

**ANALYSE SÉDIMENTOLOGIQUE DES
"COUCHES ROUGES"
DU BASSIN INTRAMONTAGNEUX DE SICUANI
(sud du Pérou)**

*Christophe Noblet **
*René Marocco ***
*Jean Delfaud****

Résumé:

Le bassin des "Couches Rouges" de Siquani (sud du Pérou) est un bassin continental intramontagneux dont le fonctionnement débute dès les premiers mouvements tectoniques andins du Sénonien.

La sédimentation est essentiellement d'origine fluviale. Les termes les plus proximaux sont représentés par les rivières en tresse à galets et les plus distaux par la plaine d'inondation à chenaux divagants. Le sens constant des apports sédimentaires implique une paléopente régionale inclinée vers le nord. A cette époque, la principale source des sédiments n'est donc pas représentée par la Cordillère orientale mais plutôt par les reliefs situés au sud-ouest des affleurements.

Le taux de sédimentation relativement élevé, le guidage des transits sédimentaires par d'anciennes failles majeures et l'existence de structures de déformation synsédimentaire compressives font du bassin de Siquani un bassin tectoniquement actif, comparable à celui de Cuzco.

La première phase tectonique andine ne correspond donc plus à un événement ponctuel mais bien au contraire à un continuum tectonique en compression au cours duquel se développe la sédimentation des "Couches Rouges" sud péruviennes. Ce continuum tectonique est associé à une activité volcanique intermittente, en partie responsable de l'alimentation des bassins.

* IFEA — Mission ORSTOM. Apartado Postal 6596 CCI. Quito. EQUATEUR.

** ORSTOM. Fozières, 34700 Lodeve. FRANCE.

*** Laboratoire de Géodynamique des bassins sédimentaires — IURS. Faculté des Sciences, FORDO Documentaire FRANCE.

28 MARS 1989

N° : 26.206 ex 1

Cote : B. P170

Resumen:

La cuenca de las "Capas Rojas" de Sicuani (sur del Perú) es una cuenca continental intramontañosa cuyo funcionamiento empezó desde los primeros movimientos tectónicos andinos del Senoniano.

La sedimentación tiene un origen fundamentalmente fluvial. Los términos más proximales corresponden a ríos en trenza con cantos y los más distales a la llanura de inundación con canales divagantes. La permanencia del sentido de los aportes sedimentarios implica la existencia de una paleopendiente regional inclinada hacia el norte. Es así como, en esta época, la fuente principal de los sedimentos no estuvo representada por la Cordillera oriental sino más bien por los relieves localizados en el sur-oeste de los afloramientos.

La tasa de sedimentación relativamente elevada, el guiado de los tránsitos sedimentarios por antiguas fallas mayores y la existencia de estructuras de deformación sinsedimentaria compresivas, son elementos que concurren para identificar a la cuenca de Sicuani como una cuenca tectónicamente activa, similar a la del Cuzco.

Por consiguiente, la primera fase tectónica andina no corresponde a un evento puntual sino más bien a un continuum tectónico compresivo durante el cual se desarrolla la sedimentación de las "Capas Rojas" del sur del Perú. Dicho continuum tectónico está también asociado a una actividad volcánica intermitente, en parte responsable de la alimentación de las cuencas.

Abstract:

The "Red Beds" sedimentary basin of Sicuani (south Peru) is an intermontane continental basin which activity began since the first andean tectonic compressive movements in Senonian times.

The sedimentation is mainly fluvial. Pebbly braided rivers correspond to more proximal terms and floodplains with channels to more distal terms. The constant infilling polarity indicates a regional northwards palaeoslope. In this time, eastern Cordillera doesn't represent the main source of sediments but rather southwestwards relieves.

The relatively high rate of sedimentation, the infilling lead by ancient major faults and the existence of compressive symsedimentary deformations, make the Sicuani basin, be a tectonic active basin similar to the Cusco basin.

Therefore the first andean compressive tectonic event no longer corresponds to a punctual event but rather to a tectonic continuum. The south peruvian "Red Beds" sedimentation has been developing all along this continuum. The latter is also characterized by an intermittent volcanic activity, partly responsible for basins alimentation.

I INTRODUCTION

Dès le Crétacé supérieur, l'une des caractéristiques essentielles de la Cordillère des Andes est l'existence d'importants dépôts continentaux, parmi lesquels ceux de la Formation des "Couches Rouges" (Audebaud, 1967; Audebaud *et al.*, 1973; Dalmayrac *et al.*, 1980; Lauenbacher, 1978; Marocco, 1978; Mégard, 1978). La sédimentation des "Couches Rouges" fait suite aux premiers mouvements tectoniques andins du Sénonien, responsables du début de la surrection des Andes, et correspond donc au passage d'une paléogéographie à dominante marine d'âge mésozoïque à une paléogéographie définitivement continentale tertiaire et quaternaire. L'ensemble de cette sédimentation continentale se développe au sein de bassins intramontagneux fortement subsidents et situés soit à l'intérieur, soit sur les bordures de la chaîne (Lavenu et Marocco, 1984; Marocco, 1984; Marocco et Noblet, 1985; Noblet, 1985; Cordova, 1986; Lavenu, 1986; Noblet *et al.*, sous presse).

L'étude sédimentologique des "Couches Rouges" sud-péruviennes permet de préciser les modalités de leur mise en place ainsi que le contexte géodynamique de l'époque. Leurs affleurements sont actuellement situés sur l'Altiplano entre les Cordillères occidentale et orientale, à une altitude comprise entre 2 000 m et 5 000 m avec une moyenne proche de 4 000 m. Ces affleurements, jusqu'à présent considérés comme appartenant à un seul bassin (Dalmayrac *et al.*, 1980), se regroupent en quatre zones qui sont du nord-ouest au sud-est: celles d'Abancay, de Cuzco, de Sicuani et du lac Titicaca, limitées par de grands accidents de direction principalement est-ouest et nord-ouest — sud-est (fig. 1). Seul le secteur de Sicuani est présenté, celui de Cuzco ayant fait l'objet d'une étude réalisée par Elmer Cordova (1986).

II STRATIGRAPHIE

Jusqu'en 1965, la stratigraphie des ensembles mésozoïques et cénozoïques, du sud du Pérou, est essentiellement établie sur la base des travaux de Newell (1949). Pour cet auteur, les "Couches Rouges" (Formations Cotacucho, Vilquechico et Muñani) sont concordantes sur

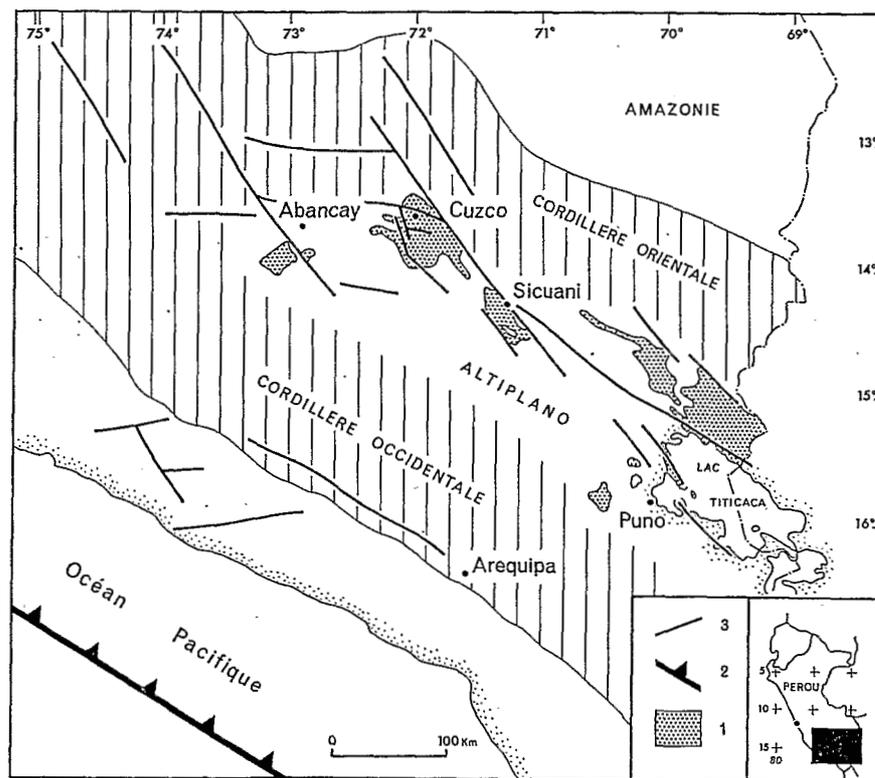


Figure 1.— Localisation des principaux affleurements de la Formation des "Couches Rouges" dans le sud du Pérou. 1: Formation des "Couches Rouges"; 2: fosse de subduction actuelle; 3: principales failles.

le Crétacé moyen (Albo-Cénomani) et s'étendent jusqu'au Crétacé terminal. Elles sont recouvertes en discordance par le Groupe Puno de la base du Tertiaire (phase péruvienne de Steinmann, 1929), lui-même recouvert en discordance par la Formation Tacaza (phase incaïque de Steinmann).

