

Mise en évidence d'une tectonique compressive Éocène-Oligocène dans l'Ouest de la Cordillère orientale de Colombie, d'après la structure en duplex des gisements d'émeraude de Muzo et de Coscuez (Evidence for an Eocene-Oligocene compressive tectonics in the western part of Eastern Cordillera of Colombia, from the duplex structure of the Muzo and Coscuez emerald deposits)

Bernard Laumonier, Yannick Branquet, Benoit Lopès, Alain Cheilletz, Gaston Giuliani, Félix Rueda

HAL Id: hal-00122519
https://insu.hal.science/hal-00122519

Submitted on 3 Jan 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

▶ **To cite this version:**

Bernard Laumonier, Yannick Branquet, Benoit Lopès, Alain Cheilletz, Gaston Giuliani, et al.. Mise en évidence d'une tectonique compressive Éocène-Oligocène dans l'Ouest de la Cordillère orientale de Colombie, d'après la structure en duplex des gisements d'émeraude de Muzo et de Coscuez (Evidence for an Eocene-Oligocene compressive tectonics in the western part of Eastern Cordillera of Colombia, from the duplex structure of the Muzo and Coscuez emerald deposits). Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série IIa, Sciences de la terre et des planètes, 1996, 323, pp.705-712. hal-00122519

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 323, série II *a*,
p. 705 à 712,
1996

Mise en évidence d'une tectonique compressive Éocène-Oligocène dans l'Ouest de la Cordillère orientale de Colombie, d'après la structure en duplex des gisements d'émeraude de Muzo et de Coscuez

Bernard Laumonier, Yannick Branquet, Benoît Lopès, Alain Cheilletz, Gaston Giuliani et Felix Rueda

B. L. : École des Mines de Nancy, 54042 Nancy CEDEX, France ;

Y. B. et B. L. : CRPG, BP n° 20, 54041 Vandœuvre-les-Nancy CEDEX, France ;

A. C. : CRPG-CNRS UPR 9046, BP n° 20, 54041 Vandœuvre-les-Nancy CEDEX, France ;

G. G. : ORSTOM, Dpt TOA, UR 13 et CRPG-CNRS, BP n° 20, 54041 Vandœuvre-les-Nancy CEDEX, France ;

F. R. : MINERALCO SA, AA 17521, Bogotá, Colombie.

Résumé Les structures des gisements d'émeraude de l'Ouest de la Cordillère Orientale de Colombie (chevauchements, plis de rampe, duplex, failles de déchirement) résultent de trois épisodes de déformation formant une phase de tectonique compressive, synchrone de l'hydrothermalisme à l'origine de la minéralisation et, comme lui, datant de la limite Éocène-Oligocène.

Mots-clés : Émeraude, Colombie, Duplex, Tectonique en chevauchement, Éocène-Oligocène.

Abstract **Evidence for an Eocene-Oligocene compressive tectonics in the western part of Eastern Cordillera of Colombia, from the duplex structure of the Muzo and Coscuez emerald deposits**

The structures of the emerald deposits of the western part of Eastern Cordillera of Colombia (thrusts, ramps, duplexes, tear faults) have been formed by three deformational events forming a single thrust-tectonics phase, synchronous with the emerald-forming hydrothermalism. As this hydrothermalism is Late Eocene-Early Oligocene in age, it is also the age of the thrust tectonics.

Keywords : Emerald deposit, Colombia, Duplex, Thrust tectonics, Eocene-Oligocene.

Abridged English Version

REPORTED here are the results of structural studies (Branquet, 1995; Lopès, 1995) of two major emerald deposits, as yet not described, except for the Muzo one 80 years ago (Pogue and Evantson, 1916). Investigations have been motivated by the recognition of the sedimentary-hydrothermal origin and the syntectonic nature of the mineralization in the east of the cordillera (Giuliani *et al.*, 1992; Cheilletz and Giuliani, 1996). From this study, to be extended to the whole cordillera, emerges an entirely new tectonic model.

Between subduction-related Western and Central Cordilleras and the Llanos foreland (**fig. 1**), Eastern Cordillera is considered to have originated in the inversion since the Upper Miocene (except for Middle Eocene folds, Cooper *et al.*, 1995) of a Triassic-Paleogene basin, with development of thrusts, ramp folds and reverse faults trending parallel to the chain and linked to a deep detachment. The cordillera has been thrusted eastwards over the Llanos foreland but also westwards over the Middle Magdalena basin (Roeder *et al.*, 1995, and references herein). In the west of the cordillera, emerald deposits are hosted within the Early Cretaceous series, which cores kilometric scale anticlines. Formations found in the deposits are, from bottom to top:

Note

présentée par Jean Dercourt.

remise le 4 mars 1996, *acceptée après révision le* 28 mai 1996.

1250-8050/96/03230705 • $ 2.00 © Académie des Sciences

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote : B * 7511 -
Fonds Documentaire ORSTOM
010007514

(i) dolomitic limestones (at Coscuez only); (ii) carbonated black shales (LC), hosting the emerald mineralization; (iii) siliceous black shales (LS); (iv) argilites (LA).

