin of the Precambrian Great Conglomerate (Kundelungu Tillite), Zambia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 12: 131-168.
- BONAVIA, F.F. & CHOROWICZ, J., 1992. Northward expulsion of the Pan-African of the northeast Africa guided by a reentrant zone of the Tanzania craton. *Geology*, 20, 1023-1026.
- BROOKS, M., 1970. Positive Bouguer anomalies in some orogenic belts. *Geology Magazine*, 111: 399-400.
- CABY, R., 1993. Precambrian coesite from northern Mali: first record and implications for plate tectonics in the trans-Sahara segment of the Pan-African belt. *European Journal of Mineralogy*.
- CAHEN, L., LEDENT, D. ET SNELLING, N.J., 1975. Données géochronologiques dans le Katangien inférieur du Kasai oriental et du Shaba nord-oriental (République du Zaïre). *Musée Royal d'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique, Département de Géologie et Minéralogie. Rapport Annuel (1974): 59-70.*
- CHAPMAN, D.S. & POLLACK, H.N., 1977. Heat Flow and Heat Production in Zambia: Evidence for lithospheric thinning in Central Africa. *Tectonophysics*, 41: 79-100.
- CAILTEUX, J.L.H. & KAMPUNZU, A.B., 1995. The Katangan tectonic breccias in Shaba province (Zaïre) and

- their genetic significance. In : Late Proterozoic belts in Central and Southwestern Africa, Projet IGCP 302. Musée Royal d'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique. *Annales des Sciences Géologiques*, 101/1995: 63-74.
- COSI, M., DE BONIS, A. GOSSO, G., HUNZIKER, J., MARTINOTTI, G., MORATTO, S., ROBERT, J.P. & RUHLMAN, F., 1992. Late Proterozoic thrust tectonics, high-pressure metamorphism and uranium mineralization in the Domes Area, Lufilian arc, northwest Zambia. *Precambrian Research*, 58: 215-240.
- COWAN, I.M. & POLLACK, H.N., 1977. Gravity in Zambia. *Reprinted from Nature*, 266, No. 5603: 615-617.
- COWARD, M.P. & FAIRHEAD, J.D., 1980. Gravity and structural evidence for the deep structure of the Limpopo belt, southern Africa. *Tectonophysics*, 68: 31-43.
- COWARD, I.M. & DALY, M.C., 1984. Crustal lineaments and shear zones in Africa: their relationship to plate movements. *Precambrian Research*, 24: 27-45.
- DAIGNIÈRES, M., GALLARD, J., BANDA, E. & HIRN, A., 1982. Implication of the seismic structure for the orogenic evolution of the Pyrenean Range. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 57: 88-100.
- DALY, M.C., 1988. Crustal Shear Zones in Central Africa: a Kinematic Approach to Proterozoic Tectonics. *Episodes*, 11/1: 5-11.
- DE SWARDT, A.M.J. & DRYSDALL, A.R., 1964. Precambrian geology and structure in Central Northern Rhodesia. *Memory of Geological Survey Northern Rhodesia*, 2: 82 pp.
- DE SWARDT, A.M.J., GARRARD, P. & SIMPSON, J.G., 1965. Major zones of transcurrent dislocation and superposition of orogenic belts in part of Central Africa. *Bulletin of Geological Society of America*, 76: 89-102.
- DUCLAUX, F., MARTIN, J., BLOT, C. & REMIOT, R., 1954. Etablissement d'un réseau général de stations gravimétriques en Afrique, à Madagascar, à la Réunion et à l'île Maurice, ORSTOM, avril 1954.
- DUMONT, P. & CAHEN, L., 1978. Les complexes conglomératiques de la bordure sud-orientale de la chaîne kibarienne et leurs relations avec les couches katanguiennes de l'arc lufilien. *Musée Royal d'Afrique Centrale, Département de Géologie et Minéralogie. Rapport Annuel (1977)*: 111-135.
- ECORS-CROP gravity group: BAYER, R., CAROZZO, M.T., LANZA, R., MILETTO, M. & REY, D., 1989. Gravity modelling along the ECORS-CROP vertical seismic reflection profile through the Western Alps. *Tectonophysics*, 162, 203-218.
