

Nouvelle découverte d'empreintes laissées par des Dinosaures dans la Formation des Couches Rouges (bassin de Cuzco-Sicuani, Sud du Pérou) : conséquences stratigraphiques et tectoniques

Christophe Noblet, Giuseppe Leonardi, Philippe Taquet, René Marocco et Elmer Cordova

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 320, série II a,
p. 785 à 791,
1995

Résumé La découverte d'empreintes laissées par les Dinosaures vers le sommet de la Formation des Couches Rouges permet de préciser la stratigraphie du Sud du Pérou. La durée de la sédimentation continentale du bassin de Cuzco-Sicuani n'excéderait pas 20 Ma (Santonien-Paléocène) et non plus 45 Ma, comme cela était jusqu'à présent admis. Le bassin d'avant-pays de Cuzco-Sicuani est caractérisé par une déformation synsédimentaire essentiellement compressive pendant toute la durée de la sédimentation des « Couches Rouges ». En conséquence, une durée équivalente à celle de cette sédimentation peut être retenue pour ces événements tectoniques qui marquent ici le début de la surrection de la chaîne andine. La phase péruvienne, traditionnellement placée vers 85 Ma, représenterait ainsi le début de ces événements tectoniques.

Mots-clés : Dinosaures, Stratigraphie, Tectonique, Couches Rouges, Cuzco, Sicuani, Pérou.

Ch. N. : BHP Minerals,
11, rue de Pratmer, 56610 Arradon,
France ;

G. L. : Dorsoduro,
898, 30123 Venise, Italie ;

Ph. T. : Muséum National d'Histoire
Naturelle, Institut de Paléontologie,
UA 12 du CNRS, 8, rue de Buffon,
75005 Paris, France ;

R. M. : ORSTOM, 213, rue La-Fayette,
75480 Paris Cedex 10, France ;

E. C. : Universidad Nacional de San
Antonio Abad del Cuzco, Cuzco,
Pérou.

Abstract Another discovery of Dinosaur foot-prints in the Red Beds Formation (Cuzco-Sicuani basin, Southern Peru): stratigraphic and tectonic implications

The discovery of dinosaur foot-prints near the top of the Red Beds Formation allows a more precise definition of the stratigraphy of southern Peru. The sedimentation of the Cuzco-Sicuani basin lasted at most 20 Ma (Santonian-Paleocene) rather than 45 Ma as was thought until now. The Cuzco-Sicuani basin is a foreland basin characterized by synsedimentary deformation, mostly in a compressive tectonic regime, which affects the entire sequence. These tectonic events represent the beginning of the uplift of the Andes. Their duration could be considered as equivalent to the duration of the sedimentation in the area. The Peruvian phase, traditionally placed at about 85 Ma, would thus only represent the beginning of those tectonic events in the region.

Keywords: Dinosaurs, Stratigraphy, Tectonics, Red-Beds, Cuzco, Sicuani, Peru.

**Abridged
English
Version**

INTRODUCTION

IN southern Peru, voluminous non-marine deposits follow the first Andean tectonic movements of Senonian time (Audebaud, 1967; Audebaud *et al.*, 1973, 1976; Laubacher, 1978; Marocco, 1978; Mégard, 1978; Dalmay-

rac *et al.*, 1980). Up to now, it was considered that the sedimentation of the Red Beds Formation—defined by Noblet *et al.* (1987) in the Cuzco-Sicuani basin (figure 1) — was achieved during an inactive tectonic period lasting 45 Ma, and occurring between two major

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 42478 ex 1
Cote : B

09 OCT. 1995

Note

présentée par
Philippe Taquet.

remise le 13 octobre 1994,
acceptée après révision
le 6 février 1995.

short tectonic events (Laubacher, 1978; Marocco, 1978):

- the Peruvian phase at about 85 Ma (Steinmann, 1929; Mégard, 1978);
- the Incaïc phase at about 40 Ma (Chanove *et al.*, 1969; Audebaud *et al.*, 1976).