In the Muzo deposit (**fig. 2**), thrusts are proved by LC over LS superposition at Quipama and by truncated strata. Carbonate-cemented tectonic breccias (TB), either white (WTB) or red (RTB, at Tequendama), outline the thrust planes, which are associated with intense hydraulic fracturing. At Quipama, thrust geometry indicates four distinguishable tectonic units: (i) U1, made of LS folded by N130°E, horizontal folds, and cut by a N15°E vertical cleavage; (ii) U2, made of LS folded by N30°E horizontal folds; (iii) U3, made of LC folded by N30°E folds; (iv) U4, made of LS crossfolded by NW-SE and NE-SW folds (Zincho) or elsewhere only folded by N100°E folds. The Galinazo thrust separates a relative autochthon (U1) from an allochthon (U2-U3-U4). The N50°E trending Malvinas ramp-fold affects the allochthon, including the Quipama thrust between U3 and U4 units. According to this geometry and using folds as kinematic indicators, we recognize two deformational events: (i) D1, with N130°E folding (P1) and NNE-ward thrusting (C1a between U2 and U3 and C1b –the Quipama thrust– between U3 and U4); U2 was at this time a relative autochthon for an allochthon 1 (U3-U4); (ii) D2, with ESE-ward folding (P2) and thrusting (C2: Galinazo thrust) of the allochthon 2 (U2-U3-U4) upon its relative autochthon. At Tequendama, allochthon 2 (U3-U4) and P2 are only visible, but a D3 event has deeply reworked the D1-D2 structures, with development of RTB, an hectometric scale NW-ward vergent fold (Tequendama anticline) and a reverse fault (C3). Relatively to D2, D3 was a backthrusting and backfolding event linked to the Itoco fault which was a senestral tear fault. D3 did not occur at Quipama.

The Coscuez (**fig. 3**) area is simpler than the Muzo one. The N35°E trending Coscuez fault separates a western domain with thrusts (or reverse faults) and ESE-ward vergent N25°E folds, from an eastern one (including the mine), made of: (i) a lower unit UI with dolomitic limestones and LC; (ii) an upper unit US made of LS. The eastern domain shows E-W, northward vergent folds and thrusts with WTB (in UI), younger N-S folds and N30°E cleavage (in US). The Coscuez thrust between UI and US is outlined by a WTB and cuts the E-W folds. The N125°E trending El Reten anticline gives the eastern domain its overall structure. Two deformational events are recognizable: (i) a NNE-ward vergent D1, especially in the eastern domain, with first E-W folds (P1), then Coscuez thrust (C1), and lastly El Reten anticline; (ii) a ESE-ward vergent D2 presenting N25°E folds (P2). The Coscuez fault, outlined by a WTB, acted firstly as a tear senestral fault during D1 and then as a reverse fault during D2, when the western domain moved moderately onto the eastern one. The N125°E fault is a reverse fault rather than a late normal fault.

A single model involving D1 and D2 explains most of the Coscuez and Quipama structures. At Coscuez, D1 was the most important event (Coscuez thrust and El Reten anticline, possibly a ramp fold linked to a deeper hidden thrust) (**fig. 4 A**). At Muzo, D2 prevailed (Galinazo thrust, Malvinas fold), but D1 was a major event too. The model (**fig. 4 B**) supposes two syn-D1, senestral faults (F1, F1'), either tear faults or lateral ramps, which separated three domains: (i) a central domain (the future allochthon 2) like the Coscuez eastern domain, with a C1b thrust like the Coscuez one and a frontal ramp resulting, during D2, in the wedge-shaped U3 unit towards the SW (Zincho); F1 will act as a frontal ramp during D2; (ii) an eastern domain (the future relative autochthon U1), with a deep thrust (C1b-like) between the LS and drilled LC below, and possibly a deeper thrust like C1a; (iii) a western domain (the future allochthon 2 west of the deposit), like the Coscuez western domain; F1' was similar to the Coscuez fault and caused the disappearance of the deposit west of Masato. The deposits are two- or (at Tequendama) three-phase duplexes which have induced structural highs, hence the limited extent of the LC and emerald mineralization, except northwards at Tequendama; hidden structures probably exist that seem worth prospecting. The three deformational events were associated with a hydrothermalism (responsible for emerald precipitation) which generated under-compacted levels and facilitated high rate deformation (thrusts) besides the low rate one which produced folds and cleavages. The radiometric age of the hydrothermalism is 38-32 Ma (Upper Eocene-Lower Oligocene), and so the age of the tectonic phase is

older than the supposed age of the chain formation. Motion is parallel to the trend of the cordillera during D1, orthogonal afterwards, a change as yet unexplained, as is the age itself. This should be accounted for in any reappraisal of Eastern Cordillera genesis.

Les seules études tectoniques des gisements d'émeraude de l'Ouest de la Cordillère Orientale de Colombie (Pogue et Evantson, 1916) concernent les mines de Muzo ; Ces auteurs y signalaient déjà la présence de chevauchements. L'origine sédimentaire-hydrothermale et non magmatique (Giuliani *et al.*, 1992) des émeraudes de Colombie et le caractère syntectonique de la minéralisation des gisements de Chivor-Macanal (Est de la cordillère ; Cheilletz et Giuliani, 1996), ont motivé une étude tectonique détaillée des gisements de Muzo et de Coscuez (Branquet, 1995 ; Lopès, 1995), dont les résultats majeurs sont présentés ici. Il en résulte un modèle tectonique original, entièrement nouveau, pour les deux plus importants gisements de Colombie. Ces résultats sont les premiers d'une étude concernant l'ensemble des gisements et de leurs relations avec la structuration de la Cordillère Orientale.