La découverte d'oogones de charophytes, notamment par Mattauer en 1965, dans la Formation Vilquechico, à Laguna Umayo, et dans le Groupe Puno, va sensiblement modifier cette stratigraphie. L'âge crétacé terminal pour la Formation Vilquechico est alors confirmé par Grambast *et al.* (1967) puis Kerourio et Sigé (1984). Par contre, l'âge du Groupe Puno, antérieurement considéré comme éocène, devient oligocène (Chanove *et al.*, 1969, note infrapaginale).

Plus tard, Audebaud *et al.* (1976) attribuent à la Formation Muñani, concordante sur la Formation Vilquechico, un âge éocène à partir de corrélations stratigraphiques avec le centre du Pérou et sur la présence de charophytes à la partie inférieure de la formation.

La phase péruvienne, datée du Santonien (≈ 80 Ma) par Mégard (1978) dans le centre du Pérou, est donc antérieure au dépôt des "Couches Rouges", et ne semble se manifester, dans les régions considérées ici, que par le passage d'une sédimentation marine à continentale. La phase incaïque (≈ 40 Ma) est mise en évidence par la discordance du Groupe Puno sur les "Couches Rouges", dont l'âge est alors compris entre le Crétacé terminal et l'Éocène supérieur.

Une nouvelle révision de l'âge de cet ensemble sédimentaire est actuellement en cours après la découverte de plusieurs niveaux à empreintes dont l'existence à la base des "Couches Rouges" fut déjà mentionnée par Gregory, en 1916. Ces nouveaux gisements se localisent, aussi bien à Cuzco qu'à Sicuani, au sommet des "Couches Rouges" (entre 4 000 m et 4 500 m au-dessus de la base) et ont livré des empreintes tridactyles (fig. 2 et 3) qui pourraient correspondre à des traces laissées par des Dinosaures (Taquet, communication personnelle). Si cela devait se confirmer, l'ensemble des "Couches Rouges" posséderait alors un âge compris entre le Santonien et le Maestrichtien, voire le Paléocène.

III LES "COUCHES ROUGES" DE SICUANI

Les affleurements se localisent à l'ouest de la route Cuzco-Juliaca, dans les environs de Sicuani. Il s'agit d'une structure synclinale d'échelle pluri-kilométrique, faillée en son cœur, dont l'axe possède une direction sensiblement nord-nord-ouest — sud-sud-est (Audebaud et Pecho, 1970).

Audebaud (1973) y définit une Formation Cotacucho-Muñani, d'âge crétacé supérieur, concordante sur le Groupe Moho du Crétacé moyen, et composée d'alternances grésopélitiques rouges à nette dominante pélitique vers la base. Comme Newell (1949), Audebaud (1973) place la phase péruvienne à la limite Crétacé-Tertiaire, bien que le passage de la Formation Cotacucho-Muñani au membre inférieur grésoconglomératique du Groupe Puno (Tertiaire) soit ici progressif. Cette séparation en deux formations ne semble pas nécessaire dans la mesure où elle correspond sur le terrain à une simple coupure lithologique. Il convient plutôt d'appeler "Formation des Couches Rouges" l'ensemble représenté par la Formation Cotacucho-Muñani et le membre inférieur du Groupe Puno d'Audebaud et Pecho (1970) et d'Audebaud (1973), cet ensemble étant postérieur à l'événement péruvien à 80Ma, ce qui diffère également de l'interprétation d'Audebaud (1967 et 1973).

III.1 ANALYSE SÉQUENTIELLE

Les ordres séquentiels utilisés sont ceux proposés par Delfaud (1984) et Kazi-Tani (1986):

Au premier ordre, les séquences élémentaires observées dans la Formation des "Couches Rouges" sont généralement de trois types. Il peut s'agir:

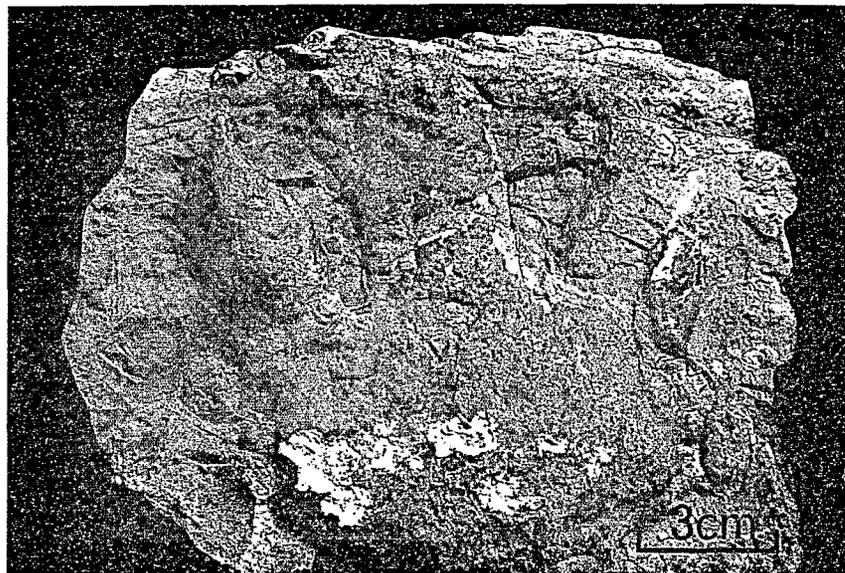


Figure 2.— Empreinte probablement laissée par un Dinosaur, découverte (C.N) à plus de 4 000 m au-dessus de la base de la Formation des "Couches Rouges" à Cuzco.

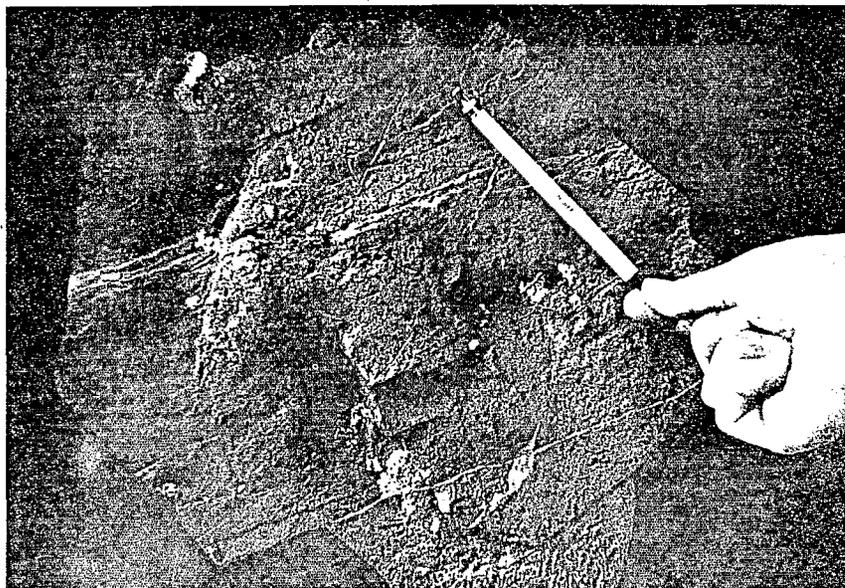


Figure 3.— Empreinte probablement laissée par un Dinosaur, découverte (C.N) à 4 000 m au-dessus de la base de la Formation des "Couches Rouges" à Sicuani.

