

CONVENIO DE COOPERACION CIENTIFICA UNI-ORSTOM
CONVENTION DE COOPERATION SCIENTIFIQUE UNI-ORSTOM
1983 - 1988

INFORME FINAL

RAPPORT FINAL

III

DINAMICA DE LA SEDIMENTACION DEL CRETACEO
DE LOS ANDES CENTRALES

---oOo---

DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DU CRETACE
DES ANDES CENTRALES

N. MOULIN

LIMA 1988

INTRODUCTION

A) Orientation de l'étude

L'essentiel de ce travail consiste en l'étude sédimentaire de la plate-forme Crétacé inférieur dans les Andes Centrales. Néanmoins, d'autres études complémentaires ont été réalisées, de manière ponctuelle, à Lima pour la Côte et à Tarapoto pour la partie amazonienne.

ANDES : A la suite de la première campagne de terrain réalisée avec Michel SEGURET en septembre 1986, il avait été convenu de limiter la zone d'étude à la région comprise entre Morococha, La Oroya, Huancayo et Chaucha (fig.1), afin de pouvoir réaliser une étude de la plate-forme crétacée suffisamment précise, tout en couvrant une région suffisante pour être représentative de cette plate-forme à l'échelle régionale.

Les formations étudiées couvrent l'ensemble du Crétacé inférieur, du Néocomien à l'Albien moyen (formations Goyllarisquisga, Pariahuanca, Chulec et Pariatambo). Les formations Jumasha et Celendín ne sont pas étudiées, car leur étude aurait impliqué une limitation importante du nombre d'affleurements étudiables, ce qui aurait été préjudiciable à l'étude de la dynamique de la plate-forme à l'échelle régionale.

Parallèlement à l'étude des formations crétacées, nous avons aussi réalisé l'étude des faciès des formations Cercapuquio et Chaucha (Bajocien-Bathonien) afin de reconstituer leur dynamique sédimentaire, ce qui devrait permettre de mieux comprendre "pourquoi" et "comment" s'est produit l'arrêt généralisé de la sédimentation Jurassique moyen dans les Andes.

Le travail repose sur l'étude précise et exhaustive des faciès sédimentaires, détritiques et carbonatés, d'un certain nombre de coupes choisies pour leur situation intéressante et leur qualité d'affleurement. Le travail sur le terrain est principalement constitué par le relevé de coupes sédimentologiques "banc par banc", accompagné d'un échantillonnage et dans certains cas d'une étude plus précise de faciès sédimentaires particuliers. L'analyse de ces études détaillées doit permettre de reconstruire l'histoire dynamique de la plate-forme pré-andine.

Les affleurements retenus initialement étaient au nombre de sept (notés 6, 7, 13, 15, 19, 20 et 23 sur la fig. 1), mais finalement 23 affleurements ont été étudiés. En effet, avec l'avancement du travail, j'ai été amené à compléter l'étude de ces coupes premièrement retenues par 4 coupes détaillées supplémentaires (notées 8, 9, 17 et 21), et par 12 coupes secondaires qui permettent de suivre les variations d'épaisseur des formations, et essentiellement des formations détritiques Goyllarisquisga et Pariahuanca. On constate en effet que les variations d'épaisseur sont minimales pour les formations carbonatées Chulec et Pariatambo, alors qu'elles sont importantes pour la formation Goyllarisquisga, et non négligeables pour la formation Pariahuanca. Ces coupes secondaires, en plus des

variations d'épaisseur des formations et lorsque l'affleurement le permet, comprennent des observations de détail essentielles: mesures de directions de courant, directions de dykes clastiques, failles synsédimentaires, etc., et comportent aussi des observations sur les faciès sédimentaires.

La figure 2 présente une synthèse de l'ensembles des coupes relevées.

LIMA : Il avait été aussi prévu l'examen des formations sédimentaires du Crétacé inférieur de Lima, dont la corrélation avec le Crétacé des Andes reste délicate. En effet, plusieurs travaux existent sur la stratigraphie des formations crétacées de la région de Lima, mais jusqu'à ce jour aucune étude des faciès sédimentaires de ces formations n'a encore été réalisée. Il était donc prévu de mettre l'accent sur l'étude des faciès sédimentaires de ces formations.

Une étude détaillée des faciès (stratifications sigmoïdes) de la formation gréseuse Salto del Fraile, datée du Valanginien, a permis de montrer clairement l'origine tidale de la sédimentation.

Nous avons aussi fait une révision des faciès sédimentaires observables au long de la côte, au sud de Lima, et qui correspondent aux formations Salto del Fraile, la Herradura et Marcavilca (en partie).

TARAPOTO: Grâce à l'aide de la compagnie Petro-Perú, j'ai pu aller observer les faciès des formations crétacées qui affleurent dans la partie amazonienne, et ainsi avoir une idée de la dynamique de la plate-forme crétacée à l'échelle du millier de kilomètres.

B) Les premiers résultats

* Aperçu de la dynamique sédimentaire de la plate-forme crétacée.

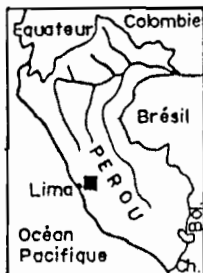
Sur le groupe Pucará carbonaté (Trias-Lias) reposent, parfois en discordance parallèle, les formations Cercapuquio détritique et Chaucha carbonatée (Bajocien-Bathonien), dont les épaisseurs sont très variables: soit que la sédimentation ait été réduite, soit que ces formations aient été érodées pendant la longue période de non-dépôt (Callovien-Tithonique).

Au Néocomien, la région des Hauts-Plateaux est à nouveau le siège d'une sédimentation de plate-forme, continentale puis marine.

A partir du Santonien, une régression généralisée résultant des premiers mouvements compressifs andins aboutit à la sédimentation continentale molassique des "Couches Rouges".

Cette plate-forme présente l'évolution continue depuis les environnements de dépôts fluviatiles jusqu'à la plate-forme carbonatée, en passant par des milieux littoraux grésocarbonatés.

La plupart des données recueillies restent à exploiter. Néanmoins, pour chacune des formations étudiées, les observations recueillies font d'ores et déjà apparaître certaines



- Ta Tarma
- La La Oroya
- Mo Morococha
- Cp Chacapaipa
- Ja Jauja
- Li Llocllapampa
- Co Cochabamba
- Az Azulcocha
- Tt Tanta
- Ch Chaucha
- To Tomas
- Ya Yanacancha