LE CADRE GÉOLOGIQUE

Située entre les Cordillères Occidentale et Centrale, directement liées à la subduction pacifique, et le bassin des Llanos (**fig. 1 A**), la Cordillère Orientale résulte de l'inversion d'un bassin d'âge triasique-paléogène, très subsident au Crétacé. Cette inversion est réputée se faire à partir du Miocène supérieur, des plis d'âge Éocène moyen étant toutefois décrits près de la vallée de la Magdalena (Cooper *et al.*, 1995). L'inversion (*voir* Roeder *et al.*, 1995, pour les références) se marque par de nombreuses structures compressives (chevauchements et anticlinaux de rampe, failles inverses) liées à un détachement profond, réglées sur l'orientation N30°E de la chaîne, et à double vergence, vers l'Est sur les Llanos et vers l'Ouest sur le bassin de la moyenne Magdalena (**fig. 1 B**). Les gisements d'émeraude de l'Ouest de la Cordillère Orientale occupent le cœur, formé de Crétacé inférieur, de structures anticlinales kilométriques constituant le vaste anticlinorium de Villeta. Les terrains rencontrés dans les gisements sont, de bas en haut (**fig. 1 C**) : (i) des calcaires magnésiens (à Coscuez) ; (ii) des lutites (pélites) carbonées et carbonatées, noires (LC) ; (iii) des lutites carbonées siliceuses (LS) ; (iv) des lutites argileuses (LA). La minéralisation à émeraude est étroitement liée aux LC. L'âge exact, Aptien-Albien ou Néocomien, de ces niveaux est encore imparfaitement connu.

LE GISEMENT DE MUZO (fig. 2)

Le gisement de Muzo est exploité dans les deux mines de Quipama et de Tequendama, de part et d'autre du rio Itoco. L'existence de contacts anormaux est prouvée par des superpositions anormales (LC sur LS à Quipama) et des troncatures basales et sommitales. Ils sont soulignés par des cataclasites à ciment hydrothermal carbonaté, albitique et pyriteux (ci-après appelées simplement brèches), généralement blanches, parfois rouges car ankéritiques (Tequendama). Une fracturation hydraulique intense accompagne les contacts, préférentiellement au toit des brèches.

A Quipama, la géométrie des contacts définit quatre unités tectoniques, de bas en haut : (i) U1, formée de LS redressées, affectées de plis, déca- à hectométriques d'axes N°130E horizontaux recoupés par une schistosité N15°E subverticale ; des LC sont connues (puits Palo Blanco) sous cette unité ; (ii) U2, constituée de LS structurées par des plis à schistosité d'axe N30°E ; (iii) U3, formée de LC affectées de plis N30°E ; (iv) U4, formée de LS, puis de LA ; au Sud, U4 est seulement affectée par des plis N100°E, alors qu'au SW (Zincho), la déformation est plus complexe et résulte de

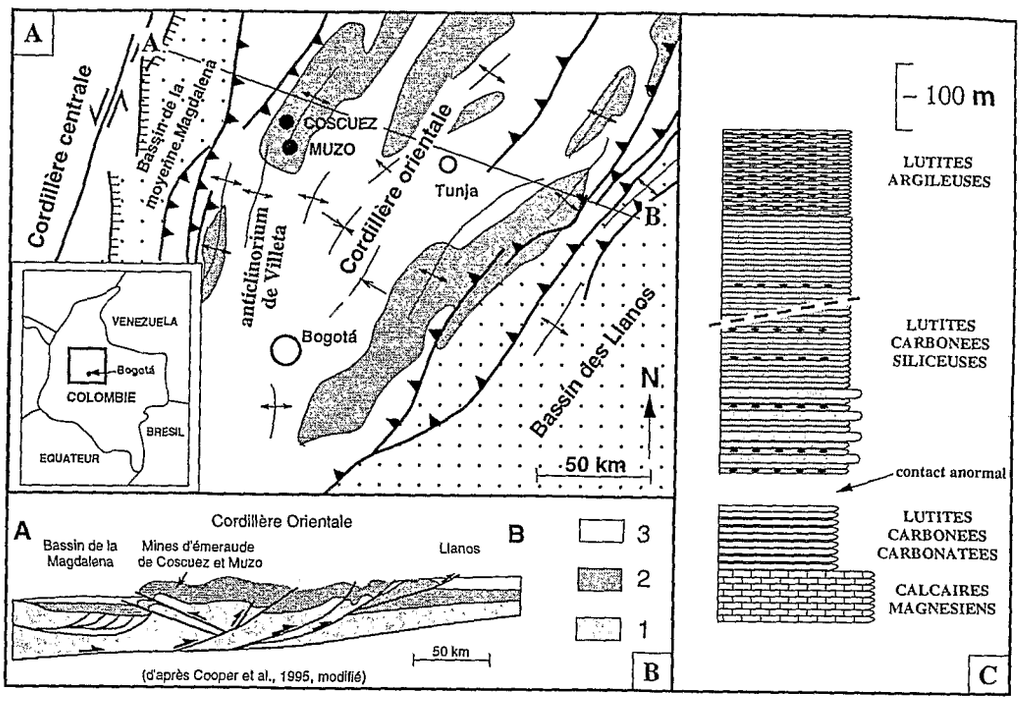


Fig. 1 A. Localisation des gisements d'émeraude de Muzo et de Coscuez dans l'anticlinorium de Villeta qui fait affleurer le Crétacé inférieur (en gris) sous les terrains plus récents (en blanc) de la Cordillère Orientale (Schamel, 1991, modifié). B. Coupe schématique de la Cordillère Orientale, avec indication des structures compressives mio-plio-quaternaires (simplifié d'après Cooper *et al.*, 1995, fig. 3). **1.** : lithosphère continentale ; **2** : mégaséquences pre-Andines (Trias-Miocène Moyen) ; **3** : mégaséquence Andine (Miocène Moyen-Actuel). C. Colonne stratigraphique schématique des gisements.