Le cinquième ordre séquentiel met en évidence un cycle sédimentaire se développant sur plus de 5 000 m de puissance. Il débute par la progradation des termes les plus proximaux sur les plus distaux (fig. 7, moitié inférieure de la coupe) en réponse à la formation d'un relief, lui-même en relation probable avec une période d'activité tectonique et/ou volcanique (Marocco et Noblet, 1985). La fin du cycle s'effectue par un retour des environnements distaux au sein du bassin (fig. 7, moitié supérieure de la coupe) correspondant à l'érosion des reliefs résiduels. Cette phase de comblement suggère donc une période de calme tectonique et/ou volcanique.

III.2 PUISSANCE ET TAUX DE SÉDIMENTATION

La puissance totale des coupes mesurées au 1/200ème à Sicuani (Noblet, 1985) est de 5 500 m. Cependant, celle-ci doit dépasser les 6 000 m dans la mesure où le toit de la formation n'a pas été atteint. En tenant compte de la décompaction, la puissance doit approcher les 8 000 m pour une durée maximale de sédimentation de l'ordre de 40 Ma, du Crétacé terminal à l'Éocène supérieur, comme il est jusqu'à présent admis. Néanmoins, si les prochains résultats paléontologiques confirment un âge maestrichtien pour le toit de la Formation des "Couches Rouges", la durée de vie du bassin serait alors réduite à environ 15 Ma.

Le taux de sédimentation varierait donc entre 200m/Ma et 550m/Ma suivant la durée de vie du bassin considérée. Dans les deux cas, il s'agit d'une sédimentation très rapide correspondant, selon Masse (*in* Perrodon, 1983), à une subsidence liée à une importante activité tectonique.

III.3 ACTIVITÉ TECTONIQUE SYNSEDIMENTAIRE

Le lever des coupes sur les deux flancs du synclinal de Sicuani et la cartographie des séquences de 4ème ordre ont permis de mettre en évidence des structures de déformation syn-sédimentaire, toutefois moins développées que dans le bassin de Cuzco (Cordova, 1986). Il s'agit principalement de discordances angulaires et progressives et de flexures qui développent des surépaississements de dépôts (fig. 8 et 9).

La discordance angulaire, mise en évidence sur le flanc occidental du synclinal, entre les séquences D et F, est responsable de la totale disparition à l'affleurement de la séquence E sur ce flanc, alors que sa puissance est de l'ordre de 550 m sur le flanc oriental (fig. 8 et 10). Cette discordance semble être le résultat d'un plissement syn-sédimentaire synclinal dont l'axe serait de direction voisine de N 140, puisqu'elle apparaît parallèle aux strates en coupe longitudinale (fig. 9). Sur le flanc oriental, il est possible que certaines séquences de base se biseautent vers le nord, mais le manque d'affleurements ne permet pas d'être affirmatif (fig. 8).

Les flexures affectant les séquences F et G suggèrent également une déformation en compression qui réactive des failles anciennes d'orientation proche d'est-ouest, à vergence nord et dont le jeu serait inverse, voire décrochant (fig. 9).

Ces données encore trop insuffisantes ne permettent pas de préciser le champ de déformation à l'intérieur du bassin pendant son fonctionnement. Toutefois, les déformations observées à Sicuani sont tout à fait comparables à celles du bassin de Cuzco où Cordova (1986) a pu déterminer une direction de raccourcissement proche de nord-est—sud-ouest.

III.4 ACTIVITÉ VOLCANIQUE

L'abondance des feldspaths et de divers types de clastes volcaniques dans les sédiments démontre l'existence d'apports provenant de l'érosion d'anciennes roches volcaniques. Cependant, la présence de nombreux niveaux à clastes monogéniques suggère également des apports en provenance d'un volcanisme actif pendant la sédimentation. Ces niveaux sont le résultat de projections pyroclastiques (Auvray, communication personnelle) émises depuis un (ou plusieurs) volcan(s) relativement proche(s) du bassin. Leur association à une sédimentation plus grossière (séquences F et G) confirme la formation de reliefs d'origine, au moins partielle, volcanique (Marocco et Noblet, 1985).

III.5 ANALYSE DES PALÉOCOURANTS

III.5.1 Structures et figures mesurées

Les structures sédimentaires mesurées sont des rides, des litages obliques de moyenne et grande taille (arqués et tabulaires) et certaines figures rectilignes de courant et d'érosion. Pour ces dernières, il s'agit de *grooves*, *prod marks*, *bounce marks*, *flutes* (fig. 11), d'*obstacle scours*, de *gouttières d'érosion* (fig. 12), de rides et sillons longitudinaux, de chenaux, figures décrites par Collison et Thompson (1982).

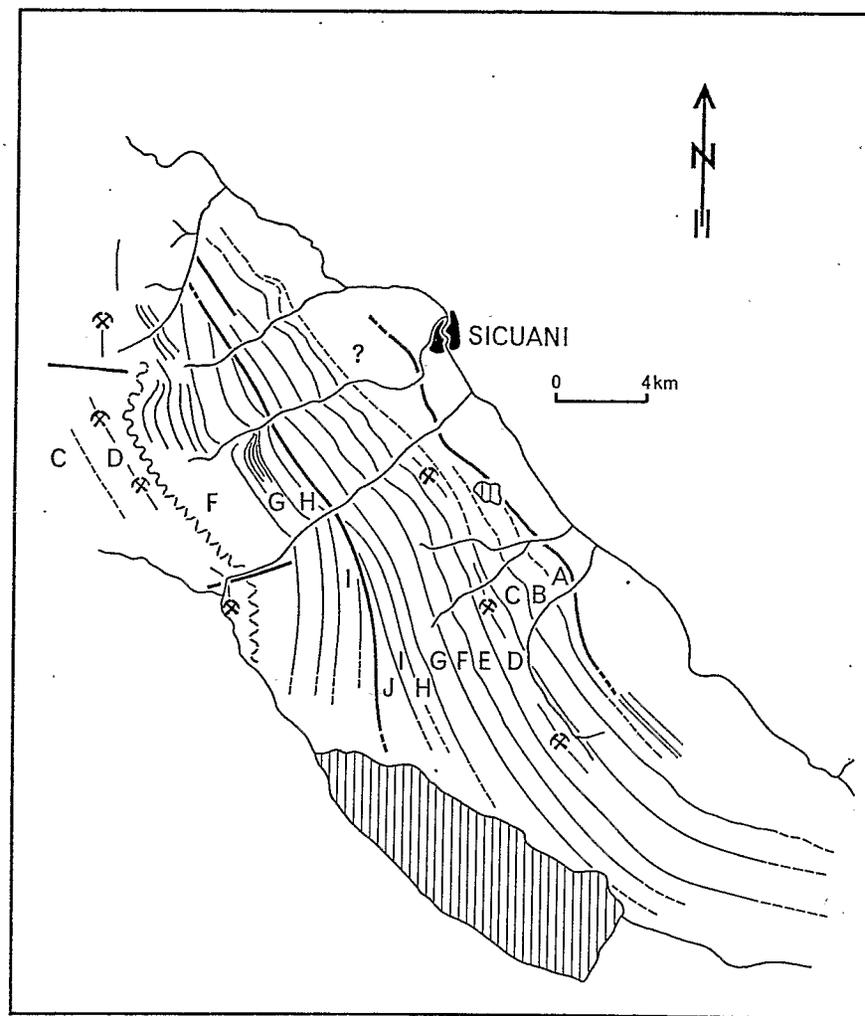


Figure 8.— Carte des séquences de 4ème ordre de la Formation des "Couches Rouges" dans le synclinal de Sicuani.