Fig.1 - Localisation des affleurements étudiés

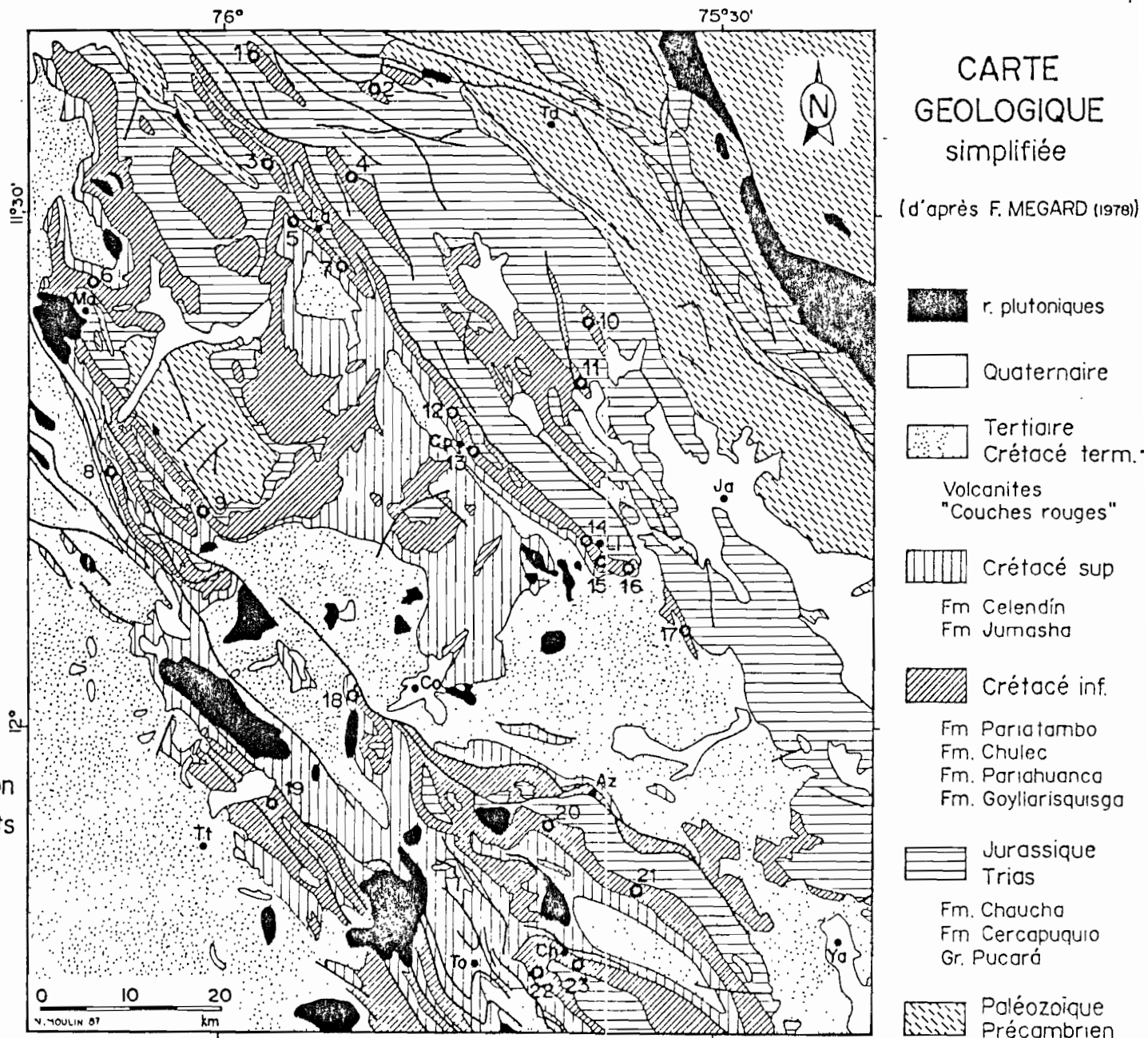
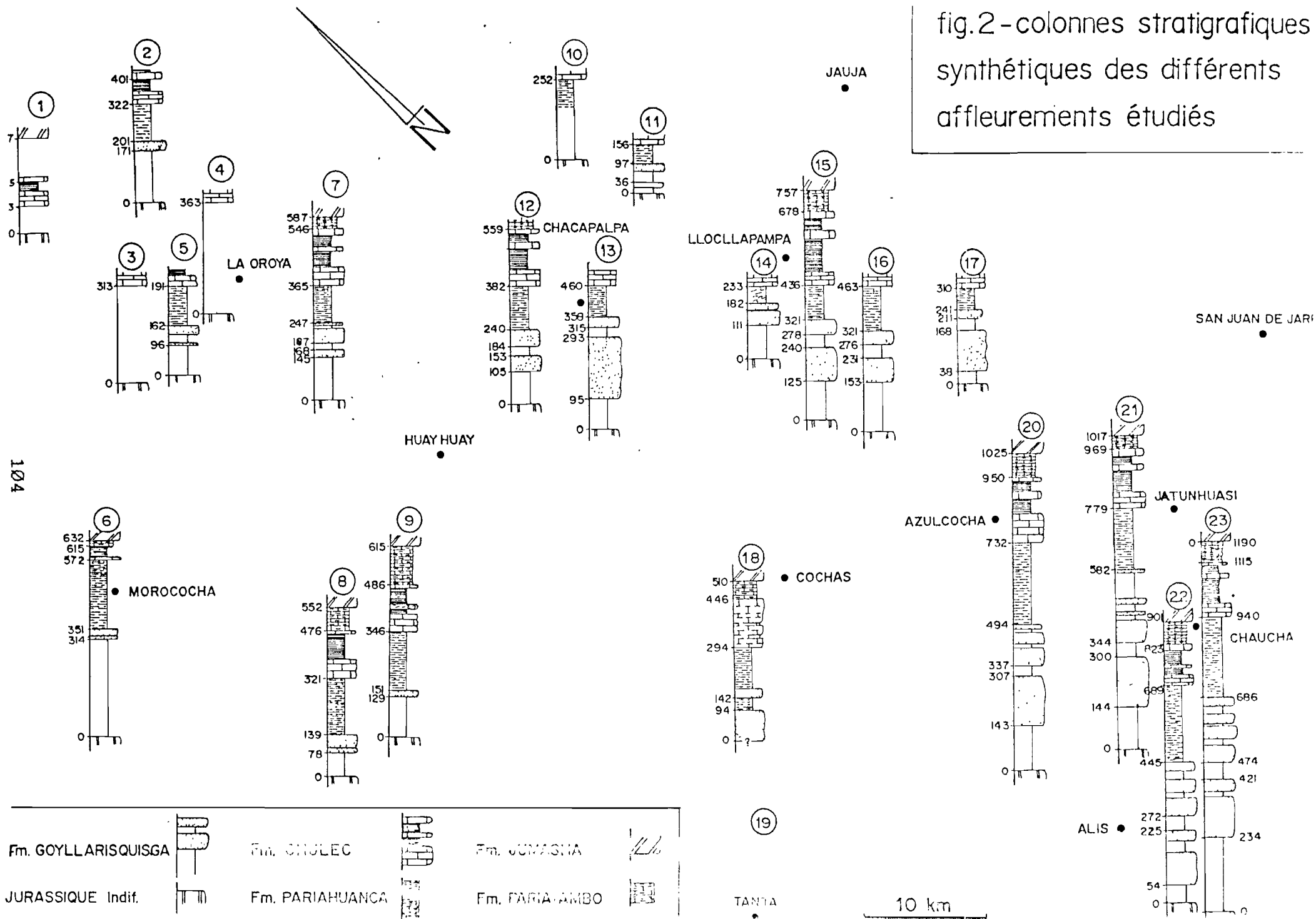


fig.2 - colonnes stratigraphiques synthétiques des différents affleurements étudiés



caractéristiques et constantes à l'échelle de la région étudiée. Dans les paragraphes suivants, nous donnons les grands traits des différentes formations étudiées et décrivons les principaux faciès sédimentaires qui les composent.

* Quelques études détaillées de faciès

Certaines études de faciès ont déjà été réalisées et ont donné lieu à trois communications au cours de différents congrès (copies jointes). Les faciès étudiés sont:

- les faciès fluviatiles et marins de La Oroya
- les stratifications sigmoïdes de Lima
- les levées de Chaucha.

II.- LES FACIES CONTINENTAUX ET MARINS DU JURASSIQUE MOYEN

A) La formation Cercapuquio

Selon les affleurements, la formation Cercapuquio suit la sédimentation du Groupe Pucará sous-jacent, soit en continuité (La Oroya), soit en discordance érosionnelle (Llocllapampa, Chaucha).

La formation Cercapuquio présente des faciès marins évaporitiques entre La Oroya et Llocllapampa, et des faciès fluviatiles du type "braided" vers le sud (coupes 20, 21, 22 et 23). Les dépôts fluviatiles montrent des faciès assez comparables à ceux observés à la base de la formation Goyllarisquisga, avec de petits chenaux peu profonds et une plaine d'inondation bien développée à nombreux niveaux de débordement intercalés dans des pélites rouges. Ces dernières correspondraient à un environnement climatique semi-aride.

Les variations latérales de faciès continentaux à marins, se font grosso modo du sud vers le nord. Elles indiqueraient donc que la plate-forme marine était alors ouverte vers le nord et le nord-est de la région étudiée. Cette constatation est en apparente contradiction avec les variations d'épaisseur de ces formations, qui va croissant vers le sud. A l'ouest (affleurements 6, 8 et 9), la formation Cercapuquio est absente, soit par érosion, soit par non-dépôt.

B) La formation Chaucha

La formation Chaucha est constituée par des carbonates de faciès littoraux (La Oroya et Llocllapampa), de faciès dolomitiques de plate-forme restreinte (Chaucha), ou de faciès évaporitiques à gypse, anhydrite et dolomie (Azulcocha).

Malgré la grande diversité des faciès observés, ceux-ci restent toujours marins et carbonatés et correspondent à des environnements marins de profondeur faible à nulle, avec une probable influence de la mer ouverte, plus marquée vers le nord-est.

Comme dans le cas de la formation Cercapuquio, les variations d'épaisseur constatées vont croissant vers le sud-sud-ouest.

L'absence de cette formation, que l'on peut observer dans certaines zones, peut être expliquée soit par le non-dépôt de celle-ci, soit par une érosion précédant la sédimentation fluviatile néocomienne. Or, on constate que l'absence de la formation Chaucha est généralement associée à l'absence de la formation Cercapuquio sous-jacente. De plus, on peut observer en plusieurs endroits (La Oroya, Llocllapampa, Azulcocha) que le sommet de la formation Chaucha est entaillé par une surface d'érosion.

Il semble donc raisonnable de supposer que les formations Cercapuquio et Chaucha se sont déposées dans toute la région étudiée, avec des variations d'épaisseur parfois importantes, et que leur absence observée localement est le résultat de l'importante période d'érosion qui s'est développée jusqu'à l'arrivée de la sédimentation gréseuse néocomienne.

III.- LES FACIES CONTINENTAUX FLUVIATILES DU CRETACE INFÉRIEUR

A) La formation Goyllarisquisga

Les dépôts fluviatiles en tresse ("braided") de la formation Goyllarisquisga reposent en discordance parallèle sur les carbonates de plate-forme sous-jacents, soit du Groupe Pucará (Trias-Bathonien), soit de la formation Chaucha. La mise en place de cette sédimentation fluviatile se déroule en deux phases successives:

B) La base de la formation Goyllarisquisga

Cette première période de sédimentation fluviatile est caractérisée par des dépôts de granulométrie fine à très fine. Les faciès de la base sont essentiellement de plaine alluviale, à pélites rouges et rares intercalations gréseuses de faciès de débordement (séquences à laminations horizontales, rides ascendantes, rides). La proportion des chenaux va croissant vers le haut où les intervalles pélitiques sont rares. On observe aussi dans des proportions très variables des intercalations de faciès marins à laminations horizontales, à rides de vagues ou de marées, et même à stratifications sigmoïdes (Llocllapampa). Ces faciès marins ont une granulométrie identique et des structures très comparables aux faciès fluviatiles, ce qui les rend généralement difficiles à distinguer lorsqu'ils sont peu représentés.

Cette sédimentation s'est développée dans un environnement climatique semi-aride, comme l'atteste la forte oxydation des pélites.