A Santonian to Upper Eocene age was attributed to the Red Beds Formation.

A review of this age is necessary since the discovery of new foot-print levels at the top of the Red Beds Formation. Previous foot-prints were already mentioned by Gregory (1916) at the base of the formation. Moreover, the Cuzco-Sicuani basin has been recognized as a foreland basin with synsedimentary deformations affecting the whole series (Noblet, 1985; Cordova, 1986; Noblet *et al.*, 1987). A revision of the duration of the tectonic events is also required.

DESCRIPTION OF THE FOOT-PRINTS

Three ichnological sites of similar stratigraphic position toward the top of the Red Beds Formation have been observed: K'Ayra and Paruro close to Cuzco, Langui next to Sicuani (figure 2).

- At the K'Ayra site is an isolated foot-print, of 13 cm in length, tridactyl and mesaxonian, which could, most probably, be attributed to a dinosaur from either Iguanodontidae or Hadrosauridae.

- The Paruro site corresponds to a subvertical bed of about 25 m² on which 8 animal tracks have been recognized. Three of them have been made by dinosaurs. The first one corresponds to an old or sick tridactyl biped (figure 4 a), probably a small carnosaur or a coelurosaur. The two others (figure 4 b and c) were made by a very small dinosaur (Ornithischian) comparable to *Atreipus* Olsen and Baird (1986).

- The Langui site corresponds to a subvertical bed of about 2 m², with three types of foot-print which could be attributed to dinosaurs. One of the tracks consisting of two foot-prints, 22 cm in length (figure 5, a1 and a2), could be that of a carnosaur or, less likely, that of an ornithopod with a particularly long III finger. The other types of foot-print (figure 5, b1 and b8) are tridactyl and mesaxonian. They are comparable to those of the Hadrosauridae

family described by Langston (1960) or to *Sinoichnites* Kuhn (1958). The third type of foot-print is tridactyl (figure 5, c1 to c4) and could be attributed to a coelurosaur.

AGE OF THE RED BEDS FORMATION

The presence of dinosaur foot-prints within the deposits implies a Cretaceous age for the Red Beds Formation, probably from Santonian (Laubacher and Marocco, 1990) to Maastrichtian, inclusive. Only the latest deposits, above the dinosaur foot-prints, could be of early Paleocene age. The sedimentation of the Cuzco-Sicuani basin did not exceed a duration of 20 Ma and not 45 Ma as was thought earlier (figure 4).

AGE OF THE TECTONICS

Synsedimentary tectonics has been already recognized within the Cuzco-Sicuani basin (Noblet, 1985; Cordova, 1986; Noblet *et al.*, 1987 a et b; Marocco and Noblet, 1990). The structural analysis of the basin permits identification of synsedimentary motions along N-S trending right-lateral strike slip faults, along E-W trending left-lateral strike slip faults and along NW-SE trending reverse faults. Those deformations result from a NE-SW trending foreshortening which was active during the duration of the sedimentation of the Cuzco-Sicuani basin.

The Peruvian phase is generally considered as a short tectonic event predating the non-marine sedimentation of the Red Beds Formation. In fact, it could correspond, in this area, to the beginning of a 20 Ma-long synsedimentary tectonic period.

According to the new stratigraphic data, the stratigraphic position of the non-dated "Paruro Conglomerate", which unconformably overlies the Red Beds Formation (figure 4), needs to be discussed. Until now, this conglomerate was considered to be equivalent to the Oligocene Puno Group of the Altiplano (Chanove *et al.*, 1969; Marocco, 1978). However, given the new data, two options should now be considered. First, the "Paruro Conglomerate" is equivalent to the Puno Group. This implies a sedimentary hiatus, of about 20 Ma, between the deposits of the Red Beds Formation and those of the Puno

Group. The unconformity between those deposits could result from the uppermost Eocene Incaic phase (Noble *et al.*, 1979). In the second option, the "Paruro Conglomerate" possesses an older age and corresponds to the Eocene Muñani Formation of the Altiplano. This conglomerate could be then considered as belonging to the same sedimentary cycle as the deposits of the Red Beds Formation. In such a case, the unconformity between those deposits could be explained by an ultimate "Peruvian" synsedimentary tectonic event during the Paleocene. This event could be more likely equivalent to the one described by Marocco *et al.* (1987) in Bolivia. Retaining this second option for the stratigraphic position of the "Paruro Conglomerate", the existence of the Incaic phase (at about 40 Ma), as described in the area of Cuzco and Sicuani (Marocco, 1978), would then be questioned.