A. Location of the Muzo and Coscuez emerald deposits in the Villeta anticlinorium in which the Early Cretaceous (gray) crops out under the younger strata (white) of the Eastern Cordillera (Schamel, 1991, modified). B. Schematic cross-section of the Eastern Cordillera, showing Mio-Plio-Quaternary compressional structures (simplified from Cooper *et al.*, 1995, fig. 3). **1** : continental listhosphere ; **2** : pre-Andean megasequences (Trias-Middle Miocene) ; **3** : Andean megasequence. (Middle Miocene-Actual) C. Schematic stratigraphic section of the deposits.

Fig. 2 Carte structurale et coupes du gisement de Muzo. A : alluvions, déblais. LS : lutites siliceuses. LC : lutites carbonatées. U1 à U4 : unités tectoniques. C : chevauchement ; F : faille ; P : pli ; D1 à D3 : épisodes de déformation ; So : plans de stratification. A-B : coupe de la mine de Quipama. C-D : coupe de la mine de Tequendama.

Structural map and cross-sections of the Muzo deposit. A: alluvium, spoil earth. LS: siliceous black shales. LC: carbonated black shales. U1 to U4: tectonic units. C: thrust; F: fault. P: fold; D1 to D3: deformational events; So: bedding. A-B: Quipama mine section. C-D: Tequendama mine section.

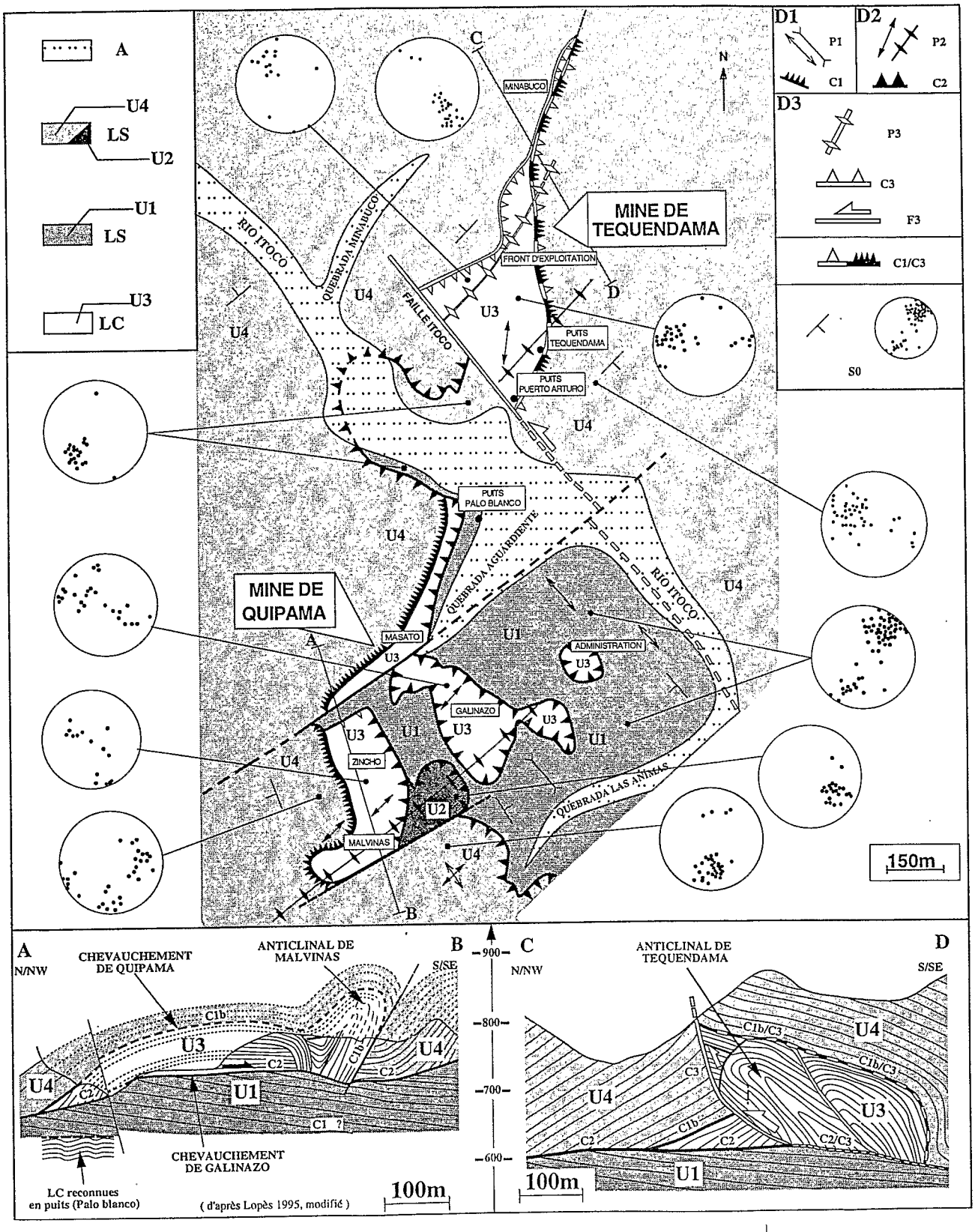
la superposition d'un plissement NW-SE et d'un plissement NE-SW.