Ces niveaux présentent fréquemment un léger ciment calcaire. Nous n'avons pas observé de paléosol à croûte calcaire ou de caliche, ce qui nous amène à attribuer la présence de ce ciment calcaire, non pas à une paléoaltération, mais plutôt à l'altération des carbonates jurassiques affleurant dans des régions voisines, ou à des circulations d'eaux chargées en carbonates lors de leur passage dans les séries carbonatées sous-jacentes.

C) Le sommet de la formation Goyllarisquisga

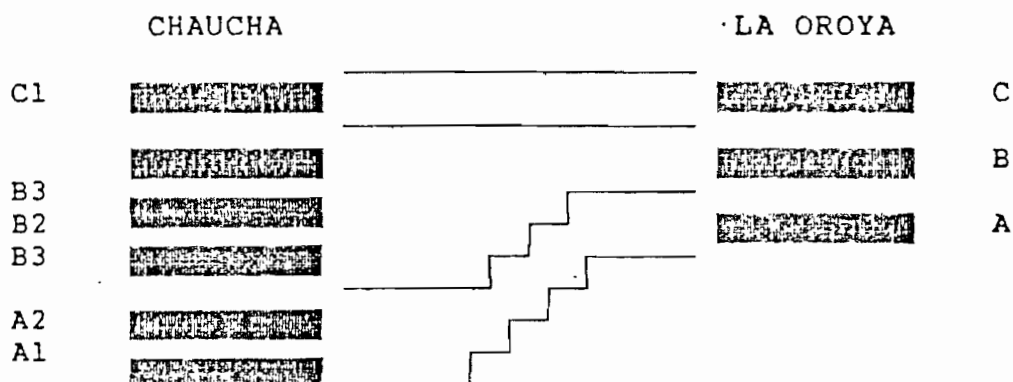
Le début de la deuxième phase de la sédimentation fluviatile est souligné par un changement brutal dans la dynamique fluviatile, bien que l'environnement de dépôt reste de type "braided" ("en tresse"). Cette variation importante est observable dans toute la région étudiée (entre les latitudes de la Oroya et de Huancayo), et correspond au dépôt de grès moyens à très grossiers, et des niveaux conglomératiques à troncs d'arbres, actuellement silicifiés, pouvant atteindre de grandes tailles (6 m de long à Azulcocha, 1,5 m de diamètre à Chacapa).

La présence parfois importante de restes végétaux, sous la forme de branches ou de troncs d'arbres dans les grès, ou de charbons dans les niveaux silteux, ainsi que des études palynologiques (E. Villavicencio, 1987), montrent que cette seconde phase de la sédimentation fluviatile s'est développée sous un climat humide à végétation sans doute importante.

Contrairement aux dépôts fluviatiles antérieurs, où les chenaux sont intercalés avec des dépôts de plaine alluviale, il s'agit d'épandages fluviatiles en tresse qui constituent de grosses barres quartzitiques massives pouvant atteindre 30 à 150 m d'épaisseur, latéralement très continues et essentiellement formées par des laminations en auge et des laminations obliques planes de barres interchenal. Ces barres gréseuses sont séparées par des dépôts silto-gréseux à tendance carbonneuse et à faciès de crevasse, débordement ou levée. Ces faciès de levées ont pu être étudiés très en détail à Chaucha, où l'on bénéficie d'affleurements d'une exceptionnelle qualité, qui nous ont permis de réaliser une étude très précise des faciès et de la géométrie (voir fig.3), sur une distance d'un kilomètre environ.

Parallèlement à la diminution d'épaisseur de la formation Goyllarisquisga, on constate une réduction du nombre de barres quartzitiques du sud-ouest vers le nord-est. Ainsi, on dénombre à Chaucha 6 barres gréseuses alors qu'il n'en existe plus que trois à La Oroya. On constate en fait que la première barre de La Oroya correspond à l'amalgamation des 2 barres inférieures de Chaucha. De la même manière, la seconde et la troisième barres de La Oroya correspondent à Chaucha, respectivement, au regroupement des barres 3, 4 et 5 d'une part, et à la sixième barre d'autre part.

Le diagramme suivant résume les variations observées entre La Oroya et Chaucha, où le nombre de barres (A, B et C) reste inchangé, malgré la forte différence dans le nombre total de barres gréseuses (3 à La Oroya et 6 à Chaucha).



Cette alternance de barres gréseuses et de combes silteuses ne semble pas correspondre à des variations latérales de faciès, mais plutôt à de nombreux changements de la dynamique fluviatile à l'échelle de la plate-forme, qui pourraient être la conséquence d'oscillations relatives du niveau marin, comme le suggèrent les rares intercalations marines observées à La Oroya entre les barres gréseuses A et B, et B et C.

D) Remarque sur l'existence du "Géanticlinal du Marañon"

V. Benavides (1956) a défini le "Géanticlinal du Marañon" dans les Andes Nord du Pérou, comme un haut-fond ou une zone émergée, situé aux environs de la Cordillère Orientale actuelle, et qui séparait, au Crétacé inférieur, les régions actuellement occupées par les Andes et le Bassin Amazonien. Ce concept de géanticlinal, bien qu'hors d'usage depuis bientôt deux décennies, a par la suite été repris par la plupart des auteurs, toujours sans réaliser de véritable étude des faciès sédimentaires. Dans la région étudiée, ce "Géanticlinal du Marañon" était jusqu'à maintenant considéré comme une zone émergée au Néocomien, qui occupait l'emplacement actuel de la Cordillère Orientale, et qui coupait toute communication avec l'est. L'existence, au Crétacé inférieur, de cette véritable barrière, semble être basée sur l'absence d'affleurement du Crétacé dans la Cordillère Orientale, et sur la disparition apparente des faciès fluviatiles vers l'est.

Or, il n'est pas raisonnable de retenir comme argument l'absence d'affleurement pour l'existence de cette barrière, puisqu'elle ne signifie pas qu'il y ait eu non-dépôt. Il est d'ailleurs curieux de constater que l'existence de cette barrière n'ait pas été retenue pour le Jurassique, bien qu'il n'affleure pas non plus dans la Cordillère Orientale, où l'érosion atteint les niveaux précambriens.

De plus, sur la figure 2, on peut remarquer que l'affleurement noté 1 est le seul affleurement étudié pour lequel il est imaginable qu'il n'y ait pas eu de dépôt fluviatile au Néocomien, ce qui n'est possible que si l'ensemble de la lacune d'observation, entre le Jurassique et la formation Chulec, était entièrement occupé par la formation Pariahuanca. Par ailleurs, on constate qu'il y a eu une sédimentation fluviatile néocomienne, même si celle-ci est parfois d'épaisseur réduite. On peut