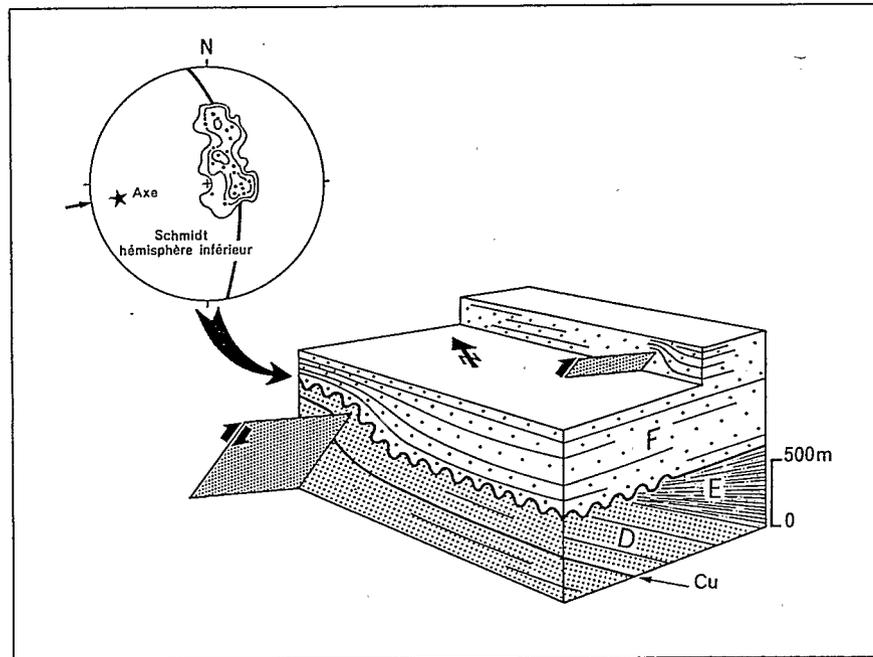


Figure 9.— Bloc diagramme du flanc nord-ouest du synclinal de Sicuani illustrant les déformations acquises pendant la sédimentation de la Formation des "Couches Rouges." La direction de la faille probablement à l'origine de la flexure mesurée (diagramme de Schmidt) doit être subparallèle à l'axe de celle-ci (direction proche de l'est-ouest après débasculement).

III.5.2 Répartition des structures et figures

La répartition de ces structures et figures sédimentaires sur l'ensemble de la coupe souligne les variations hydrodynamiques des milieux (fig. 13, 14, 15). Les premières séquences de 4^{ème} ordre présentent essentiellement des rides de courant, des figures de courant et des chenaux. Les rides, en grand nombre, caractérisent le milieu à faible énergie qui est celui de la plaine d'inondation à chenaux divagants (fig. 7). Les figures d'érosion sont dans ce milieu le plus souvent associées à de petites séquences turbiditiques produites lors de crues. Cependant, la présence de litages obliques de grande et moyenne dimension au sommet de ces mêmes séquences souligne l'augmentation croissante de l'énergie du milieu liée à la progradation des termes proximaux sur les distaux. Par la suite, les séquences F et G présentent essentiellement des corps sédimentaires à litage oblique de grande taille caractéristiques du milieu fluvial en tresse (fig. 7).

III.5.3 Analyse des tendances

La restitution de l'orientation originelle des corps sédimentaires mesurés a été réalisée selon la méthode développée par Noblet (1985) et Durand et Noblet (1986). Celle-ci a pu être appliquée aux "Couches Rouges" grâce à leur plissement cylindrique concentrique n'affectant pas la structure interne des strates (Audebaud, 1967 et 1973).

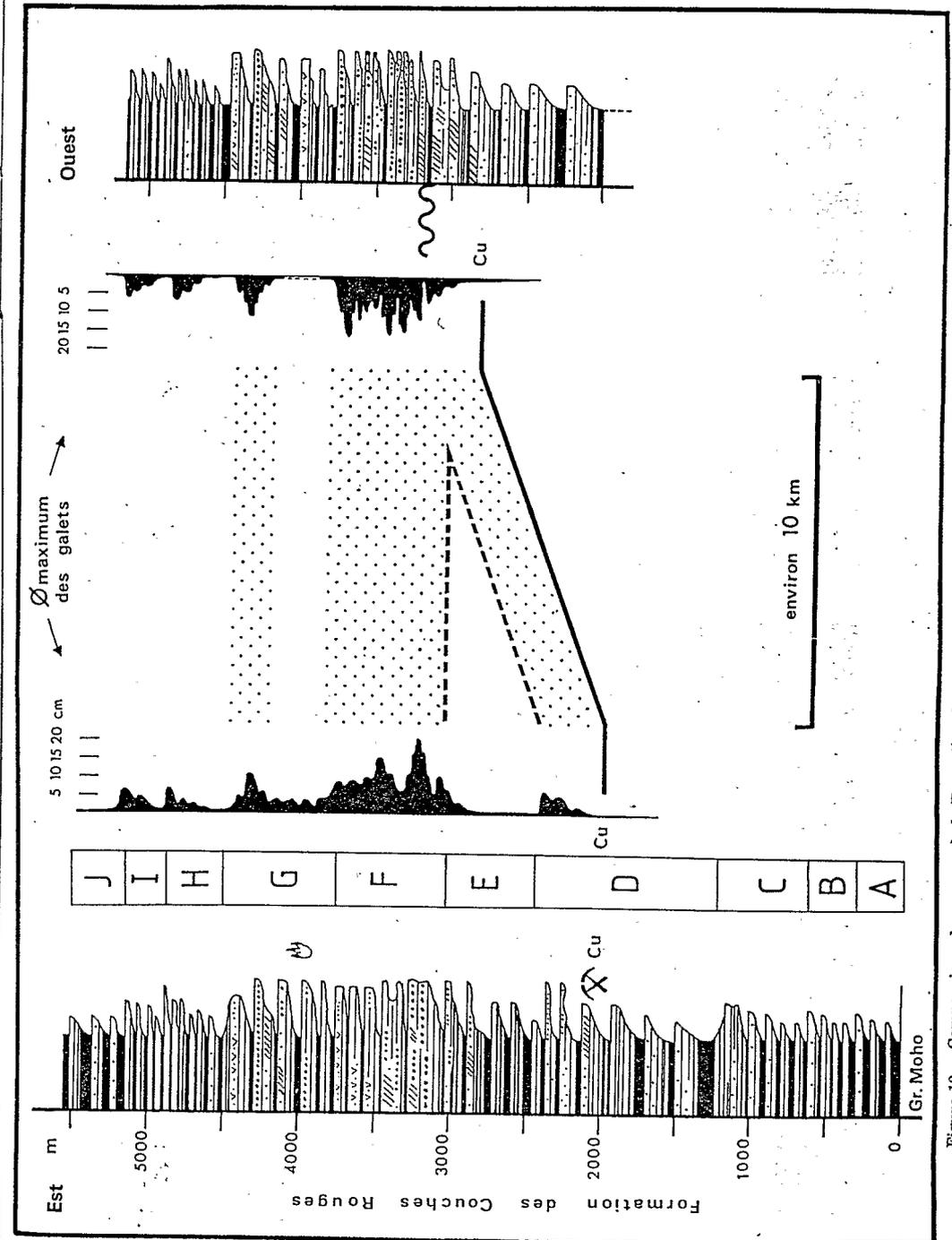


Figure 10.— Comparaison des coupes de la Formation des "Couches Rouges" réalisées sur les deux flancs du synclinal de Sicuani.