U1 constitue un autochtone relatif, séparé d'un allochtone U2-U3-U4 par un contact subhorizontal, avec troncature sommitale (les plis N130°E sont tranchés) et basale (chevauchement du Galinazo). L'allochtone est déformé par le double pli de Malvinas, hectométrique, d'axe N50°E et qui a les caractères d'un pli de rampe. Les unités U2-U3-U4 sont séparées par deux chevauchements (chevauchement de Quipama entre U3 et U4), plus anciens, car affectés par le pli de Malvinas et tranchés par le chevauchement basal. En considérant en outre les plis comme des indicateurs cinématiques, il est possible de distinguer deux épisodes de déformation : (i) D1, responsable des plis P1 N130°E des unités U1 et U4 et de chevauchements précoces C1 (C1a entre les unités U2 et U3, C1b entre les unités U3 et U4) ; à ce stade, U2 est l'autochtone relatif de U3-U4 ; la vergence de D1 serait vers le NNE ; (ii) D2, avec la mise en place vers le SE-ESE de l'allochtone 2 (U2-U3-U4) grâce au chevauchement C2 (chevauchement du Galinazo) et plissement (P2) de cet allochtone, notamment par le pli de rampe de Malvinas.

A Tequendama, seul est visible l'allochtone 2 (unités U3 et U4 et chevauchement C1b). D2 est marquée par un pli prolongeant celui de de Malvinas. Un épisode de déformation D3, lié au développement des brèches rouges, restructure le dispositif issu de D1-D2 par un grand pli d'axe N40°E déversé vers le NW, très serré dans les LC de l'unité U3 (anticlinal de Tequendama), et par une faille inverse (C3) de même vergence ; les chevauchements antérieurs rejouent, en particulier celui de Quipama (C1b), dans lequel les brèches rouges remanient les blanches. Les manifestations de D3 sont inconnues à Quipama. La faille de l'Itoco, orientée N140°E, est soulignée par des brèches rouges ; c'est une faille de déchirement senestre syn-D3.

LE GISEMENT DE COSCUEZ (fig. 3)

Le secteur de Coscuez a une structure plus simple que celui de Muzo. La faille de Coscuez, orientée N35°E, sépare un bloc occidental structuré par des plis d'axes N25°E subhorizontaux et faiblement déversés vers l'ESE, et par de petits chevauchements de même vergence, d'un bloc oriental plus complexe, ren-


A
U4
LS
U2
U1
LS
U3
LC
D1
P1
C1
D2
P2
C2
D3
P3
C3
F3
C1/C3
S0
N
MINE DE TEQUENDAMA
MINE DE QUIPAMA
MINABUCO
FRONT D'EXPLOITATION
PUITS TEQUENDAMA
PUITS PUERTO ARTURO
PUITS PALO BLANCO
MASATO
ZINCHO
GALINAZO
ADMINISTRATION
MALVINAS
RIO ITOCO
QUEBRADA MINABUCO
FAILLE ITOCO
QUEBRADA AGUARDIENTE
QUEBRADA LAS ANIMAS
150m
A
N/NW
CHEVAUCHEMENT DE QUIPAMA
ANTICLINAL DE MALVINAS
B
S/SE
C1b
C2
C1 ?
CHEVAUCHEMENT DE GALINAZO
LC reconnues en puits (Palo blanco)
100m
C
N/NW
ANTICLINAL DE TEQUENDAMA
D
S/SE
C1b/C3
C3
C2/C3
-900-
-800-
-700-
-600-
100m
(d'après Lopès 1995, modifié)

fermant la minéralisation, et dans lequel il faut distinguer : (i) une unité inférieure UI, faite de calcaires magnésiens et de LC ; (ii) une unité supérieure US, faite de LS.

Dans tout le bloc oriental (surtout dans les LC), existent des plis métriques à décamétriques, d'axe E-W et à vergence vers le Nord, souvent recoupés par des brèches. Dans l'unité US existent aussi des plis plus petits, d'axe N-S, et une schistosité verticale N30°E, l'ensemble étant plus récent que les plis E-W. UI et US sont séparées par le chevauchement de Coscuez, marqué par des brèches blanches (il n'y a pas de brèches rouges à Coscuez), et qui recoupe les plis E-W des deux unités. La structure d'ensemble semble due au grand anticlinal d'El Reten, d'axe N125°E et légèrement déversé au Nord, qui plisse et redresse fortement les deux unités ainsi que le chevauchement de Coscuez. Il est possible d'individualiser deux épisodes de déformation : (i) D1, très marqué dans le bloc oriental, à vergence vers le NE et à l'origine, successivement, des plis E-W (P1), du chevauchement de Coscuez (C1) et de l'anticlinal d'El Reten ; (ii) D2, bien marqué dans le bloc occidental, avec les plis N0-30°E (P2), la schistosité N30°E et des chevauchements à vergence vers l'Est (C2).