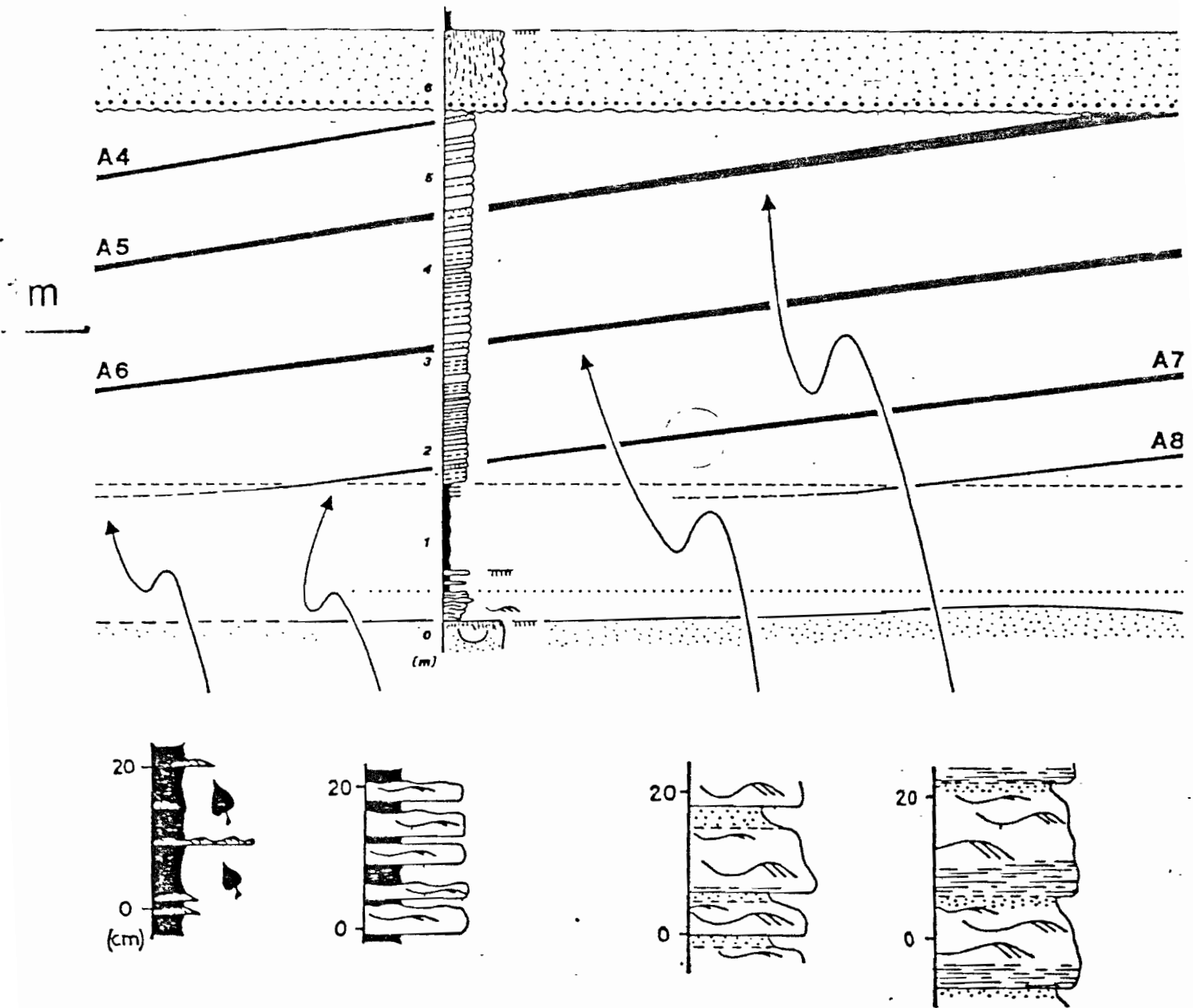
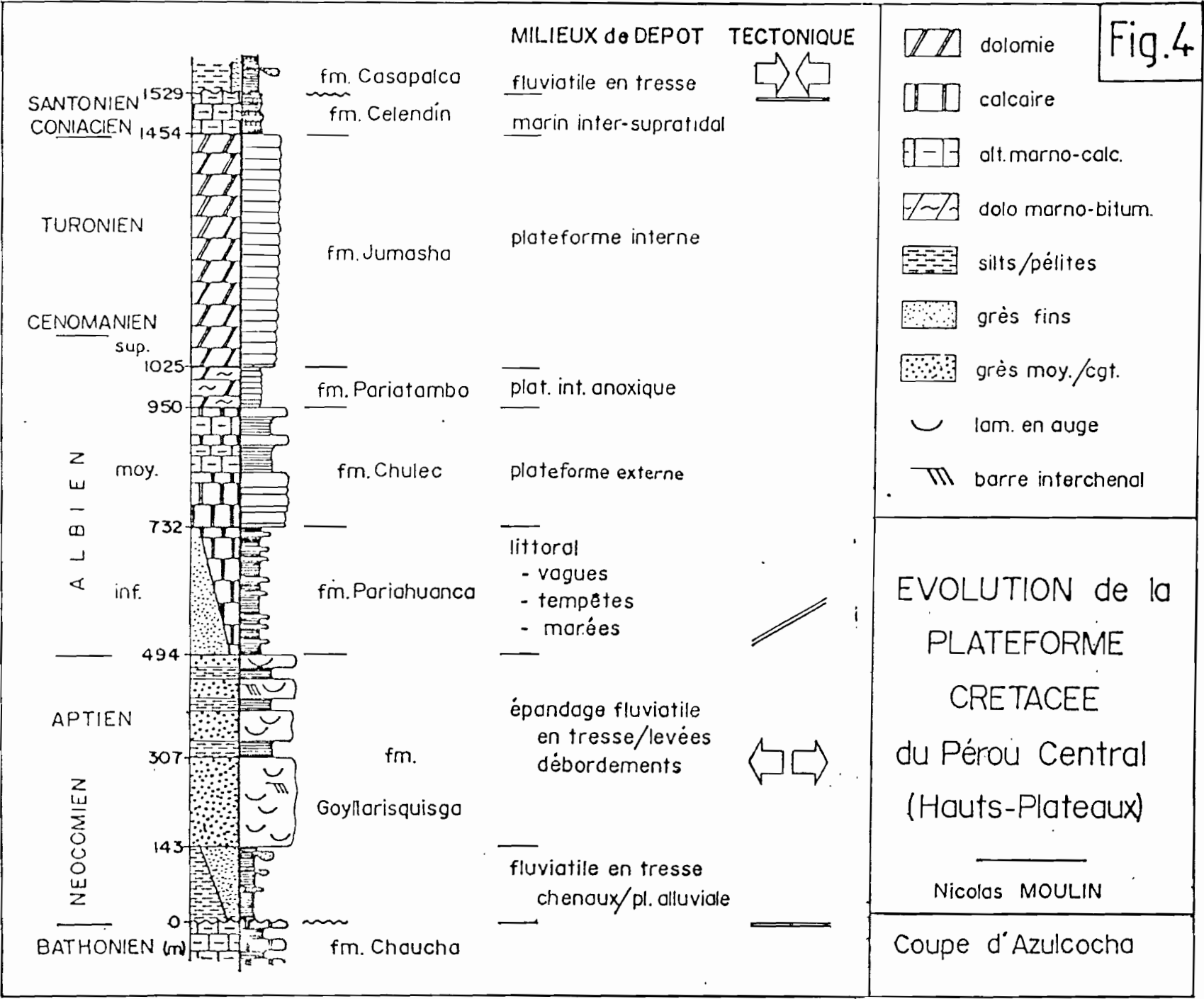


Fig.3- Géométrie et faciès dans les levées fluviales de la formation Goyllarisquisga (Chaucha)

Fig.4



seulement remarquer que les dépôts fluviatiles sont plus épais dans la partie sud-est, mais les variations d'épaisseur de ces dépôts ne permettent pas de supposer qu'ils vont disparaître vers le nord-est, comme on le prévoyait avec le "Géanticlinal du Marañon". D'autre part, les premiers résultats sur les sens de courant donnés par les figures sédimentaires relevées dans la formation Goyllarisquisga, entre la Oroya et Llocllapampa, montrent clairement des orientations vers le sud-ouest, avec des variations comprises entre le nord et le sud-est.

L'ensemble de ces remarques et de ces observations nous amène donc à douter fortement de l'existence, au Crétacé inférieur, de cette barrière ou "Géanticlinal du Marañon", au moins dans la région des Andes Centrales.

IV) LES FACIES MARINS DU CRETACE INFERIEUR

La sédimentation marine, grés-carbonatée puis carbonatée, suit trois étapes principales et aboutit avec les premiers mouvements tectoniques compressifs, au dépôt des "Couches Rouges" continentales.

A) La formation Pariahuanca

La sédimentation de la formation Pariahuanca (Aptien sup.? - Albien inf.) se distingue par la présence simultanée de dépôts carbonatés et détritiques. Les niveaux détritiques sont déposés, soit sous l'action des vagues et/ou des marées, soit sous l'action des tempêtes. On constate aussi qu'à la base les faciès détritiques sont prépondérants et qu'ils disparaissent progressivement vers le sommet, où la série est entièrement carbonatée avec de rares intercalations de niveaux gréseux de tempête.

Les séquences carbonatées sont régressives et peu fossilifères. Pour la plupart, la texture varie des marnes au mudstone-wackestone avec une dominante marneuse, mais on peut rencontrer aussi des niveaux oolitiques (faciès de plage ou de cordon). D'une façon générale, la sédimentation carbonatée ne présente pas de structure sédimentaire, de telle sorte que l'analyse des faciès sur le terrain est très insuffisante et doit être complétée par l'étude des micro-faciès en lames minces. Vers le sommet, les séquences carbonatées montrent des similitudes de plus en plus marquées avec celles de la formation Chulec sus-jacente.

Inversement, les séquences détritiques présentent une multitude de figures sédimentaires, souvent très bien mises en relief par le lessivage du ciment calcaire dû à l'altération superficielle. Ces séquences sont régressives et présentent des faciès tant de vagues que de marées, avec une activité biologique décroissant vers le sommet. Il est difficile de donner ici un inventaire détaillé de l'ensemble des faciès rencontrés, tant est grande leur diversité, mais on trouve un éventail de structures formées sous l'action, unique ou combinée, des vagues ou des marées. Les figures liées aux marées sont des rides, du "lenticular-bedding" au "flaser-bedding", des "herring-bone", et

plus rarement des stratifications sigmoïdes de faible amplitude. D'une manière générale, ces structures reflètent un environnement de marées de moyenne amplitude, ou mésotidal.

Les dépôts de tempête (ou "tempestites") présentent généralement une coloration ocre caractéristique, qui ressort dans le paysage, et montrent des structures en mamelons ("hummocky cross-stratification" ou HCS) typiques des tempestites, excepté quand ces niveaux sont bioturbés, c'est-à-dire quand ils s'intercalent par exemple vers la base d'une séquence régressive, là où l'activité des organismes est intense. Le sommet de certaines tempestites montre l'influence des vagues ou des marées.

B) La formation Chulec

Faisant suite à la formation Pariahuanca, la sédimentation de la formation Chulec (Albien moyen) est entièrement carbonatée et est lithologiquement formée par une alternance de calcaires et de marnes. Elle présente essentiellement des faciès de plate-forme externe. Cette formation est très fossilifère, et c'est la première formation crétacée des Andes centrales à être correctement datée.

Les séquences qui constituent cette formation sont toutes régressives, et ont une texture allant des marnes au mudstone ou au wackestone. On trouve néanmoins quelques faciès oolotiques de cordon ou de plage à la base de la formation et dans les affleurements les plus au nord-est (La Oroya et Llocllapampa), qui indiqueraient donc une tendance relative à l'approfondissement des faciès vers le sud-ouest.

L'ensemble de la série est plus ou moins intensément bioturbé, et les niveaux calcaires contiennent souvent des terriers d'animaux fouisseurs, dont la quantité augmente vers le niveau des bancs, et qui sont soulignés par une forte coloration ocre.

Il faut souligner qu'à Morococha (affleurement n°6), la formation Chulec présente la particularité d'être en grande partie gréseuse. Seulement une dizaine de mètres à la base y présente les faciès "classiques" de la formation Chulec, le reste étant constitué par des niveaux de grès fins à très fins à ciment calcaire et sans faune. Bien que nous n'ayons pas pu retrouver cette particularité par des études complémentaires plus au nord, il semblerait qu'il y ait un approfondissement "relatif" de cette zone au cours de la sédimentation de la formation Chulec. A Morococha, cette sédimentation gréseuse se poursuit dans la formation Pariatambo.