SEDIMENTATION RATE

According to the decompacted thickness of the deposits, (about 8,000 m thick) and to the maximum duration of the sedimentation of 20 Ma, the average sedimentation rate is about 400 m/Ma which is in agreement with foreland basin dynamics (Blair and Bilodeau, 1988).

CONCLUSION

The discovery of dinosaur foot-prints toward the top of the Red Beds Formation modifies the stratigraphy of southern Peru. The sedimentation of the Cuzco-Sicuani basin did not exceed a duration of 20 Ma (Santonian-Paleocene) and not 45 Ma as was originally thought. The synsedimentary deformation, mostly in a compressive tectonic regime, was active during the entire life of the Cuzco-Sicuani foreland basin. The Peruvian phase would represent, in other places, only the beginning of those tectonic events.

INTRODUCTION

A la suite des premiers mouvements tectoniques andins du Sénonien, responsables du début de la surrection des Andes, d'importants dépôts continentaux se mettent en place dans le Sud du Pérou (Audebaud, 1967 ; Audebaud *et al.*, 1973, 1976 ; Laubacher, 1978 ; Marocco, 1978 ; Mégard, 1978 ; Dalmayrac *et al.*, 1980). Cette sédimentation débute par les dépôts de la Formation des Couches Rouges, définie par Noblet *et al.* (1987), dans le bassin de Cuzco-Sicuani (figure 1). Jusqu'à présent, il était admis que cet ensemble correspondait à une longue période de calme tectonique d'environ 45 Ma, comprise entre deux événements tectoniques majeurs de courte durée (Laubacher, 1978 ; Marocco, 1978). La phase péruvienne de Steinmann (1929), datée du Santonien (85 Ma) par Mégard (1978) dans le centre du Pérou, représente l'événement le plus ancien. Celui-ci ne semblait se manifester dans le secteur étudié que par le passage progressif d'une sédimentation marine à une sédimentation continentale. La phase incaïque (40 Ma), mise en évidence par la discordance du Groupe Puno de l'Oligocène

sur les « Couches Rouges » (Chanove *et al.*, 1969 ; Audebaud *et al.*, 1976), représente l'événement le plus jeune. L'âge de la Formation des Couches Rouges était alors compris entre le Crétacé terminal (Santonien) et l'Éocène supérieur.

Une nouvelle révision de l'âge de cette sédimentation est entreprise depuis la découverte, près du sommet de la Formation des Couches Rouges, de plusieurs niveaux à empreintes dont l'existence fut déjà mentionnée par Grégory (1916) à la base de cette même formation. Par ailleurs, les études sédimentologiques et tectoniques du bassin de Cuzco-Sicuani mettent en évidence le caractère syntectonique de la totalité de la sédimentation des « Couches Rouges » (Noblet, 1985 ; Cordova, 1986 ; Noblet *et al.*, 1987) dans un bassin de type avant-pays. Ceci implique également la révision de la durée de l'événement tectonique qui accompagne ces dépôts.

DESCRIPTION DES PISTES ET DES EMPREINTES

Trois sites ichnologiques, de positions stratigraphiques sensiblement identiques, sont présentés : K'Ayra et Paruro près de

Figure 1 Localisation des sites ichnologiques de la Formation des Couches Rouges du bassin de Cuzco-Sicuani.

Location map showing the distribution of the ichnological sites of the Red Beds Formation in the Cuzco-Sicuani Basin.

Figure 2 Localisation des niveaux à empreintes dans la colonne lithologique de la Formation des Couches Rouges.