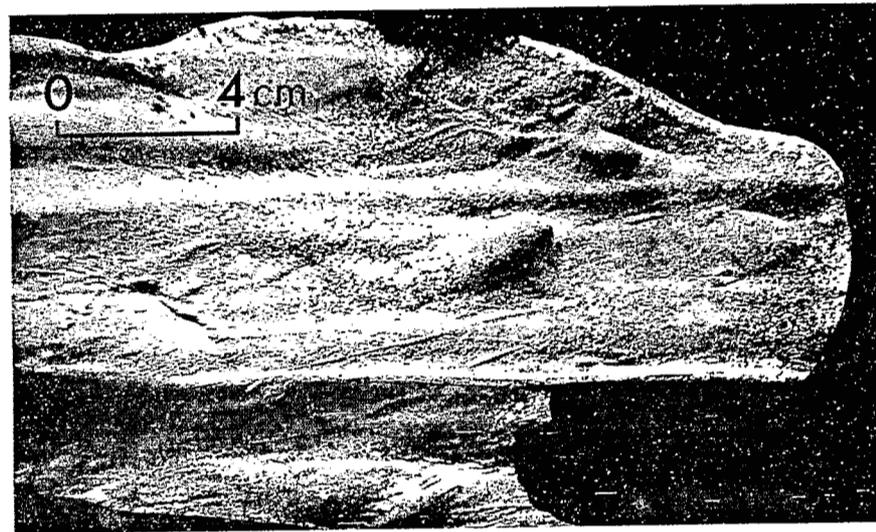


Figure 11.— Figures de courant à la base d'un banc: *grooves, prod marks, bounce marks et flute cast.*

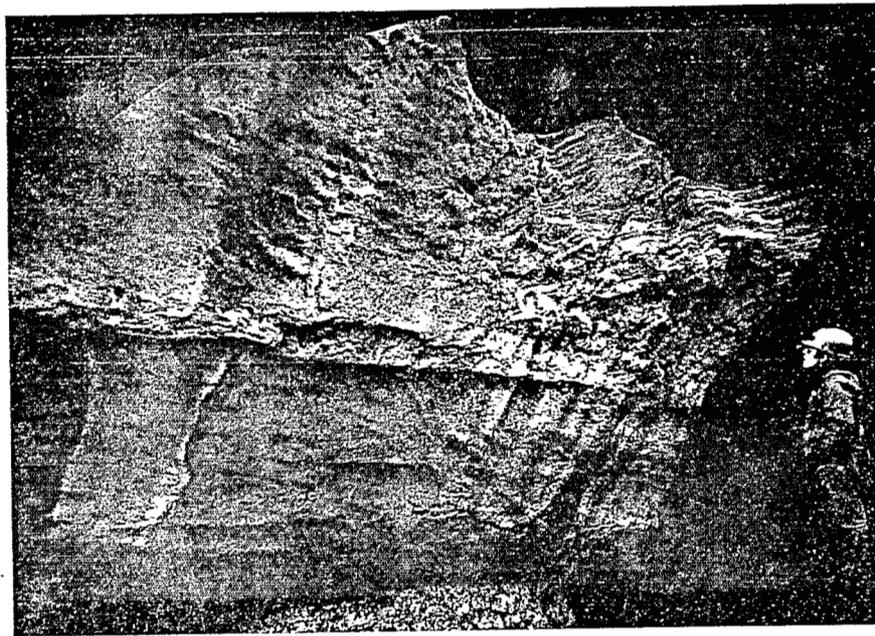


Figure 12.— Gouttières d'érosion à la base d'une séquence de deuxième ordre. Remarquer les fentes de dessiccation moulées sur le sommet de la séquence précédente (haut de la photographie).

	RIDES DE COURANT	LITAGES OBLIQUES	FIGURES DE COURANT	AXES DE CHENAU
	SENS DE TRANSPORT	SENS DE TRANSPORT	SENS DE TRANSPORT	DIRECTION DE TRANSPORT
F	 2	 101	 7	 3
D	 5	 10	 4	 3
C	 8	 2	 1	 6

Figure 13.— Sens de transport obtenus dans les séquences C, D, F de la Formation des "Couches Rouges" sur le flanc ouest du synclinal de Sicutani.

Les sens et directions étant quasiment identiques d'un flanc à l'autre du synclinal pour chaque séquence (fig. 13 et 14), les mesures ont été regroupées sur la figure 15 qui devient alors la plus représentative.

Pour les rides (fig. 13, 14, et 15), les sens de transport obtenus déterminent une tendance symétrique principalement nord-sud, toutefois fortement asymétrique vers le nord, à l'exception des mesures de la séquence B. D'une façon générale, la dispersion des mesures est assez large avec un maximum au nord.

Pour les litages obliques, la dispersion est aussi grande, mais elle perd cette fois son caractère symétrique. En effet, la quasi-totalité des mesures est dans chaque séquence regroupée sur une demi-rose axée au nord.

Les sens obtenus sur les figures de courant déterminent dans chacune des séquences une ou deux tendances voisines sans aucune symétrie. Les sens prédominants sont le nord, le nord-est et le nord-ouest.

	RIDES DE COURANT	LITAGES OBLIQUES	FIGURES DE COURANT	AXES DE CHENAUX
	SENS DE TRANSPORT	SENS DE TRANSPORT	SENS DE TRANSPORT	DIRECTION DE TRANSPORT
G		 2	 2	
F		 9	 9	 3
E	 2	 4	 3	 5
D	 21	 4	 5	 2
C	 51	 4	 17	 15
B	 23	 4	 20	 2

Figure 14.— Sens de transport obtenus dans les séquences B, C, D, E, F et G de la Formation des "Couches Rouges" sur le flanc est du synclinal de Sicuani.

Dans le cas des axes de chenaux et autres figures directionnelles, les tendances obtenues sont toujours unimodales à l'exception des mesures de la séquence C. Les directions dominantes sont les suivantes: nord-sud, nord-est—sud-ouest et nord-ouest—sud-est.

Les mesures des différents objets étant homogènes, elles ont été regroupées pour chacune des séquences et déterminent des tendances essentiellement orientées au nord-ouest, nord et nord-est (fig. 16).

Grâce à son caractère unique dans la sédimentation et à sa très bonne continuité latérale, un niveau de cuivre, dont le dépôt synsédimentaire est indubitable, peut être considéré

	RIDES DE COURANT	LITAGES OBLIQUES	FIGURES DE COURANT	AXES DE CHENAUX...
	SENS DE TRANSPORT	SENS DE TRANSPORT	SENS DE TRANSPORT	DIRECTION DE TRANSPORT
G		 2	 2	
F	 2	 110	 16	 6
E	 2	 4	 3	 5
D	 38	 27	 9	 5
C	 59	 6	 18	 21
B	 23	 24	 2	

Figure 15.— Sens de transport obtenus pour chacune des séquences de 4ème ordre de la Formation des "Couches Rouges" sur l'ensemble du synclinal de Sicuani.

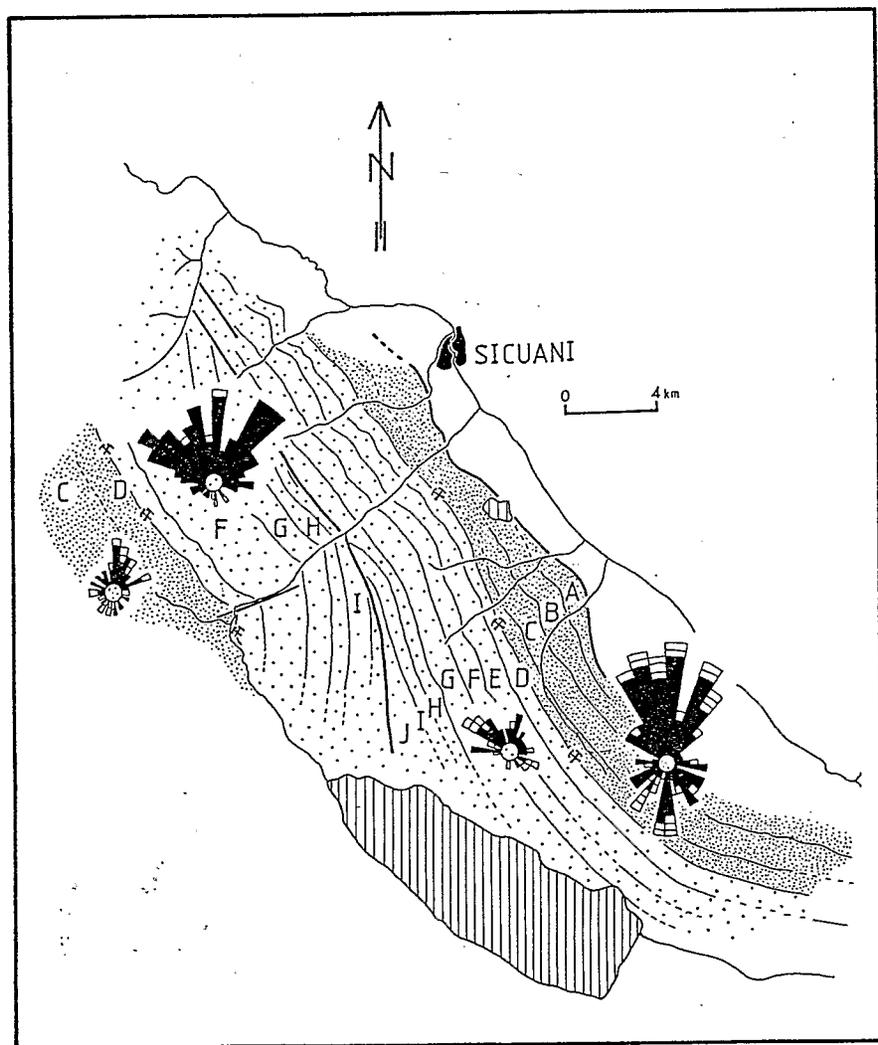


Figure 16.— Répartition des sens (en noir) et directions (en blanc) de transport pour chacune des séquences de 4ème ordre de la Formation des "Couches Rouges".