C) La formation Pariatambo

La formation Pariatambo (Albien moyen) est facilement repérable dans le paysage où elle forme des combes d'une coloration noire caractéristique. En plus de sa faible résistance à l'érosion, la formation Pariatambo se distingue par sa lithologie monotone: alternance marno-calcaire de petits bancs clairs et sombres, généralement très bitumineux, que souligne une odeur fétide très prononcée. Les niveaux calcaires sont des

mudstones à packstones calcaro-dolomitiques, parfois légèrement silteux. Les bancs sombres sont des marnes calcaro-dolomitiques très bitumineuses. Tous ces niveaux contiennent de nombreuses ammonites peu fragmentées et des restes de poissons. On rencontre parfois ces fossiles en telle quantité qu'ils peuvent former, dans un cas, des packstone à ammonites, et dans l'autre les niveaux centimétriques bleu foncé de phosphorite. On observe aussi de rares niveaux décimétriques de gypse (Jatunhuasi et Chaucha), latéralement très continus. Le sommet de la formation est marqué par l'apparition de silex que l'on rencontre parfois en telle quantité qu'ils forment des bancs décimétriques, intercalés de niveaux décimétriques dolomitiques.

La très faible fragmentation des fossiles et la présence de marnes dans toute la formation nous amène à penser que cette série s'est déposée dans un environnement d'énergie nulle. La sédimentation bitumineuse, au moins en partie dolomitique et parfois à niveaux de gypse stratifiés, montre que le milieu était fortement réducteur avec une tendance générale à la sursalure. L'hypothèse d'un "up-welling" pour former la sédimentation bitumineuse ne peut pas être retenue, puisque la tendance à la sursalure nous indiquerait que la plate-forme était plutôt isolée des influences océaniques. Il s'agissait donc probablement d'une plate-forme relativement profonde et confinée.

Les variations d'épaisseur de la formation Pariatambo sont faibles et comprises entre 50 et 75 mètres, ce qui témoigne de la stabilité de la plate-forme. Les seules exceptions rencontrées sont à Morocochoa et au sud de San Cristóbal.

Dans le premier cas, la série est gréseuse, bitumineuse et à ciment calcaire, et a seulement une quinzaine de mètres d'épaisseur. L'absence totale de faciès observables sur l'affleurement ne nous permet pas actuellement de nous prononcer sur l'environnement relatif à cette sédimentation particulière, qui pourrait correspondre à la zone "externe" (profonde) de la plate-forme.

Dans le cas de San Cristóbal, on trouve au contraire une exagération de l'épaisseur qui est d'environ 130 mètres. Les faciès sont très comparables à ceux rencontrés généralement, hormis une dizaine de mètres de grès fins intercalés dans la partie médiane de la formation. Comme à Morocochoa, l'absence de structure et de faune rend difficile l'interprétation de ce faciès, en attendant l'étude en lame mince des échantillons prélevés.

D) La formation Jumasha et Celendín

Nous avons rapidement observé les faciès de la formation Jumasha (Albien sup.-Turonien) à Morocochoa, Llocllapampa, Azulcocha et Chaucha. Cette série carbonatée qui fait suite aux dépôts fortement anoxiques sous-jacents est généralement dolomitique, massive et peu fossilifère, et contient par endroits des silex qui rappellent les faciès du sommet de la formation Pariatambo. A Azulcocha et Llocllapampa, on trouve des tapis algaires parfois associés à des fentes de dessiccation, indicateurs de milieux inter à supratidaux.

La sédimentation de la formation Jumasha semble donc

s'être développée sur une plate-forme légèrement confinée et de faible profondeur.

La formation Celendín (Coniacien-Santonien) n'a été examinée qu'à Azulcocha, où elle est réduite à une vingtaine de mètres de marnes jaunes avec des intercalations de petits niveaux décimétriques calcaro-dolomitiques, vraisemblablement déposés dans un milieu marin à forte tendance supratidale. Entre Azulcocha et Chacapalpa, nous avons rencontré un faciès mixte de marées et de tempête intercalé dans un mudstone lacustre, et de très belles fentes de dessiccation, qui confirment le caractère supratidal à lagunaire de la sédimentation.

La formation Celendín représente donc les faciès de transition entre la sédimentation marine de la formation Jumasha et la sédimentation fluviatile des "couches rouges" de la formation Casapalca.

Les différents environnements de dépôt que nous venons de décrire sont résumés, avec la colonne stratigraphique synthétique d'Azulcocha, sur la figure 4.

V.- LES FACIES DETRITIQUES MARINS DU CRETACE INFERIEUR DE LIMA

L'examen des formations sédimentaires observables au sud de Lima nous a amené à réaliser une étude détaillée des faciès gréseux à stratifications sigmoïdes de la formation Salto del Fraile. Cette étude a donné lieu à deux communications jointes à ce rapport, aux congrès de Bondy (janvier 1987) puis de Lima (juillet 1987).

VI.- LE CRETACE DE LA REGION DE TARAPOTO

Le peu de temps dont nous avons disposé et le peu d'affleurements disponibles à cause de la végétation, ont limité les observations et les conclusions que l'on peut en tirer. Cependant, et sans trop entrer dans le détail de la stratigraphie de cette zone, on peut faire les remarques suivantes:

* La formation Sarayaquillo (Jurassique terminal) présente des faciès fluviatiles à grès fins, de type "braided" à plaine d'inondation constituée par des pélites rouges, identiques aux faciès que nous avons décrit pour la base de la formation Goyllarisquisga.

* La formation Cushabatay (Néocomien) repose en concordance sur la formation Sarayaquillo, bien que des bases de chenaux en érodent localement le sommet. Ces faciès sont identiques à ceux décrits pour le sommet de la formation Goyllarisquisga, avec une alternance de barres de grès blancs à laminations en auge, overturns, restes végétaux et quelques niveaux conglomératiques, et de combes silteuses noires.

* Des études palynologiques (A. Tarazona, 1985) ont montré qu'un changement climatique important, avec le passage d'un climat semi-aride à un climat chaud et humide, est associé à la formation Cushabatay, tout comme on peut l'observer dans la formation Goyllarisquisga des Andes centrales.

formation Cushabatay, tout comme on peut l'observer dans la formation Goyllarisquisga des Andes centrales.

* Les similitudes avec la zone andine étudiée s'arrêtent là car, contrairement aux Andes centrales, les grès quartzitiques blancs de la formation Cushabatay se rencontrent ici (sous des noms de formation différents) pratiquement jusqu'au dépôt des couches rouges du Crétacé terminal, avec des intercalations marines chaque fois plus importantes. Cette sédimentation gréseuse fluviatile s'est donc étalée pendant tout le Crétacé inférieur, seulement interrompue par quelques incursions marines.

* On voit donc qu'il est possible d'intégrer ces données et celles des Andes Centrales dans le cadre d'une transgression généralisée d'ouest en est, s'étalant du Jurassique terminal au Crétacé supérieur, avec:

- des apports détritiques en provenance du Bouclier Brésilien;

- dans les zones distales (Andes centrales) des faciès fluviatiles seulement au Néocomien, et qui n'atteignent alors pas la côte actuelle (Lima), puisque ces mêmes grès s'y trouvent dans des faciès tidaux (cf. fm. Salto del Fraile);

- dans les régions proximales (Tarapoto) continuation de la sédimentation fluviatile jusqu'au Crétacé supérieur.

VII.- LA TECTONIQUE ET LA SEDIMENTATION

A) Les formations Doggers

Les formations Doggers Cercapuquio et Chaucha montrent de rares évidences de tectonique synsédimentaire. Les seules déformations synsédimentaires relevées se situent à La Oroya (affleurement n°7) et à Llocllapampa (n°15).

Le seul indice de déformation synsédimentaire que nous ayons pu observer se trouve à Llocllapampa, où la série est en partie slumpée, avec un contact discordant avec la formation Chaucha. Il s'agit d'une discordance sédimentaire, et cette observation unique ne permet aucune hypothèse sur l'existence d'une tectonique synsédimentaire de la formation Cercapuquio.

Pour la formation Chaucha on peut observer, à La Oroya, que les derniers mètres de la série sont fortement slumpés, et à Llocllapampa, que plusieurs niveaux sont formés par des brèches à éléments anguleux centimétriques à décimétriques, dont les faciès oolitiques correspondant clairement aux niveaux inférieurs.

Actuellement, nous ne possédons pas d'éléments suffisants pour définir le type tectonique dont il s'agit.

B) La formation Goyllarisquisga

Les variations d'épaisseur des dépôts d'une part, et les observations de structures de déformations syn-sédimentaires d'autre part (dykes clastiques, failles normales décimétriques à hectométriques), permettent de montrer que la sédimentation détritique de la formation Goyllarisquisga s'est développée parallèlement à une tectonique régionale extensive, qui se termine progressivement avec l'apparition de la sédimentation

carbonatée.

Les structures les plus nettes résultant d'une tectonique syn-sédimentaire sont observées au niveau du Río Mantaro, et tout particulièrement entre Chacapalpa et Llocllapampa. Les structures les plus importantes sont les failles synsédimentaires, de rejet hectométrique (environ 140 m) à Llocllapampa, pluri-décamétrique à métrique à Chacapalpa et décimétrique à Llocllapampa. La présence fréquente de dykes clastiques souligne l'existence probable d'une activité sismique synsédimentaire, et de nombreux bancs homogènes et sans structure témoignent d'une liquéfaction des sédiments non consolidés ou d'une resédimentation.