Location of the foot-print beds within the lithologic column of the Red Beds Formation.

Figure 3 Empreinte du site de K'Ayra.

Foot-print of the locality of K'Ayra.

Figure 4 Site de Paruro : les pistes a b et c sont des empreintes laissées par des Dinosaures.

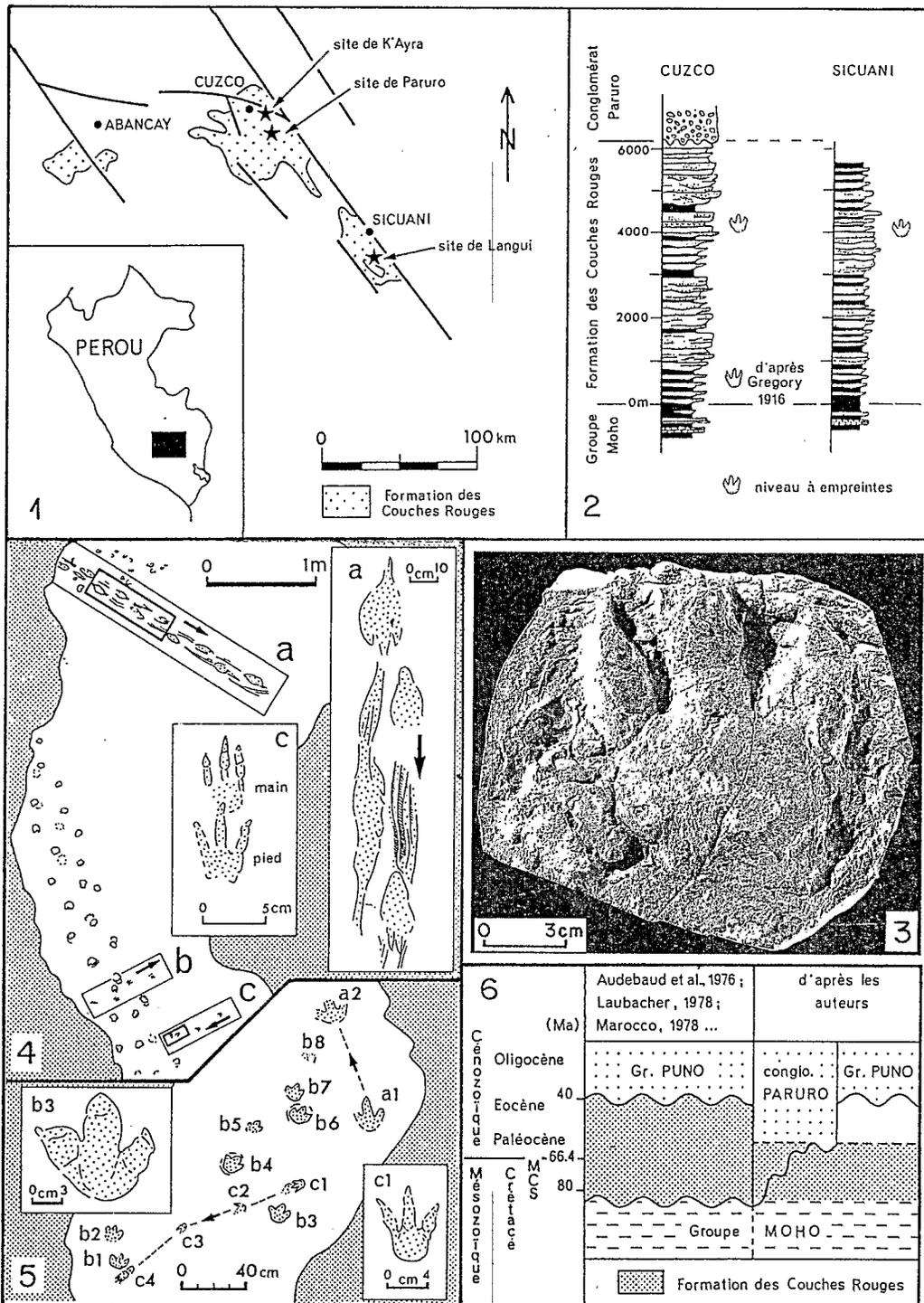
Locality of Paruro: tracks a b and c are Dinosaur foot-prints.