- FAIRHEAD, J.D. & REEVES, C.V., 1977. Teleseismic Delay Times, Bouguer anomalies and inferred thickness of the Africa lithosphere. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 36: 67-76.
- FRANÇOIS, A., 1973. L'extrémité occidentale de l'Arc cuprifère shabien. Etude géologique. Dépt. Géol. GECAMINES Likasi. 1 vol. , 120 p.
- FRANÇOIS, A., 1974. Stratigraphie, tectonique et minéralisation de l'Arc cuprifère du Shaba (République du Zaïre). *Centenaire de la Société Géologique de Belgique, Gisements stratiformes et provinces cuprifères*, 79-101.
- FRANÇOIS, A., 1994. La structure tectonique du Katanguien dans la région de Kolwezi (Shaba, Rép. du Zaïre). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 116/1: 87-104.
- FRANÇOIS, A., 1995. Problèmes relatifs au Katanguien du Shaba. In : Late Proterozoic belts in Central and Southwestern Africa, Projet IGCP 302. Musée Royal d'Afrique centrale, Tervuren, Belgique, *Annales de la Sciences Géologiques*, 101/1995: 1-20.
- GIBB, R.A. & THOMAS, M.D., 1976. Gravity signature of fossil plate boundaries in the Canadian Shield. *Nature*, V/262: 199-200.
- GIRDLER, R.W., 1975. The great Bouguer anomaly over Africa. *EOS, Trans America Geophysics Union*, 56: 516-519.
- HANON, M. & DUMONT, P., 1994. Sur l'âge permocarbonifère des affleurements de tillites continentales attribuées au Kundelungu supérieur au Shaba. In: Colloque International Cornet, organisé par la Faculté Polytechnique de Mons du 5 au 9 septembre 1994. Centenaire des premières études sur la géologie shabienne. Gisements stratiformes de cuivre et minéralisations associées. Volume Résumés des communications, p 26.
- HUTCHINSON, D.R., GROW, J.A. & KLITGORD, K.D., 1983. Crustal structure beneath the southern Appalachians. Nonuniqueness of gravity modelling. *Geology*, 11: 611-615.
- IGCP Project 302, 1995. Late Proterozoic belts in central and southwestern Africa. Coordonné par Marek Wendorff et Luc Tack. *Annales des Sciences Géologiques*, 101/1995.
- KAMPUNZU, A.B., KAPENDA, D. & MANTEKA, B., 1991. Basic magmatism and geotectonic evolution of Pan-African belt in Central Africa: Evidence from the Katangan and West Congolian segments. *Tectonophysics*, 190: 363-371.
- KAMPUNZU, A.B., CAILTEUX, J. & KATEKESHA, W.M., 1994. Evolution structurale de la chaîne katanguienne d'Afrique centrale durant l'orogénèse panafricaine. In: Colloque International Cornet, organisé par la Faculté Polytechnique de Mons du 5 au 9 septembre 1994. Centenaire des premières études sur la géologie shabienne. Gisements stratiformes de cuivre et minéralisations associées. Volume Résumés des communications, p. 35.

- LEFÈBVRE, J.J., 1975. Les roches ignées dans le Katangien du Shaba (Zaïre), le district du cuivre. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 98: 47-73.
- LESQUER, A. & MOUSSINE-POUCHKINE, A., 1980. Les anomalies gravimétriques de la boucle du Niger. Leur signification dans le cadre de l'orogénèse panafricaine. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 17: 1538-1545.
- LESQUER, A. & LOUIS, P., 1982. Anomalies gravimétriques et collision continentale au Précambrien. *Geoexploration*, 20/1982: 275-293.
- MAZAC, O., 1974. Reconnaissance gravity survey of Zambia. Technical report n° 76. Lusaka: Geological Survey Department 1974.
- MOLNAR, P. & TAPPONIER, P., 1975. Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. *Science*, 189: 419-426.
- NG'AMBI, O., BOELRIJK, N.A.I.M. & PRIEM, H.N.A., 1986. Geochronology of the Mkushi Gneiss Complex, Central Zambia. *Precambrian Research*, 32: 279-294.
- NGOYI, K., LIÈGEOIS, J.P., DEMAÏFFE, D. & DUMONT, P., 1991. Age tardi-ubendien (Protérozoïque inférieur) des dômes granitiques de l'arc cuprifère zaïro-zambien. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 313, Série I: 83-89.