C) Les formations marines du Crétacé inférieur

La formation Pariahuanca montre peu d'évidences de déformation synsédimentaire, hormis à La Oroya où l'on peut observer une petite faille normale synsédimentaire de 30 cm de rejet.

Au sud de San Cristóbal (affleurement n°9), on peut remarquer dans la partie médiane de la formation Chulec une dizaine de mètres de calcaires resédimentés, mais dont la faible déformation interne souligne le peu de transport qu'ils ont subi. Cette dernière constatation amène à penser qu'au cours de la sédimentation de la formation Chulec il a pu se produire de légers mouvements tectoniques distensifs, provoquant localement quelques glissements synsédimentaires, et seulement localisés à la bordure ouest de la région étudiée.

Nous n'avons pas rencontré d'autre évidence de déformations synsédimentaire dans le reste des affleurements étudiés.

Pour la formation Pariatambo, les variations d'épaisseur (de 15 à 130 m) et les faciès gréseux observés entre Morococha et San Cristóbal peuvent laisser supposer qu'il existait une instabilité tectonique distensive pendant la sédimentation de la formation Pariatambo (Albien sup.). Le bord ouest de la région étudiée aurait alors constitué la bordure ouest de la plate-forme stable, et la transition vers une zone plus profonde, à l'ouest de la Cordillère Occidentale actuelle. Néanmoins, et en l'absence de plus de données, cette interprétation reste assez hypothétique.

VIII.- LA STRUCTURE ACTUELLE DES ANDES CENTRALES

En marge de cette étude sédimentologique, nous avons réalisé avec Michel Séguret une coupe rapide des Andes centrales, suivant une transversale passant par la Laguna Pomacocha (affleurement n°8), La Oroya, Tarma et San Ramón. Ces observations, même rapides, devraient nous permettre de proposer dans un premier temps, et avec l'aide des données déjà existantes, une coupe tectonique allant de la Cordillère occidentale à la région subandine. Dans un second temps, nous pensons intégrer cette coupe tectonique avec les données géophysiques existantes, pour proposer des hypothèses sur la

structure transversale des Andes centrales à l'échelle de la lithosphère.

IX.- PUBLICATIONS

MOULIN, N. - 1987 - Faciès détritiques marins et continentaux du Crétacé inférieur du Pérou Central. "Géodynamique Andes centrales", Séminaire ORSTOM, Bondy, janvier 1987, 111-114.

MOULIN, N. - 1987 - Facies y ambientes sedimentarios de la formación Salto del Fraile (Cretácico inferior de Lima - Perú); Resumen. VI Congreso Peruano de Geología, Lima, julio de 1987.

MOULIN, N. - 1987 - Grands traits de l'évolution de la plateforme crétacée du Pérou central (Région des Hauts-Plateaux). 1er Congrès Français de Sédimentologie, Paris, novembre 1987, 259-260

SEGURET, M., MOULIN, N. - 1987 - Géométrie et faciès de levées sur des épandages fluviatiles en tresse de la formation Goyllarisquisga (Crétacé inférieur, Hauts-Plateaux des Andes péruviennes). 1er Congrès Français de Sédimentologie, Paris. novembre 1987, 303-304.

MOULIN, N. (à paraître) - Faciès y ambientes sedimentarios de la formación Salto del Fraile (Cretácico inferior de Lima - Perú). Bol. Soc. Geol. Perú, 11 p.

FACIES DETRITIQUES MARINS ET CONTINENTAUX

DU CRETACE INFERIEUR DU PEROU CENTRAL (*)

L'étude de la sédimentation détritique du Crétacé inférieur du Pérou central (régions côtière et andine), permet d'identifier un certain nombre de faciès marins ou continentaux.

LIMA: L'affleurement étudié est situé au bord de mer et au sud de Lima, au lieu-dit Salto del Fraile. La figure 1 présente le dessin d'une surface d'érosion verticale, découpée dans des grès quartzitiques (faiblement inclinés vers l'ouest) de la formation Salto del Fraile, d'âge Valanginien inférieur probable.

A première vue, cette surface est composée de plusieurs bancs à "laminations obliques", globalement dirigées vers le sud-est. L'étude détaillée de chacun de ces bancs permet de montrer qu'ils sont en réalité constitués par une succession horizontale de stratifications sigmoïdes; celles-ci sont formées d'un certain nombre de faisceaux gréseux d'épaisseur variable, de couleur blanche et séparés par des drapages de sédiments fins et sombres (limo-argileux). Ces stratifications sigmoïdes caractérisent un environnement de dépôt marin subtidal. Chaque faisceau gréseux correspond à la sédimentation pendant une seule marée dominante, soit le flot, soit le jusant. De plus on constate que, comme dans les sédiments actuels équivalents, une seule marée dominante par jour développe des courants suffisamment énergiques pour permettre la formation d'un faisceau. D'autre part, l'influence des cycles lunaires (cycles mortes-eaux - vives-eaux) se répercute au niveau de la sédimentation, par des variations d'épaisseur des faisceaux au sein d'une même stratification sigmoïde: les faisceaux relativement plus épais observés dans la partie médiane des stratifications correspondent à la période de "vives-eaux"; les faisceaux plus fins de la base et du sommet de la stratification représentent, respectivement, la fin et le début des périodes de "mortes-eaux".

Le décompte du nombre moyen de faisceaux par stratification permet donc d'avoir une approximation de la durée des cycles lunaires. L'examen détaillé de 23 stratifications sigmoïdes fait apparaître que 15 d'entre elles possèdent entre 27 et 31 faisceaux (dont 13 entre 28 et 30). Bien que le nombre d'exemplaires étudiés ne soit pas statistiquement significatif, on peut supposer qu'au Valanginien inférieur la durée d'un cycle lunaire était voisine de 29 jours. On peut remarquer sur le dessin de la figure 1 qu'une stratification sigmoïde comporte 55 faisceaux. Elle est interprétée comme représentant un seul cycle lunaire durant lequel, exceptionnellement, les deux marées dominantes quotidiennes ont provoqué chaque fois le dépôt d'un faisceau.

(*) Communication présentée par Nicolas MOULIN au Séminaire "GEODYNAMIQUE ANDES CENTRALES", ORSTOM, Bondy, janv.1987,111-114.

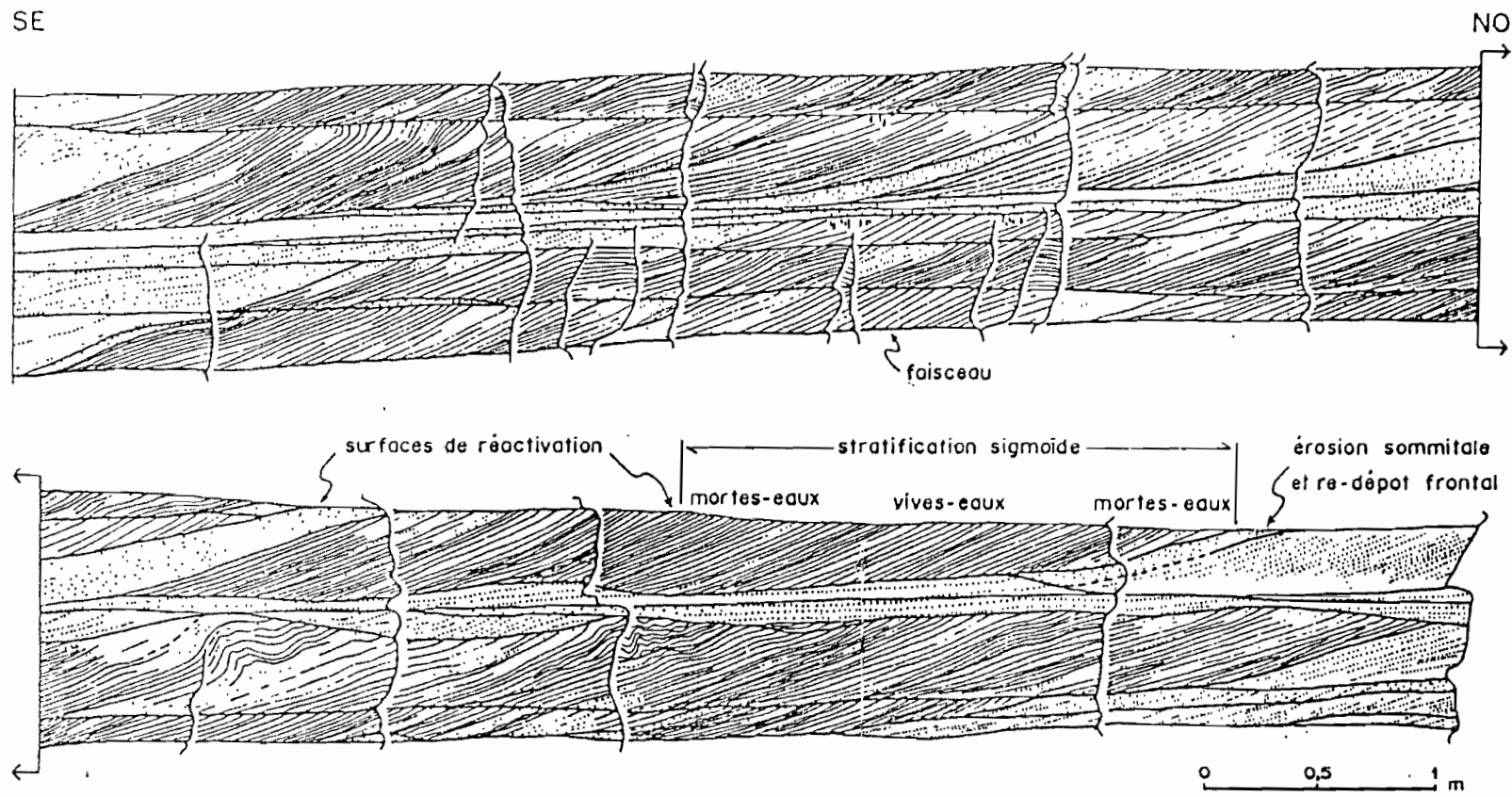


fig.1 -Faciès subtidal à stratifications sigmoïdes du Crétacé inférieur de Lima (formation Salto del Fraile)

LA OROYA: L'affleurement étudié est situé au sud-est de La Oroya (150 km à l'ENE de Lima), sur la berge orientale du Río Mantaro. Les faciès décrits appartiennent au groupe Goyllarisquisga (trois premières colonnes de la figure 2) et à la formation Pariahuanca (quatrième et dernière colonne), datées du Néocomien à l'Aptien.