La faille de Coscuez, soulignée dans le gisement par des brèches, a joué, d'abord pendant D1 en faille de déchirement senestre, puis pendant D2 en faille inverse, faisant monter le bloc occidental vers l'Est sur le bloc oriental. La faille N125°E qui ferme le gisement au Nord

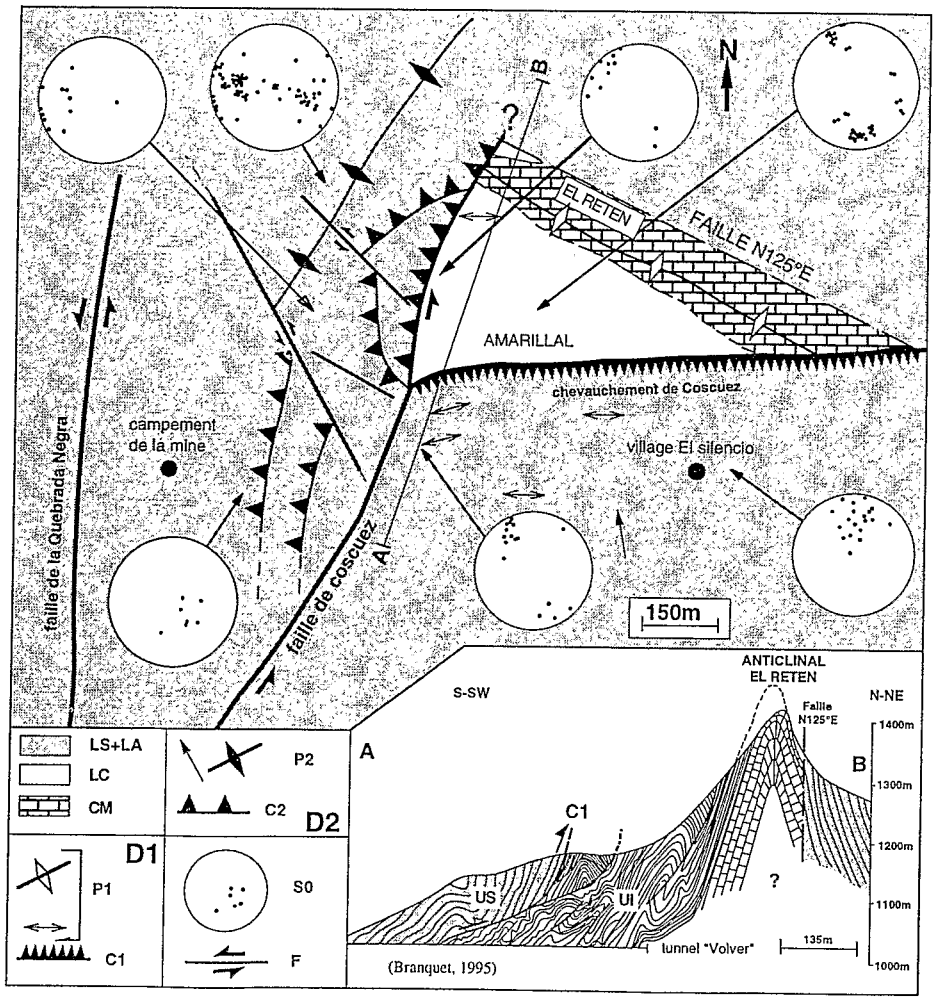


Fig. 3 Carte structurale et coupe du gisement de Coscuez. LS+LA : lutites siliceuses et argileuses. LC : lutites carbonatées. CM : calcaires dolomitiques. UI, US: unités tectoniques. C : chevauchement ; P : pli ; F : faille ; D1, D2 : épisodes de déformation ; So : plans de stratification. A-B : coupe de la mine de Coscuez.

Structural map and cross-section of the Coscuez deposit. LS+LA: siliceous black shales and mudstones. LC: carbonated black shales. CM: dolomitic limestone. UI, US: tectonic units. C: thrust; P: fold; F: fault; D1, D2: deformational events; So: bedding. A-B: Coscuez mine section.