- PORADA, H., 1989. Pan-African Rifting and Orogenesis in Southern to Equatorial Africa and Eastern Brazil. *Precambrian Research*, 44: 103-136.
- PORADA, H., 1994. Thrust tectonics in the Lufilian arc of Zambia and Zaïre. Centenaire des premières études sur la géologie shabienne. In: Colloque International Cornet, organisé par la Faculté Polytechnique de Mons. Gisements stratiformes de cuivre et minéralisations associées. Volume Résumés des communications, pp 61-62.
- RAMSAY, C.R. & RIDGWAY, J., 1977. Metamorphic patterns in Zambia and their bearing on problems of Zambian tectonic history. *Precambrian Research*, 4: 321-337.
- SEBAGENZI, M.N., 1993. Etude gravimétrique et géothermique du Sud-Est du Zaïre et du Nord de la Zambie. Thèse Université Paris VII, novembre 1993, 272 p.
- SEBAGENZI, M.N., 1997. Gravity modelling of the lithosphere in Southeastern Zaïre and Zambia (Central Africa). *African Geoscience Review, Paris*, 4/2: 153-175.
- SEBAGENZI, M.N., VASSEUR, G. & LOUIS, P., 1992. Recent warming in southeastern Zaïre (Central Africa) inferred from disturbed geothermal gradients. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Global and Planetary Section), 98: 209-217.
- SEBAGENZI, M.N., VASSEUR G. & LOUIS P., 1993. First heat flow density determinations from Southeastern Zaïre (Central Africa). *Journal of African Earth Sciences*. Volume 16/4: 413-423.
- TALWANI, M., WORZEL, J.L. & LANDISMAN, M., 1959. Rapid gravity computations for two dimensional bodies with application to the Mendocino fracture zone. *Journal Geophysics Research*, 64: 49-59.
- TAPPONIER, P., 1977. Evolution tectonique du système alpin en Méditerranée: poinçonnement et écrasement rigide-plastique. *Bulletin Société Géologique de France*, XIX (3): 437-460.
- THOMAS, M.D., 1983. Tectonics significance of paired gravity anomalies in the southern and central Appalachians. *Geology Society American Memorial*, 158: 113-124.
- TORNÉ, M., DE CABISOLE, B., BAYER, R., CASAS, A., DAIGNIÈRES, M. & RIVERO, A., 1989. Gravity constraints on the deep structure of the Pyrenean belt along the ECORS profile. *Tectonophysics*, 165: 105-116.
- TREFOIS, P. & HANON, M., 1994. Le passage du Kundelungu plissé des Monts Koni au Kundelungu tabulaire du plateau (Shaba). Résultats de l'analyse par télédétection et de l'intégration des données multisources. In: Colloque International Cornet, organisé par la Faculté Polytechnique de Mons du 5 au 9 septembre 1994. Centenaire des premières études sur la géologie shabienne. Gisements stratiformes de cuivre et minéralisations associées. Volume Résumés des communications, p 69.
- UNRUG, R., 1983. The Lufilian arc: a microplate in the panafrican collision zone of the Congo and kalahari cratons. *Precambrian Research*, 21: 181-196.
- UNRUG, R., 1988. Mineralization Controls and Source of Metals in the Lufilian Fold Belt, Shaba (Zaïre), Zambia and Angola. *Economic Geology*, 83: 1247-1258.
- UNRUG, R., 1992. Kibaran terranes with cassiterite mineralization in the Zambezi belt, Zambia and Zimbabwe. IGCP n° 255, *Newsletter/Bulletin*, 4: 121-124.
- VRANA, S., 1975. Metamorphic Kyanite Eclogites in the Lufilian Arc of Zambia. *Contribution of Mineralogy Petroleum*, 51: 139-160.
- WANG, X. & LIU, J.G., 1991. Regional ultrahigh-pressure coesite bearing eclogite in central China: evidence from countryrocks, gneiss, marbl and pelite. *Geology*, 19: 933-936.
- WANG, X., LIU, J.G. & MAO, H.K., 1989. Coesite-bearing eclogite from the Dabie Mountains in central China. *Geology*, 17: 1085-1088.

Manuscrit déposé le 20/08/96 ; accepté le 07/08/97.