La colonne relevée entre les cotes 130 m et 194 m permet de distinguer trois environnements de dépôts différents:

* A la base (1^{re} colonne, fig.2) on observe un faciès gréseux, fin, peu silteux, à laminations horizontales généralement masquées par la bioturbation. Cet intervalle est grano-croissant et contient quelques laminations en auge en son sommet. Ce faciès correspond à un milieu de dépôt deltaïque de barre d'embouchure. On n'observe aucune structure liée à l'action des vagues ou des marées.

* Sur le faciès de barre d'embouchure repose une série grés-conglomératique, formée par la superposition de chenaux fluviatiles (grano-décroissants à base érosive et/ou chenalisée). Les plus complets contiennent des laminations en auge (parfois aussi visibles dans le conglomérat basal), surmontées par des laminations horizontales. On observe aussi des niveaux à laminations obliques planes qui représentent un dépôt de barre sableuse inter-chenaux, et des "overturns" qui correspondent à la liquéfaction et à la déformation des laminés obliques non consolidés, sous l'action d'un fort courant tractif. Ces faciès de chenaux et de barres sableuses indiquent une sédimentation de type fluviale "en tresse". Le dernier chenal est recouvert par des faciès argileux rouges de plaine alluviale, au sein desquels on observe l'intercalation de niveaux gréseux fins de débordement (crue).

* Sur les dépôts de plaine alluviale, reposent des faciès gréseux marins relativement fins. A la base, des stratifications sigmoïdes (voir "LIMA") d'épaisseur décimétrique, sont recouvertes par des rides de courant de sens opposé, déposées par la marée "non dominante". On trouve aussi, associés, des rides de vagues et des "herring-bones" d'épaisseur centimétrique. Ces faciès caractérisent un milieu de dépôt tidal (micro-tidal et subtidal à intertidal), de type lagunaire ou de baie interdistributaire. Plus haut, les niveaux contiennent des rides de courant mal interprétables, mais probablement liées à l'action des vagues ou des marées. Le sommet de cette série montre le passage aux faciès fluviatiles, avec un niveau grossier de type "cargneule", dont on retrouve des éléments, sous forme de galets mous, dans la base du chenal sus-jacent.

Les faciès de la base de la formation Pariahuanca (4^e colonne de la figure 2), sont comparables aux précédents, bien que la plus forte proportion d'argiles et de bioturbations fasse penser à un milieu plus protégé, de type lagunaire. On rencontre de nombreuses rides de courant, dont certaines sont clairement formées par les vagues. Les structures liées aux marées sont assez rares. Les dépôts de tempêtes ("tempestites") sont le faciès le plus développé; ce sont des niveaux gréseux assez grossiers, présentant des amalgamations lorsqu'ils sont superposés, et dont la lamination interne, de type "hummocky" est caractéristique des dépôts de tempête. Des galets mous et des bioclastes sont disposés parallèlement aux laminés.

-barre d'embouchure
-chenal fluvialite

-chenaux "en tresse"
-plaine alluviale
-dépôts de débordement

-dépôts de vagues et de marées
-tempestilites
-dépôt de débordement

122

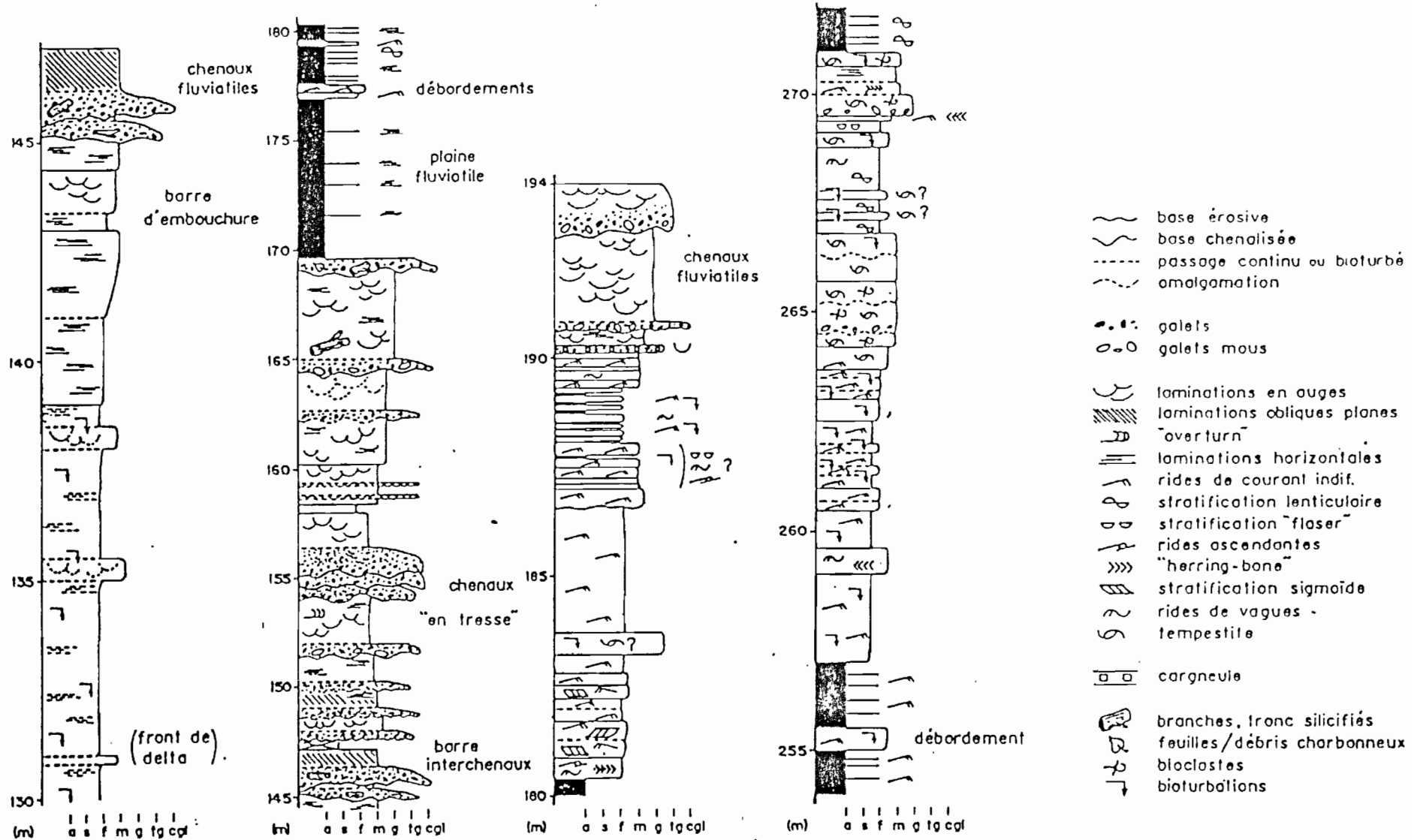


fig.2 -Faciès détritiques, marins et continentaux, du Crétacé inférieur de La Oroya

GRANDS TRAITES DE L'ÉVOLUTION DE LA PLATE-FORME CRETACEE DU PEROU CENTRAL (Région des Hauts-Plateaux) (*)

A partir du Néocomien, et après une longue période de non-dépôt s'étendant du Callovien au Tithonique, la région des Hauts-Plateaux est le siège d'une sédimentation de plate-forme, continentale puis marine. Au Santonien, les premiers mouvements compressifs correspondent à une régression généralisée aboutissant à la sédimentation continentale "molassique" des "Couches Rouges".

Cette plate-forme présente l'évolution continue depuis les environnements de dépôts fluviatiles jusqu'à la plate-forme carbonatée, en passant par des milieux littoraux grésocarbonatés.

LA SEDIMENTATION DETRITIQUE CONTINENTALE

Les dépôts fluviatiles en tresse (fm. Goyllarisquisga) reposent en discordance parallèle sur les carbonates de plate-forme sous-jacents (Gr. Pucará, Trias à Bathonien). La mise en place de cette sédimentation fluviatile se déroule en deux phases:

1e phase: sédimentation fluviatile en tresse à granulométrie fine à très fine. Les faciès de la base sont essentiellement de plaine alluviale, à pélites rouges et rares intercalations gréseuses de faciès de débordement (séquences à laminations horizontales, rides, rides ascendantes). La proportion des chenaux va croissant vers le haut où les intervalles pélitiques sont rares. Ces niveaux présentent souvent un léger ciment calcaire, attribué à l'altération des carbonates jurassiques sous-jacents dans des régions voisines.