comme un repère chronostratigraphique à l'échelle du bassin. Il se situe juste sous la discordance du flanc occidental (fig. 9) et précède donc l'extension maximale de l'environnement fluvial en tresse dans le bassin (fig. 8 et 10). Les mesures de palécourants ont été regroupées avant et après ce repère sur la figure 17. Avant le dépôt du cuivre, les mesures mettent en évidence un sens principal vers le nord. Une nouvelle tendance vers le nord-ouest apparaît après le dépôt du cuivre, alors que la sédimentation devient plus proximale. Cette nouvelle direction apparaît relativement proche de celle de l'axe de plissement du bassin.

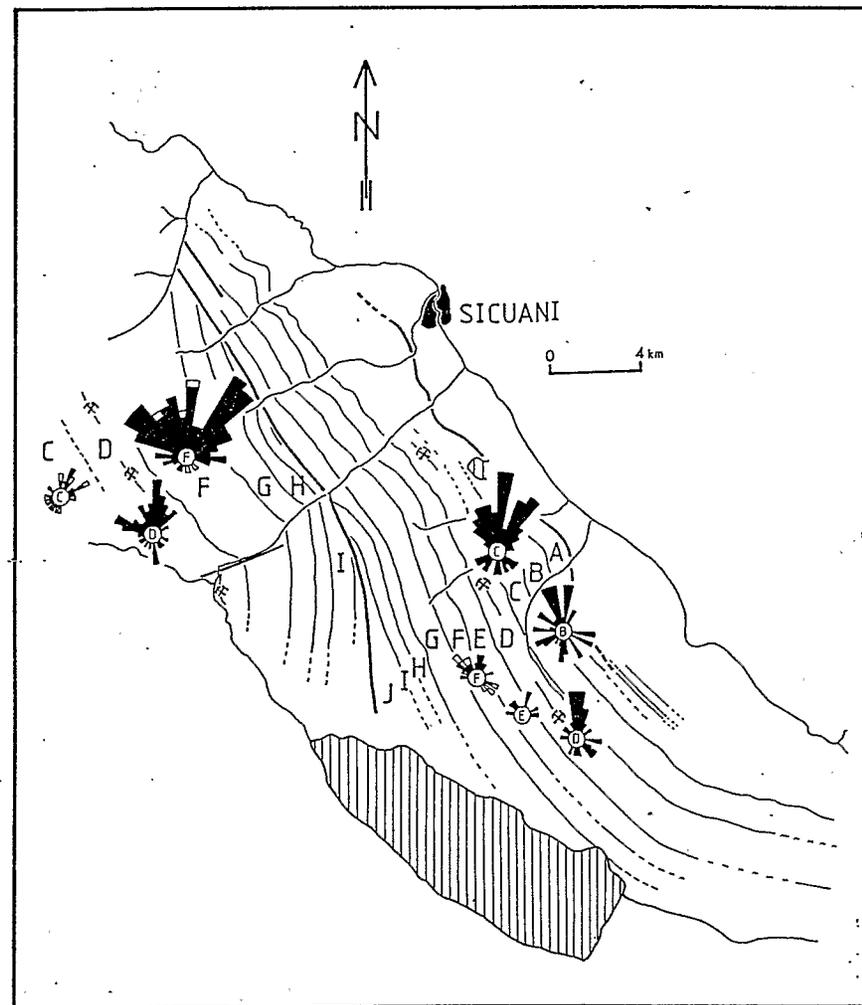


Figure 17.— Répartition des sens (en noir) et directions (en blanc) de transport avant et après le dépôt du cuivre de la Formation des "Couches Rouges".

III.5.4 Conclusion

A Sicuani, la tendance générale est donc un écoulement vers le nord largement ouvert en raison de la divagation des corps sédimentaires, aussi bien dans l'environnement fluvial en tresse que dans celui de la plaine d'inondation plus distale.

Les sens principaux de transport déterminent donc une paléopente régionale inclinée vers le nord à cette époque. La persistance d'un sens dominant vers le nord et l'apparition brutale d'une nouvelle tendance, de sens nord-ouest, bien exprimée dans l'environnement fluvial qui scelle la première déformation synsédimentaire (fig. 9), suggèrent un contrôle étroit

des transits sédimentaires par d'anciennes failles majeures réactivées en cette période précoce de la structuration andine.

Enfin, l'ensemble des mesures réalisées à Sicuani, au nombre de 378, mais aussi à Cuzco (26) et à l'île de Taquile (18) confirme l'existence d'une zone nourricière située au sud des affleurements. La Cordillère orientale ne peut donc pas avoir été la principale source des sédiments des "Couches Rouges" comme cela avait été préalablement suggéré par différents auteurs (Portugal, 1974; Audebaud *et al.*, 1976; Dalmayrac *et al.*, 1980).

III.6 LES CONDITIONS CLIMATIQUES

L'existence de crues, la présence de nombreux niveaux à plantes (tiges, troncs d'arbre), celle de fréquentes fentes de dessiccation sont les principaux arguments suggérant un climat à saisons alternées, l'une sèche et l'autre humide, comme il en existe encore dans ces régions. Toutefois, l'altitude probablement proche du niveau de la mer à cette époque ne favorisait pas les amplitudes de température actuellement observables sur l'Altiplano. La position en latitude de l'Amérique du Sud proposée par Scotese (1979) pour la fin du Crétacé, paraît très proche de l'actuelle, ce qui est un argument supplémentaire en faveur d'un climat bisaisonnier.

Par ailleurs, la coloration rouge des sédiments ne semble pas avoir de signification d'ordre climatique dans la mesure où celle-ci a été acquise après la sédimentation, au cours de la diagénèse (Cordova, 1986).

III.7 PALÉOGÉOGRAPHIE DES "COUCHES ROUGES" DE SICUANI

La paléogéographie des "Couches Rouges" de Sicuani s'ordonne selon trois principales périodes.

La première concerne les séquences A, B, C, D, E de 4ème ordre et correspond à l'arrivée de sédiments détritiques fins dans une plaine d'inondation, suggérant un éloignement relativement important des zones nourricières. L'écoulement principal des sédiments est orienté du sud vers le nord. La maturité du matériel suppose l'absence d'une activité volcanique proche. Le bassin, relativement distal à cette époque, est alimenté en amont par un réseau fluvial en tresse progradant, comme le montre l'évolution grano et stratocroissante des diverses séquences. Cette période est également caractérisée par une déformation synsédimentaire provoquant le basculement vers le nord-est du flanc occidental du bassin, selon un axe subparallèle à celui du plissement postérieur au dépôt de la formation (N 140).

La seconde période est représentée par les séquences F et G de 4ème ordre. Les rivières à galets envahissent le bassin vers le nord et le nord-ouest et recouvrent en discordance la bordure occidentale du bassin préalablement plissée. L'apparition d'un nouveau sens d'écoulement vers le nord-ouest souligne encore le contrôle du bassin par les accidents de direction andine (N 140). De nouveaux effets synsédimentaires de la tectonique sont enregistrés et correspondent probablement à une compression guidée par d'anciennes failles de direction proche d'est-ouest. Cette tectonique est accompagnée d'une activité volcanique relativement proche du bassin.