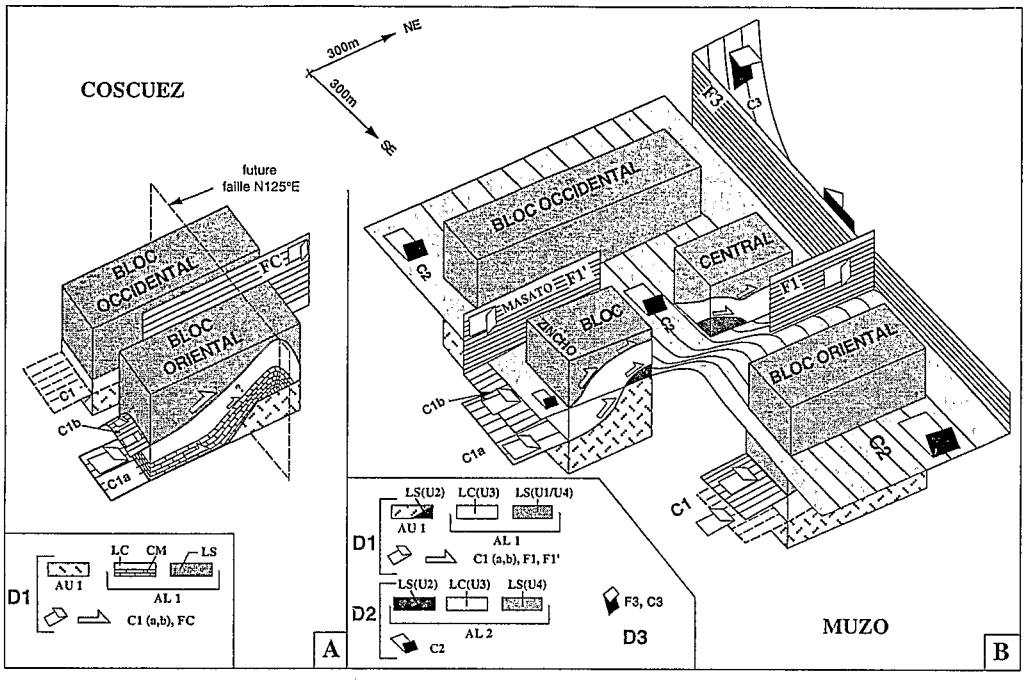


Fig. 4 Blocs-diagrammes schématiques illustrant la structure des gisements de Coscuez (A) et de Muzo (B) à l'issue du premier épisode de déformation (D1). A Coscuez, l'anticlinal d'El Reten est interprété comme un anticlinal de rampe sur un chevauchement caché (C1a) ; cet anticlinal plisse le chevauchement de Coscuez (C1b), légèrement plus ancien ; la faille de Coscuez (FC) correspond à une faille de déchirement, et dans le bloc occidental, il peut n'exister qu'un seul chevauchement (C1). A Muzo, le bloc central correspond au secteur de la mine (Quipama) qui sera transporté sur le bloc oriental pendant D2 ; ce bloc est limité au NW par la faille du Masato (F1'), équivalente à la faille de Coscuez, et au SE par une faille (F1), plus hypothétique, qui rejouera en rampe frontale pendant D2. L'autochtone relatif 1 (AU1) est inconnu, sauf sous la forme d'une petite écaille à Muzo (U2) ; il est probablement constitué de LS surmontant des LC. Légende : voir figures 2 et 3 ; AU : autochtone relatif ; AL : allochtone.

Schematic block diagrams showing the structure of the Coscuez (A) and Muzo (B) deposits after the first deformational event D1. At Coscuez, the El Reten anticline is supposed to be a ramp anticline above a hidden thrust (C1a); the anticline folded the slightly older Coscuez thrust (C1b); the Coscuez fault (FC) was a tear fault and in the western domain there possibly exists only one thrust (C1). At Muzo, the central domain was to constitute, after thrusting during D2 over the eastern domain, the Quipama mine; the central domain is limited northwestwards by the Masato fault, which is equivalent to the Coscuez fault, and southeastwards by a more hypothetical fault, which was to act as a frontal ramp during D2-thrusting. Relative autochthon 1 (AU1) is unknown except for the small U2 unit at Quipama; it is probably formed of LS overlying LC. Legend: see figures 2 and 3; AU: relative autochthon; AL: allochthon.

n'est pas encore complètement étudiée : il s'agit vraisemblablement d'une faille inverse précoce, non d'une faille tardive.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

A Coscuez (**fig. 4 A**), D1 est l'épisode principal, avec d'abord des plis, puis le chevauchement de Coscuez qui les recoupe, et enfin de l'anticlinal d'El Reten qui est vraisemblablement un pli de rampe (ou un pli de propagation de faille), signant l'existence d'un chevauchement basal caché, plus jeune que celui de Coscuez (il recoupe les plis initiaux, d'où son allure sécante vers l'arrière) ; les effets de D2 ne sont notables qu'à l'Ouest de la faille de Coscuez. A Muzo (**fig. 4 B**), D2 est un épisode majeur (chevauchement du Galinazo, pli de Malvinas), mais D1 est au moins aussi important. L'interprétation complète de Quipama peut se faire en admettant l'existence, pendant D1, de trois compartiments séparés par deux accidents senestres (F1 et F1'), de type faille de déchirement et rampe latérale : (i) un bloc central (futur allochtone 2 dans le gisement) ; le biseautage vers le SW (Zincho) des LC de U3 peut s'interpréter comme une rampe frontale de C1 ; F1 rejouera en rampe frontale pendant D2 ; (ii) un bloc oriental (futur autochtone relatif U1) ; les LC reconnues en puits sous les LS en seraient séparées par un chevauchement caché, équivalent à C1b ; rien ne permet ni n'interdit de supposer qu'il existe un chevauchement C1a encore plus profond ; (iii) un bloc occidental (futur allochtone 2 au NW du gisement).

La combinaison des deux gisements permet de proposer un modèle géométrique et cinématique unique, en ce qui concerne les épisodes de déformation D1 et D2 : (i) le bloc central de Muzo est comparable au bloc oriental de Coscuez, bien qu'il soit moins affecté par les plis P1, et les contacts C1b et C1a sont analogues aux chevauchements de Coscuez visible et caché ; (ii) le bloc occidental de Muzo est analogue au bloc occidental de Coscuez (absence de LC, tout du moins au niveau d'érosion actuel, ce qui n'exclut pas l'existence de structures profondes) ; F1' est l'équivalent de la faille de Coscuez et peut expliquer la disparition brutale des LC, et donc du gisement, à l'Ouest du Masato.