Figure 5 Site de Langui : empreintes laissées par des Dinosaures.

Dinosaur foot-prints of the locality of Langui.

Figure 6 Stratigraphie de la Formation des Couches Rouges.

Stratigraphy of the Red Beds Formation.



Cuzco et Langui près de Sicuani. Ils se situent tous vers 4 000 m au-dessus de la base de la formation dont la puissance totale dépasse 6 000 m (figure 2).

Le site de K'Ayra (figure 3)

Il comprend une empreinte isolée, de 13 cm de long, tridactyle et mésaxonienne qui présente une forme plus longue que

large avec une grande pelote plantaire et trois doigts spatulés. Les extrémités des doigts II et IV sont pointues. Le médian (III) est plus long mais incomplet. Chaque doigt présente une unique pelote ou callosité. Selon toutes probabilités, cette empreinte peut être attribuée à un Dinosaurien soit Iguanodontidae soit Hadrosauridae.

Le site de Paruro (figure 4)

Il correspond à une dalle subverticale de 25 m² environ, sur laquelle au moins 8 pistes d'animaux ont été reconnues. Trois de ces pistes ont fourni des empreintes laissées par des Dinosaures. La première (figure 4 a) correspond à un animal malade ou très vieux, traînant les pieds. Il s'agit d'un bipède tridactyle à doigts très pointus, probablement attribuable à un petit carnosure ou un coelurosaurien. Les deux autres pistes (figure 4 b et c) correspondent à un tout petit Dinosaurien, probablement semi-bipède ou quadrupède, qui pourrait être un minuscule ornithischien. Cette forme est comparable à *Atreipus* Olsen et Baird (1986).

Le site de Langui (figure 5)

Il correspond à une dalle subverticale d'environ 2 m² et située à 4 650 m d'altitude. Elle comprend trois types d'empreintes attribuables à des Dinosaures :

- une piste comprenant deux empreintes de 22 cm de long (figure 5, a1 et a2) qui sont attribuables, soit à un carnosure de taille moyenne soit, hypothèse moins probable, à un ornithopode avec un doigt III particulièrement long ;

- un ensemble de huit empreintes (figure 5, b1 à b8) correspondant à trois ou quatre individus identiques. Les empreintes sont tridactyles, mésaxoniennes et présentent des doigts-sabots. La taille des empreintes est d'environ 11 cm. Elles sont attribuables selon toutes probabilités à des Dinosaures de la famille Hadrosauridae. Ces empreintes sont en effet comparables à celle attribuée à cette famille par Langston (1960) ou bien encore à *Sinoichnites* Kuhn (1958) ;

- une piste comprenant quatre empreintes tridactyles très minces (figure 5, c1

à c4) mesurant chacune 8 cm de long et qui sont attribuables à un coelurosaurien.

L'ÂGE DE LA FORMATION DES COUCHES ROUGES

L'existence d'empreintes laissées par des Dinosaures implique que l'âge de la Formation des Couches Rouges est crétacé, probablement santonien (Laubacher et Marocco, 1990) à maestrichtien inclus. Seuls les derniers dépôts au-dessus des niveaux à empreintes pourraient être d'âge paléocène inférieur. La durée de la sédimentation des « Couches Rouges » ne devrait donc pas excéder 20 Ma, et non plus 45, comme il était jusqu'à présent admis (figure 4).

L'ÂGE DE LA TECTONIQUE

Le caractère syntectonique de la sédimentation des « Couches Rouges » a été mis en évidence (Noblet, 1985 ; Codova, 1986 ; Noblet et al., 1987 a et b ; Marocco et Noblet, 1990). L'analyse structurale du bassin de Cuzco-Sicuani a permis d'établir la présence de grandes structures plissées synsédimentaires pouvant affecter l'ensemble des dépôts. La formation de ces structures est liée à des mouvements synsédimentaires décrochants dextres et sénestres, le long de failles de directions respectives N-S et E-W et inverses le long de failles de direction NW-SE. Ces déformations sont le résultat d'un raccourcissement de direction NE-SW pendant toute la durée de la sédimentation.