2e phase: un changement brutal dans la dynamique fluviatile est observable dans toute la région étudiée (entre les latitudes de La Oroya et de Huancayo). Il correspond au dépôt de grès moyens à très grossiers, et de niveaux conglomératiques à troncs d'arbres. Contrairement aux dépôts antérieurs, où les chenaux sont intercalés avec des dépôts de plaine alluviale, il s'agit d'épandages fluviatiles en tresse qui constituent de grosses barres (de 30 à 150 m d'épaisseur) latéralement très continues et formées de laminations en auge de fond de chenal et de laminations obliques planes de barres interchenal. Ces corps gréseux sont séparés par des dépôts silto-gréseux à tendance charbonneuse de débordements de levées.

LA SEDIMENTATION MARINE

La sédimentation marine, grésocarbonatée puis carbonatée, suit trois étapes principales. Dans un premier temps

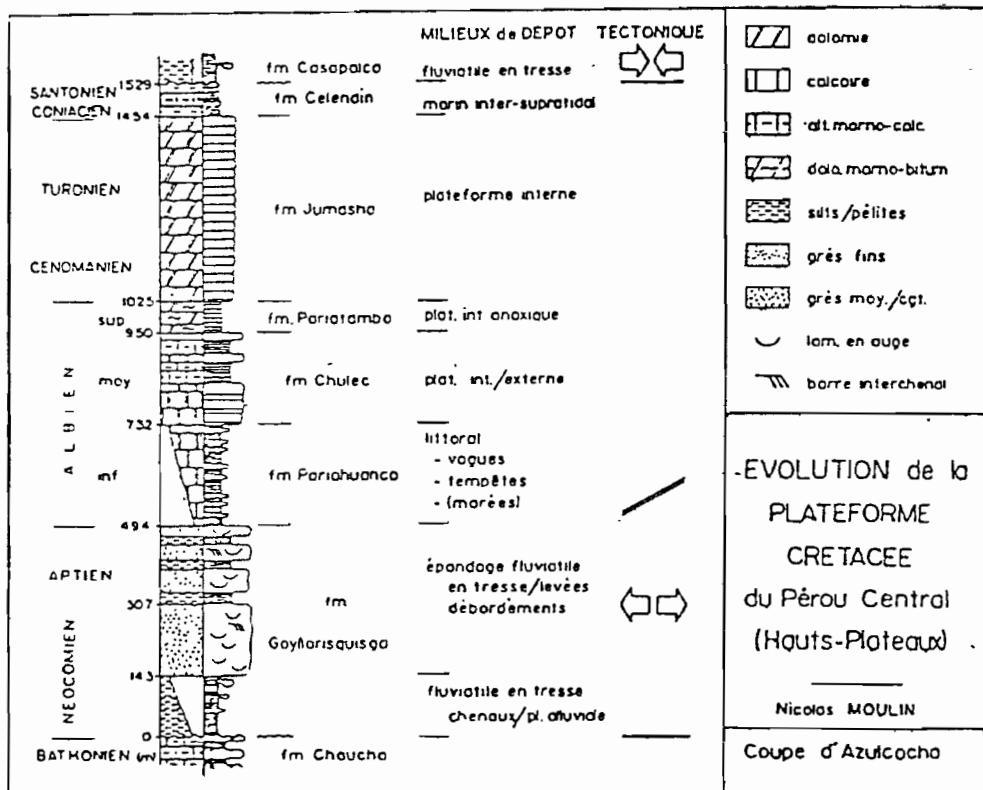
(*) Communication présentée par Nicolas MOULIN au 1er Congrès Français de Sédimentologie. Paris, 19-20 nov. 1987.

(fm. Pariahuanca) elle demeure gréseuse sous l'influence des vagues et des tempêtes, et dans une moindre mesure des marées. Les apports gréseux tendent à disparaître progressivement vers le sommet. Ensuite, elle est entièrement carbonatée (fm. Chulec) et présente des faciès tant de plate-forme interne ou externe que de plage, qui montrent le caractère localement très changeant de la paléogéographie.

La troisième et dernière étape débute (fm. Pariatambo) par une cinquantaine de mètres d'alternance marno-dolomitique à ammonites, parfois très imprégnés de bitume et rarement intercalés de niveaux décimétriques de gypse. Ils se terminent par l'apparition de silex, que l'on rencontre parfois en telle quantité qu'ils forment des bancs. La sédimentation (fm. Jumasha) faisant suite à ces dépôts est généralement dolomitique, massive et peu fossilifère, et se termine (fm. Celendín) par une sédimentation inter à supratidale qui fait la liaison avec les "Couches Rouges" continentales sus-jacentes (fm. Casapalca).

RELATIONS TECTONIQUE-SEDIMENTATION

Les variations d'épaisseur des dépôts d'une part et les observations de déformations syn-sédimentaires d'autre part (dykes clastiques, failles normales décimétriques à hectométriques), permettent de montrer que la sédimentation détritique (fm. Goyllarisquisga) s'est développée parallèlement à une tectonique régionale extensive, qui se termine avec l'apparition de la sédimentation carbonatée.



GEOMETRIE ET FACIES DE LEVEES SUR DES EPANDAGES FLUVIATILES
EN TRESSE DE LA FORMATION GOYLLARISQUISGA
(CRETACE INFERIEUR, HAUTS-PLATEAUX DES ANDES PERUVIENNES) (*)

La formation Goyllarisquisga, d'âge Néocomien, de 100 à 700 m d'épaisseur, comprend d'épaisses barres gréseuses séparées par des combes argilo-pélitiques ou silto-gréseuses.

Les grès moyens à grossiers et quelquefois conglomératiques, à laminations en auge de fond de chenal et laminations obliques planes de barres inter-chenal, se sont déposés dans des systèmes d'épandage fluvial en tresse.

Le sommet de chaque ensemble gréseux est scellé par une surface érosive et d'altération ferrugineuses pédogénétique traduisant un arrêt de sédimentation relativement long. Sur ces discontinuités, les pélites marquent la reprise d'une sédimentation de plaine alluviale avec débordements.

Dans la région de Chaucha, entre les zones minières d'Azulcocha et Yauricocha) une série intermédiaire s'intercale entre l'avant-dernière barre et la combe supérieure. Cette série intermédiaire d'extension kilométrique correspond à des systèmes de levées fluviales qui reposent en biseau de progradation ("downlap") sur les grès en tresse.

La série étant subverticale est-ouest et la progradation des levées étant globalement vers l'ouest, une analyse géométrique a pu être réalisée. Malheureusement la quartzitisation de grès masque en partie les structures de dépôt et ne permet pas une analyse sédimentologique très fine.

La surface inférieure, érosive et ferrugineuse, entaille les grès en tresse sous-jacents sur 1 à 2 m. La surface supérieure, plane, est aussi érosive et soulignée par un mur "ferrugineux". Le biseau sommital ("Toplap") ne paraît pas conservé.

Les couches sont tangentielles à la base mais l'angle de progradation atteint 15° sous le biseau sommital. La hauteur maximum (conservée) des levées est de 8 m.

Chaque couche qui s'étend sur 30-50 m montre une évolution très rapide depuis les parties amont vers les parties aval : 1) en amont, les bancs de grès fin à très fin de 10-20 cm d'épaisseur sont amalgamés (sans érosion) ou séparés par un "joint" de grès très fin. Ils montrent un grano-classement léger avec de rares laminations horizontales à la base et des rides de courant généralement peu discernables et dont l'amplitude décroît vers le haut. 2) Dans la partie médiane, les niveaux gréseux de 5 à 10 cm d'épaisseur sont toujours légèrement grano-classés et montrent seulement des rides de courant. 3) Vers l'aval, la partie gréseuse s'amincit rapidement et s'intercale de silt noir

* Communication présentée par Nicolas MOULIN (ORSTOM) au 1er CONGRES FRANCAIS DE SEDIMENTOLOGIE. Paris, 19 et 20 nov. 1987.

plus ou moins charbonneux dont la proportion va croissant vers l'aval, si bien que le pied des levées, au-dessus de la surface d'altération basale, est entièrement silto-charbonneux avec de rares rides de courant isolées.

Par suite de la progradation, la série est granostrato-croissante.

De rares niveaux massifs (1 à 2 m d'épaisseur) de grès moyen à grossier à gros galets mous d'argile, correspondent à des débris flow résultant de l'évolution de slumps s'écoulant sur le flanc des levées.

La cartographie sédimentologique de détail d'une zone de 1 km de long et l'étude de nombreuses coupes montrent qu'en fait plusieurs systèmes emboîtés de levées sont représentés, toujours séparés par des surfaces d'altération ferrugineuses.

A l'échelle de la séquence régionale, les levées progradent sur les argiles et silts de la plaine d'inondation et sont recouvertes par les grès de chenaux. Toutefois, le type de chenal ayant engendré les levées n'a pu être caractérisé.

Les discontinuités majeures au sommet des barres gréseuses traduisent les abandons successifs et brutaux du système d'épandage en tresse.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (UNI)
INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION (ORSTOM)

CONVENTION DE COOPERATION SCIENTIFIQUE UNI-ORSTOM

RAPPORT FINAL
1984 - 1988

LIMA / SEPTEMBRE 1989