



HAL
open science

Géologie de la région minière Uchucchacua-Hacienda Otuto, Pérou

Maurice Romani

► **To cite this version:**

Maurice Romani. Géologie de la région minière Uchucchacua-Hacienda Otuto, Pérou. Tectonique. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1982. Français. NNT: . tel-00709939

HAL Id: tel-00709939

<https://theses.hal.science/tel-00709939>

Submitted on 19 Jun 2012

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

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

ROMANI (M.)
+ 2 cartes h.t.

INSTITUT DOLOMIEU

THESE

EX. n° 1

*présentée à***L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE DE GRENOBLE**POUR OBTENIR LE TITRE DE
DOCTEUR DE 3^{ème} CYCLE DE GEOLOGIE APPLIQUEE*par***Maurice ROMANI**UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43

27 OCT. 1982

**Géologie de la région minière
Uchucchacua - Hacienda Otuto
Pérou***α***Soutenu le 22 octobre 1982 devant la commission d'examen**Monsieur J. DEBELMAS
Messieurs R. MAROCCO
F. MEGARD
J. PERRIAUX

Président

Examineurs

INSTITUT DOLOMIEU

THESE

présentée à

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE DE GRENOBLE

POUR OBTENIR LE TITRE DE
DOCTEUR DE 3^{ème} CYCLE DE GEOLOGIE APPLIQUEE

par

27 OCT. 1982

Maurice ROMANI

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43

**Géologie de la région minière
Uchucchacua - Hacienda Otuto
Pérou**

Soutenue le 22 octobre 1982 devant la commission d'examen

Monsieur J. DEBELMAS
Messieurs R. MAROCCO
F. MEGARD
J. PERRIAUX

Président
Examineurs

100 00166

UNIVERSITE DE MONTREAL
INSTITUT DE DOCUMENTATION
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GUY
5 2001 OUELLET
TEL (514) 343-1111

A Jose MOLINA BARRIGA

A Brigitte, à Mathieu

A mes parents

A V A N T - P R O P O S

L'étude qui fait l'objet de ce mémoire a été réalisée dans le laboratoire de géologie structurale (Institut Dolomieu, Université de Grenoble 1) avec la collaboration de la Compagnie Minière Buenaventura, de l'Institut Français d'Etudes Andines à Lima et de deux étudiants péruviens.

Ce travail n'a été possible que grâce à la générosité et l'enthousiasme de Monsieur Don Alberto BENAVIDES (Président de la Compagnie Minière Buenaventura) qui s'est toujours intéressé à mes travaux et a résolu de nombreux problèmes matériels.

C'est avec un réel plaisir que je désire remercier ici les personnalités qui ont participé au jury de thèse chargé de juger ce travail, et tous ceux qui m'ont aidé par leur collaboration scientifique, leur appui technique ou leur soutien moral.

Monsieur le Professeur J. DEBELMAS m'a accueilli pendant 3 ans au sein de son équipe. Je dois lui exprimer ici toute ma reconnaissance tant pour les conseils et les encouragements qu'il m'a adressés que pour sa présence ici en tant que rapporteur et Président du jury.

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur F. MEGARD (ancien Directeur de l'Institut Français d'études Andines à Lima, actuellement Maître de Recherche au C.G.G. de Montpellier) qui est l'instigateur de ce travail et qui m'a communiqué son enthousiasme pour les Andes au cours des nombreuses journées de terrain que nous avons réalisées ensemble; qu'il recoive ici toute ma gratitude pour m'avoir orienté dans mes recherches, aidé dans la rédaction de ce mémoire et résolu le problème financier de mon deuxième voyage au Pérou.

J'adresse mes plus vifs remerciements à Monsieur R. MAROCCO (ancien Directeur de l'O.R.S.T.O.M. Lima, actuellement Maître de Recherche au Laboratoire de géodynamique des bassins sédimentaires à Pau) qui est venu à Uchucchacua pour nous orienter dans notre travail, qui a accepté de corriger le manuscrit et de participer à la commission d'examen.

Je veux exprimer ici ma grande reconnaissance à Monsieur le Professeur J. PERRIAUX qui m'a fait l'honneur d'être membre de mon jury de thèse.

Que Mademoiselle I. GASTANETA, Secrétaire Générale de la Compagnie Buenaventura, recoive toute ma gratitude pour les nombreux services qu'elle m'a rendus.

A C. ANGELES et H. NUNEZ DEL PRADO, avec qui j'ai découvert la Haute Cordillère Occidentale dans des expéditions parfois périlleuses; je les assure de mon amitié la plus sûre.

Sur le terrain et à la Mine Uchucchacua, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Messieurs G. VALDEZ et F. PAZ, respectivement chef géologue de la Compagnie Buenaventura et chef géologue de la mine, qui m'ont enseigné la géologie minière et sont venus avec moi sur le terrain pour juger de la valeur des indices découverts.

Messieurs F. CILLONIZ, C. CUZMANN et F. MUTZ respectivement gérant, superintendant et superintendant adjoint de la mine, ont su pallier à tous mes problèmes matériels.

Tous les ingénieurs de Uchucchacua, entre autres: G. PAMO, C. BERMUDEZ, J. MESA-PAREDES, P. MARTINEZ, C. SANCHEZ, H. PETROVITCH, G. HUAMAN, A. MIRANDA; ainsi que les techniciens de l'officine de géologie: BORJA et MELGAR.