La phase péruvienne, généralement considérée comme un événement de courte durée et antérieur aux dépôts continentaux de la Formation des Couches Rouges, correspondrait en fait ici au début d'un événement tectonique de même durée que cette sédimentation, soit au maximum 20 Ma.

Ces nouvelles données d'ordre stratigraphique remettent en question l'âge du « Conglomérat Paruro », non daté et discordant sur les « Couches Rouges » (figure 4). Ce conglomérat est considéré jusqu'à présent comme l'équivalent du Groupe Puno de l'Altiplano (Marocco, 1978) d'âge oligocène

(Chanove et al., 1969). Deux remarques peuvent être faites concernant l'âge du Conglomérat Paruro :

– soit il est bien équivalent aux dépôts du Groupe Puno et il existe alors, dans le bassin de Cuzco-Sicuani, un hiatus sédimentaire d'une durée d'environ 20 Ma entre les dépôts des « Couches Rouges » et ceux du Groupe Puno. Dans ce cas, la discordance entre ces dépôts serait probablement due à la phase incaïque vers 40 Ma (Noble et al., 1979) ;

– soit il est plus ancien (équivalent aux dépôts de la Formation Muñani d'âge éocène de l'Altiplano) et correspond au même cycle sédimentaire que celui des « Couches Rouges ». Dans ce cas, la discordance entre ces deux formations correspondrait à une dernière manifestation de la tectonique syn-sédimentaire péruvienne vers le Paléocène. Cet événement pourrait alors être équivalent à celui décrit en Bolivie par Marocco et al. (1987). Cette seconde interprétation remettrait en question l'existence de la phase incaïque à 40 Ma, telle qu'elle a été décrite dans ces régions (Marocco, 1978).

VITESSE DE SÉDIMENTATION

En tenant compte de la décompaction, la puissance totale des dépôts atteint au moins 8 000 m pour une durée maximale de sédimentation de 20 Ma. La vitesse moyenne de sédimentation serait donc environ de 400 m/Ma, ce qui est en accord avec la dynamique des bassins d'avant-pays (Blair et Bilo-deau, 1988).