Chaque gisement est un duplex (McClay, 1992) coïncidant avec le cœur d'une structure

anticlinale, mais ces duplex résultent du jeu de deux (D1-D2) ou trois (à Tequendama) épisodes de déformation à cinématiques différentes, d'où leur complexité. Cette complexité et la multiplicité des contacts anormaux, notamment à l'intérieur des LC, rendent impossible la détermination de taux de raccourcissement et l'équilibrage des coupes, du moins à l'échelle des gisements. Les failles de déchirement et les rampes de directions NNE-SSW et NW-SE expliquent l'extension limitée des LC encaissant la minéralisation à émeraude. Le modèle proposé implique l'existence, à l'aplomb des gisements actuels, de structures cachées ; ces structures mériteraient d'être prospectées, les gisements étant quasi épuisés en surface, sauf vers le NNE à Tequendama, direction dans laquelle les LC pourraient se poursuivre, sous les LC de U4.

Les trois épisodes de déformation sont intimement synchrones d'un hydrothermalisme intense (« brèches tectoniques hydrothermales », fracturation hydraulique, métasomatose, minéralisation à émeraude), qui débute avant le plissement (veines d'extension stratiformes à calcite fibreuse anté-D1) et se poursuit après (« stockwerks » à émeraude non déformés) (Cheilletz et Giuliani, 1996). Des déformations lentes (plis, schistosités) alternent avec des déformations rapides (chevauchements) ; l'hydrothermalisme est lié à ces dernières, la surpression fluide rendant le milieu sous-compacté au niveau des surfaces de chevauchement (ce qui explique, par exemple, l'absence complète de plans striés, pourtant fréquents dans ce genre de déformation). L'unicité de cet événement hydrothermal conduit à penser que les structures, quoique résultant de trois épisodes de déformation distincts, ne correspondent en réalité qu'à une seule phase de tectonique en chevauchement, ce qui est confirmé par les âges très proches obtenus à Coscuez et à Quipama : 38 ± 3 et 32 ± 2 Ma, respectivement (Cheilletz *et al.*, 1994).

L'épisode D1, reconnu dans deux gisements éloignés de 10 km, est original par sa vergence parallèle à la chaîne actuelle. La direction de transport pendant D2 et D3 est perpendiculaire à la chaîne actuelle, quoique avec des vergences opposées. Ce changement de la direction de serrage reste entièrement à expliquer. Dans le secteur étudié, l'essentiel, sinon la totalité, des structures jusqu'à une échelle au moins kilométrique est donc à rapporter à la limite Éocène-Oligocène, ce qui remet en cause leur âge couramment admis, c'est-à-dire Miocène supérieur ou plus récent (*cf.* Introduction). Ceci devrait avoir d'intéressantes conséquences sur l'interprétation de la Cordillère Orientale (relation et hétérochronie entre les structures bordières de la cordillère et les structures plus internes, en particulier).

Remerciements : Ce travail a été financé par le programme ECOTECH-CNRS (contrat ARC 215) et la DG XII de la Commission Européenne (contrat CT 94-0098). Contributions IGCP 342 et CRPG n° 1213.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BRANQUET, Y., 1995. Étude structurale de la mine d'émeraude de Coscuez, Cordillère Orientale, Colombie, *Mém. DEA* non publié, INPL et CRPG, Nancy, 80 p. (en dépôt à la Soc. géol. France).

CHEILLETZ, A., FÉRAUD, G., GIULIANI, G. et RODRIGUEZ, C. T., 1994. Time-Pressure and Temperature Constraints on the Formation of Colombian Emeralds : An $^{40}Ar/^{39}Ar$ Laser Microprobe and Fluid Inclusion Study, *Econ. Geol.*, 89, p. 361-380.

CHEILLETZ, A. et GIULIANI, G., 1996. The genesis of Colombian emeralds : a restatement, *Mineralium Deposita* (sous presse).

COOPER, M. A., ADDISON, F. T., ALVAREZ, R., CORAL, M., GRAHAM, R. H., HAYWARD, A. B., HOWE, S., MARTINEZ, J., NAAR, J., PEÑAS, R., PULHAM, A. J. et TABORDA, A., 1995. Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera and Middle Magdalena Valley, Colombia, *AAPG Bull.*, 79, p. 1421-1443.

GIULIANI, G., SHEPPARD, S. M. F., CHEILLETZ, A. et RODRIGUEZ, C., 1992. Contribution de l'étude des phases fluides et de la géochimie isotopique $^{18}O/^{16}O$, $^{13}C/^{12}C$ à la genèse des gisements d'émeraude de la Cordillère Orientale de la Colombie, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 314, série II, p. 269-274.

LOPÈS, B., 1995. Étude structurale des mines d'émeraude de Muzo, Cordillère Orientale de Colombie, *Mém. DEA* non publié, INPL et CRPG, Nancy, 80 p. (en dépôt à la Soc. géol. France).

McCLAY, K. R., 1992. Glossary of thrust tectonics terms, *in* McCLAY, K. R., éd., *Thrust tectonics*, Chapman & Hall, Londres, p. 419-433.

POGUE, J. E. et EVANTSON, P. D., 1916. The Emerald Deposits of Muzo, Colombia, in *Compilacion de los estudios geologicos oficiales en Colombia*, INGEOMINAS, Bogotá, 1993, 13, 412 p.

ROEDER, D. et CHAMBERLAIN, R. L., 1995. Eastern Cordillera of Colombia : Jurassic-Neogene evolution, *AAPG Mem.*, 62, p. 633-645.

SCHAMEL, S., 1991. Middle and upper Magdalena basins, *in* BIDDLE K. T. éd., *Active margin basins, AAPG Mem.*, 52, p. 283-303.