Enfin, la troisième période est caractérisée par un retour des faciès distaux dans le bassin (séquences H, I et J). L'érosion des reliefs précédemment créés provoque un recul progressif des zones nourricières par rapport au bassin. Cette phase de comblement correspond probablement à un retour au calme tectonique et/ou volcanique.

III.8 CARACTÉRISATION DU BASSIN

Si, à Sicuani, aucun mouvement décrochant n'a pu être mis en évidence pendant la sédimentation, contrairement à la région de Cuzco (Cordova, 1986), le bassin semble tout de même contrôlé par de grands accidents, principalement par ceux de direction andine mais aussi par ceux de direction est-ouest et nord-sud.

En effet, le taux de sédimentation relativement élevé, le guidage des transits sédimentaires par les structures anciennes, et l'existence de structures de déformation synsédimentaire, sont autant de caractéristiques (Riba, 1976; Arthaud *et al.*, 1977; Christie-Blick et Biddle, 1985; Nilsen et McLaughlin, 1985) qui font du bassin de Sicuani un bassin tectoniquement actif, typique des bassins intramontagneux.

IV COMPARAISON AVEC LES "COUCHES ROUGES" DE CUZCO

Les "Couches Rouges" de Cuzco, étudiées par Cordova (1986), présentent également les principales caractéristiques d'un bassin tectoniquement actif et contrôlé par d'anciens accidents majeurs.

Le taux de sédimentation y est similaire, ainsi que les milieux de dépôts, cependant plus diversifiés en raison de la présence de cônes alluviaux. Les déformations synsédimentaires de Cuzco, mieux développées, déterminent à la fois des mouvements décrochants et inverses en fonction de l'orientation des principaux accidents (Cordova, 1986).

Dans la mesure où la sédimentation des "Couches Rouges" s'est déployée au sein de plusieurs sous-bassins à Cuzco (Cordova, 1986), il est alors probable que les "Couches Rouges" de Sicuani appartiennent à un bassin différent de celui de Cuzco. Ces bassins seraient essentiellement différenciés par leur évolution sédimentaire, cyclique à Sicuani et centripète à Cuzco. Par rapport aux zones d'alimentation, le bassin de Sicuani serait en position plus distale que celui de Cuzco et vraisemblablement moins actif tectoniquement.

V CONTEXTE TECTONIQUE ET GÉODYNAMIQUE

Aussi bien à Sicuani qu'à Cuzco, la sédimentation est étroitement liée à d'anciennes structures de direction nord-sud, est-ouest et nord-ouest—sud-est, sur lesquelles Cordova (1986) a clairement mis en évidence dans le bassin de Cuzco des jeux synsédimentaires respectivement décrochants dextres, décrochants sénestres et inverses. Ceux-ci déterminent ainsi une direction principale de raccourcissement nord-est—sud-ouest (Cordova, 1986) qui coïncide remarquablement avec les vecteurs de convergence entre les plaques Nazca et sudaméricaine de l'époque (Pilger, 1984) (fig. 18).

La position plus centrale du bassin de Cuzco à la croisée de failles majeures de directions différentes (fig. 18), pourrait expliquer une activité tectonique apparemment plus importante et plus complexe que celle du bassin de Sicuani.

VI CONCLUSIONS

La sédimentation continentale des "Couches Rouges" ne se développe donc plus après la première phase andine en compression (phase péruvienne), comme il était admis, mais bien au contraire pendant celle-ci. La phase péruvienne n'apparaît alors plus dans ces régions comme un événement tectonique ponctuel mais au contraire, comme un événement s'étendant sur plusieurs millions d'années, voire même plusieurs dizaines de millions d'années (Noblet, 1985; Cordova, 1986).

Par ailleurs, la Cordillère orientale, jusque-là considérée comme une source principale du détritisme de l'époque, ne représente pas encore un trait paléogéographique majeur. L'alimentation des différents bassins provient essentiellement des régions méridionales à occidentales où se développe, de façon synchrone à une partie de la sédimentation, une importante activité volcanique responsable de la formation de reliefs.

Cette activité volcanique à proximité des bassins vers l'ouest, est mise en évidence à environ 300 km à l'est de la fosse de subduction, ce qui modifie sensiblement le schéma classique d'une migration graduelle du volcanisme andin de l'ouest vers l'est (Marocco et Noblet, 1985).

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une convention établie entre l'Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de Lima et l'ORSTOM.

Nos remerciements vont à la fois à nos collègues géologues de l'UNI, plus particulièrement à Silvia Rosas, Andrés Quiroz et Esteban Menrique, et à ceux de l'Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cuzco, notamment Elmer Cordova, Fernando Candia, Victor Carlotto, José Cardenas et Ronald López.

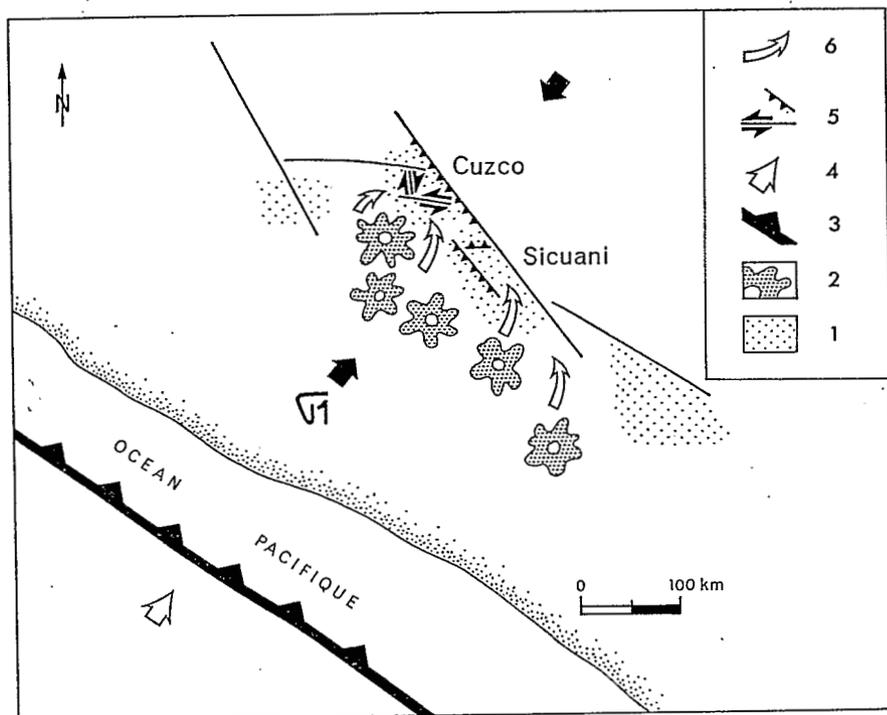


Figure 18.— Situation des bassins de Cuzco et de Sicuani dans le contexte géodynamique général de l'époque.

- 1: Formation des "Couches Rouges";
- 2: arc volcanique présumé pendant la sédimentation des "Couches Rouges";
- 3: fosse de subduction;
- 4: convergence de la plaque Nazca (d'après Pilger, 1984);
- 5: failles actives pendant la sédimentation des "Couches Rouges";
- 6: principaux sens des apports sédimentaires.

Bibliographie

- ARTHAUD F., MÉGARD F. et SEGURET M.
1977 "Cadre tectonique de quelques bassins sédimentaires." Bull. Centres Rech. Explor. — Prod. Elf — Aquitaine, 1,1: 147-188.
- AUDEBAUD E.
1967 "Etude géologique de la région de Sicuani et Ocongate (Cordillère orientale du Sud Péruvien)." (Thèse 3ème cycle, Grenoble) 59 p.
- AUDEBAUD E.
1973 "Geología de los cuadrángulos de Ocongate y Sicuani." Bol. Serv. Geol. Min, no. 25 Lima.
- AUDEBAUD E., PECHO V.
1970 Mapa geológico del cuadrángulo de Sicuani (departamento: Cuzco). Servicio de Geología y Minería del Perú.