CONCLUSION

La nouvelle découverte de traces laissées par des Dinosaures vers le sommet de la Formation des Couches Rouges modifie sensiblement la stratigraphie du Sud du Pérou. La durée de vie du bassin des « Couches Rouges », que l'on estimait à 45 Ma, n'excède pas en réalité 20 Ma. La tectonique syn-sédimentaire qui accompagne la formation de ce bassin d'avant-pays, s'étend sur une durée équivalente. La phase péruvienne ne représenterait, ailleurs, que le début de ces événements tectoniques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUDEBAUD, E., 1967. Étude géologique de la région de Sicuani-Ocongate (Cordillère Orientale du sud péruvien), *Thèse 3^e cycle*, Institut Dolomieu, Univ. Joseph Fourier, Grenoble, 59 p.
- AUDEBAUD, E., CAPDEVILLA, R., DALMAYRAC, B., DEBELMAS, J., LAUBACHER, G., LEFÈVRE, C., MAROCCO, R., MARTINEZ, C., MATTAUER, M., MÉGARD, F., PAREDES, J. et TOMASI, P., 1973. Les traits géologiques essentiels des Andes centrales (Pérou-Bolivie), *Revue de Géographie physique et de Géologie Dynamique*, (2), XV, fasc. 1-2, p. 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, p. 223-294.
- BLAIR, T. C. et BILODEAU, W. L., 1988. Development of tectonic cyclothems in rift, pull-apart, and foreland basins: Sedimentary response to episodic tectonism, *Geology*, 16, p. 517-520.
- CHANOVE, G., MATTAUER, M. et MÉGARD, F., 1969. Précisions sur la tectonique tangentielle des terrains secondaires du massif de Pirin (NW du lac Titicaca, Pérou), *C. R. Acad. Sci. Paris*, 268, série D, p. 1698-1701.
- CORDOVA, E., 1986. Un bassin intramontagneux andin péruvien. Les Couches Rouges du bassin de Cuzco (Maastrichtien-Paléocène), *Thèse de 3^e cycle*, Univ. Pau et des Pays de l'Adour, Pau, 272 p.
- DALMAYRAC, B., LAUBACHER, G., et MAROCCO, R., 1980. Géologie des Andes péruviennes, *Trav. et doc. ORSTOM*, 122, 501 p.
- GREGORY, H., 1916. Geologic reconnaissance of the Cuzco Valley, Peru, *American Journal of Science*, 4th series, 2, 241.
- KUHN, O., 1958. *Die Fährten der vorzeitlichen Amphibien und Reptilien*, Verlagshaus Meisenbach K. G., Bamberg, 64 p.
- LANGSTON, W. Jr., 1960. *A Hadrosaurian Ichnite*, Nat. Hist. Papers, Nat. Mus. of Canada, p. 1-9.
- LAUBACHER, G., 1978. Géologie de la Cordillère orientale et de l'Altiplano au nord-ouest du lac Titicaca (Pérou), *Trav. et doc. ORSTOM*, 95, 217 p.
- LAUBACHER, G. et MAROCCO, R., 1990. La Cuenca cretácica del Altiplano Peruano. Litoestratigrafía e integración secuencial, *Bol. Soc. Geol. Perú*, 81, p. 33-46.

- MAROCCO, R., 1978. Un segment de la chaîne des Andes péruviennes : la déflexion d'Abancay. Étude géologique de la Cordillère orientale et des Hauts plateaux entre Cuzco et San Miguel - sud du Pérou (12°30-14°S), *Trav. et doc. ORSTOM*, 94, 195 p.
- MAROCCO, R., SEMPERE, T., CIRBIAN, M. et OLLER, J., 1987. Mise en évidence d'une déformation paléocène en Bolivie du sud. Sa place dans l'évolution géodynamique des Andes centrales, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 304, série II, p. 1139-1143.
- MAROCCO, R. et NOBLET, C., 1990. Sedimentation, tectonism and volcanism relationships in two Andean basins of southern Peru, *Geol. Rundschau*, 79/1, p. 111-120.
- MÉGARD, F., 1978. Étude géologique des Andes du Pérou central, *Mém. ORSTOM*, 86, 310 p.
- NOBLE, D., MCKEE, E. et MÉGARD, F., 1979. Early Tertiary "Incaic" tectonism, uplift, and volcanic activity, Andes of central Peru, *GSA Bull.*, 1, 90, p. 903-907.
- NOBLET, C., 1985. Analyse sédimentologique des Couches Rouges sud péruviennes, Rap. ined., ORSTOM, Paris, 64 p.
- NOBLET, C., MAROCCO, R. et DELFAUD, J., 1987 a. Analyse sédimentologique des « Couches Rouges » du bassin intramontagneux de Sicuani (sud du Pérou), *Bull. Inst. Fr. Et. And.*, XVI, 1-2, p. 55-78.
- NOBLET, C., SERRANE, M., CORDOVA, E. et MAROCCO, R., 1987 b. La Formation des « Couches Rouges » de Cuzco (sud du Pérou) : sédimentation syntectonique, Séminaire « Géodynamique des Andes centrales », ORSTOM, Paris, p. 60.
- OLSEN, P. E. et BAIRD, D., 1986. The ichnogenus *Atreipus* and its significance for Triassic biostratigraphy. In : *The beginning of the Age of Dinosaurs*, PADIAN, K., éd., Cambridge Univ. Press, p. 61-97.
- STEINMANN, G., 1929, *Geologie von Peru*, Winter, K., éd., Heidelberg, 448 p.