- AUDEBAUD E., CAPDEVILA R., DALMAYRAC B., DEBELMAS J., LAUBACHER G., LEFÈVRE C., MAROCCO R., MARTINEZ C., MATTAUER M., MÉGARD F., PAREDES J., TOMASI P.
1973 "Les traits géologiques essentiels des Andes Centrales (Pérou-Bolivie)". Revue de Géographie physique et de Géologie Dynamique (2), vol. XV, Fasc. 1-2, pp 73-114.
- AUDEBAUD E., LAUBACHER G., et MAROCCO R.
1976 "Coupe géologique des Andes du sud du Pérou, de l'océan Pacifique au Bouclier Brésilien". Geol. Rundschau 65, 1, 223-294, Stuttgart.
- CHANOVE G., MATTAUER M., MÉGARD F.
1969 "Précisions sur la tectonique tangentielle des terrains secondaires du massif de Pirin (nord-ouest du lac Titicaca, Pérou)". C.R. Acad. Sc. Paris, t. 268, série D, 1698-1701.
- CHRISTIE-BLICK N. et BIDDLE K.T.
1985 "Deformation and basin formation along strike-slip faults". In Biddle K.T. and Christie-Blick N. eds, Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, special publication no. 37; 1-34.
- COLLINSON J.D. et THOMPSON D.B.
1982 Sedimentary structures. George Allen et Urwin ed. London.
- CORDOVA E.
1986 "Un bassin intramontagneux andin péruvien. Les Couches Rouges du bassin de Cuzco (Maestrichtien-Paléocène)." (Thèse de 3ème cycle. Univ. Pau et des Pays de l'Adour, IURS) 272 p.
- DALMAYRAC B., LAUBACHER G., MAROCCO R.
1980 Caractères généraux de l'évolution géologique des Andes péruviennes. Trav. et Doc. de l'ORSTOM, no. 122, 501 pages.
- DELFAUD J.
1984 "Le contexte dynamique de la sédimentation continentale. Modèles d'organisation." Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, 8, 1, 27-53.
- DURAND J. et NOBLET Ch.
1986 "Paléocourants dans la Formation du Grès armoricain: persistance des mécanismes de transport en domaine cratonique." R.G.D.G.P. vol. 27, Fasc. 1, p. 13-24.
- GRAMBAST L., MARTINEZ M., MATTAUER M., THALER L.
1967 *Perutherium altiplanense*, nov. gen. nov. sp.; premier Mammifère mésozoïque d'Amérique du Sud. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 264, série D - 707-710.
- GREGORY H.
1916 "Geologic Reconnaissance of the Cuzco Valley, Peru". American Journal of Science. Fourth series. vol. II, no. 241.
- KAZI-TANI N.
1986 "Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine: le domaine intraplaque nord-algérien. Approche mégaséquentielle." (Thèse de Doctorat es-Sciences. Université de Pau et des Pays de l'Adour. I.U.R.S.) 871 p.
- KEROURIO Ph. et SIGE B.
1984 "L'apport des coquilles d'oeufs de dinosaures de Laguna Umayo à l'âge de la Formation Vilquechico (Pérou) et à la compréhension de *Perutherium altiplanense*." Newsl-Stratigr. 13 (3), 133-142, 2 Fig. 1 pl. Berlin-Stuttgart, 15-10.
- LAUBACHER G.
1978 Géologie des Andes péruviennes, géologie de la Cordillère orientale et de l'Altiplano au nord et nord-ouest du lac Titicaca (Pérou). Trav. Doc. ORSTOM, 95, PARIS.
- LAVENU A.
1986 "Etude néotectonique de l'Altiplano et de la Cordillère orientale des Andes boliviennes". (Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Paris-Sud). 434 p.
- LAVENU A. et MAROCCO R.
1984 "Sédimentation continentale et tectonique d'une chaîne liée à une zone de subduction: l'exemple des Andes centrales (Pérou-Bolivie) pendant le Tertiaire." Bull. Centres Rech. Explor. — Prod. Elf — Aquitaine, 8, 1: 57-70.
- MAROCCO R.
1978 Géologie des Andes péruviennes. Un segment E-W de la chaîne des Andes péruviennes: la déflexion d'Abancay. Etude géologique de la Cordillère orientale et des hauts plateaux entre Cuzco et San Miguel, sud du Pérou (12°30 S à 14°00 S). Trav. Doc. ORSTOM, 94, PARIS.
- 1984 "Dynamique du remplissage d'un bassin intramontagneux cénozoïque andin. Le bassin Moquegua (sud du Pérou)." Cah — ORSTOM Sér. Geol., Vol. XIV, no. 2: 117-140.
- MAROCCO R. et NOBLET Ch.
1985 "Magmatism and clastic sedimentation in two intramontane basins of the Central Andes (southern Peru)." International Symposium on Magmatic Evolution of the Andes. IGCP. Santiago de Chile.
- MÉGARD F.
1978 Etude géologique des Andes du Pérou central. Mémoire ORSTOM no. 86.
- MIALL A.D.
1982 Analysis of fluvial depositional systems. A.A.P.G. Educ. Course Note, 20, 75 p.

NEWELL N.D.

1949 Geology of the lake Titicaca region, Peru and Bolivia. Geol. Soc. Amer., memoir 36, 111 p.

NILSEN T.H. et McLAUGHLIN R.J.

1985 "Comparison of tectonic framework and depositional patterns of the Hornelen strike-slip basin of Norway and the ridge and little Sulphur Creek strike-slip basins of California". In Biddle K.T. and Christie-Blick N. eds Strike-Slip deformation, basin formation and sedimentation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, special publication no. 37: 79-103.

NOBLET Ch.

1985 Etude des bassins intramontagneux andins. Analyse sédimentologique des Couches Rouges sud péruviennes. Rap. Ined., ORSTOM, Paris.

NOBLET Ch., LAVENU A. et SCHNEIDER F.

Etude géodynamique d'un bassin intramontagneux tertiaire sur décrochement dans les Andes du sud de l'Equateur: l'exemple du bassin de Cuenca. Géodynamique ORSTOM ed. sous presse.

PERRODON A.

1983 "Géodynamique des bassins sédimentaires et systèmes pétroliers." Bull. Centres Rech. Explor. — Prod. Elf-Aquitaine, 7, 2, 645-676.

PILGER R.H.

1984 "Cenozoic plate kinematics, subduction and magmatism: south american Andes." J. Geol. Soc. London, vol 141: 793-802.

PORTUGAL J.A.

1974 "Mesozoic and Cenozoic Stratigraphy and Tectonic Events of Puno-Santa Lucia Area, Department of Puno, Peru." The American Association of Petroleum Geologists Bulletin V. 58, no. 6, 982-999.

READING H.G.

1978 Sedimentary Environments and Facies. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

RIBA O.

1976 "Tectogenèse et sédimentation: deux modèles de discordances syntectoniques pyrénéennes." Bull. BRGM (2è Série), sect. I, no. 4: 383-401.

SCOTESE Ch. R.

1979 Continental Drif. Department of Geophysical Sciences, University of Chicago, 2nd edition.

STEINMANN G.

1929 Geologie von Peru. Karl Winter, Heidelberg, 448 p.

SIARB

Sociedad de Investigación del Arte Rupestre de Bolivia

La SIARB tiene los siguientes objetivos:

1. REGISTRO de sitios con arte rupestre.
2. DOCUMENTACIÓN de las pinturas y grabados.
3. INVESTIGACIÓN científica del arte rupestre.
4. PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN de los sitios.
5. DIVULGACIÓN del conocimiento sobre el arte rupestre. Se editarán un "Boletín" anual y las "Contribuciones al Estudio del Arte Rupestre Sudamericano".
6. ARCHIVO Y BIBLIOTECA sobre el tema.

Para mayor información pida la Hoja Informativa a cualquiera de estas dos direcciones:

Matthias Strecker SIARB Casilla 3091 La Paz - Bolivia
Roy Querejazu SIARB Casilla 4243 Cochabamba - Bolivia