Que les aides et muletiers qui m'ont toujours accompagné en campement, reçoivent ma gratitude ; je veux parler de C. MAITA, A. DELGADO, A. TAMARA, P. JIRON ; et je me souviendrai toujours de la réflexion pertinente de ce dernier qui me demanda à la suite d'une remarque sur l'âge des roches : "Mais alors ! ... les roches grandissent ?".

La réalisation de ce mémoire n'a été possible que grâce à la disponibilité de nombreux chercheurs qui se sont attardés sur la carte ou sur les échantillons ; ainsi, je tiens à remercier les enseignants et les chercheurs de l'Institut Dolomieu ou d'autres universités :

- Monsieur E. AUDEBAUD, que je veux convaincre plus particulièrement de ma gratitude en raison des après-midi passés ensemble pour tirer les grandes lignes de la structure du terrain cartographié et qui m'a fait bénéficier de sa grande expérience de la géologie des Andes.
- Mesdames A. ARNAUD-VANNEAU, J. MEGARD-GALLI (Montpellier) et M. CARON (Genève) ; Messieurs J.P. THEULOUY, M. BREISTOFFER, J.C. FISCHER (Paris), M. CONRAD (Genève) et E. FOURCADE (Paris) qui ont étudié les fossiles récoltés.
- Monsieur J. GIRAULT qui a déterminé les minéraux liés au skarn.
- Monsieur G. VIVIER qui a étudié en lame mince les roches magmatiques datées par la méthode K-Ar.
- Monsieur J.P. USELLE qui s'est intéressé aux échantillons de faciès euximique.
- Monsieur J. APRAHAMIAN qui a dépouillé certains diagrammes de rayons X.
- Messieurs M.T. EINAUDI (Stanford) et P. SOLER (O.R.S.T.O.M. Lima) qui m'ont fait des remarques intéressantes sur la structure de la mine.
- C. ALPERS qui m'a confié son AB degree sur la paragenèse d'une veine de la mine.

Je ne saurais oublier le personnel technique de l'Institut Dolomieu, je pense à Mesdames F. KELLER, E. DOMPNIÉ et à Messieurs REVOL, J. COCHET, TELMA, DOMENE et les camarades de troisième cycle qui m'ont aidé à leur manière ; je veux parler de J. SCHADE, F. VIEBAN, F. BLANC PETIT, C. DARSAC, D. COMPARE, P. de PACHTERE et de tous mes collègues de promotion.

Enfin je dois faire une mention spéciale à Mesdames MEUGNIOT, REVOL et VIVENZIO qui ont assuré avec rapidité et grande conscience la réalisation technique de ce mémoire (frappe et mise en page).

Pour conclure, je veux assurer de ma reconnaissance les familles MEGARD, MAROCCO et SOLER qui m'ont souvent accueilli à Lima.

Dans un but de prospection pour la compagnie Buenaventura, nous avons étudié et cartographié au 1/25 000 une portion de la haute Cordillère Occidentale du Pérou Central (partie septentrionale entre 10°32'S et 10°48'S, 150km au N de Lima) à l'Est du batholite côtier. Ce mémoire débute par la description de la profonde vallée du rio Huaura qui offre une coupe naturelle perpendiculaire à l'axe de la Cordillère Occidentale et permet d'en recouper toutes les structures.

Au point de vue stratigraphique, le bassin Ouest Péruvien présente du côté occidental une épaisse série essentiellement volcanique (groupe Casma) d'âge Crétacé, car elle contient à sa base la sous-unité Punte Colgante, datée du Crétacé inférieur, et en son milieu, la sous-unité Paccho Tingo, probablement de la fin de l'Albien.

Vers l'E, ce bassin Ouest péruvien débute par une série sédimentaire terrigène, monotone et d'âge crétacé inférieur (Albien exclu), interrompue par une légère transgression valanginienne donnant une unité calcaire. La grande transgression de l'Albien amène des carbonates (dont la fm Jumasha) jusqu'au Santonien, époque à laquelle la régression liée aux premiers mouvements andins fait apparaître des faciès continentaux.

Dans le secteur cartographié, la biostratigraphie, les milieux des dépôts et l'âge de la formation Jumasha ont été précisés. Elle est datée de l'Albien supérieur jusqu'au Turonien (pro parte).

Par dessus et occupant une grande surface de la Cordillère Occidentale, la série volcanique du groupe Calipuy, d'âge tertiaire, recouvre en discordance le groupe Casma et partiellement la série orientale.

Au point de vue tectonique la période tectogénétique débute au Crétacé supérieur et se manifeste alors par le changement de régime de sédimentation ; on voit se succéder des phases compressives relativement brèves ; trois sont majeures et orientées SE-NW (Inca et Quechua 1) ou EW (Quechua 3). Deux autres sont plus discrètes et d'orientation subméridienne (Quechua 2 et l'autre plioquaternaire). Deux épisodes distensifs, au moins, s'intercalent entre les dernières compressions.

En amont du batholite côtier qui occupe la basse vallée du rio Huaura et jusqu'au faite de la Cordillère Occidentale, les phases compressives andines ont conféré aux séries des styles tectoniques différents qui sont d'ouest en est :

- cassants et localement ductiles au sein du groupe Casma ;
- ductiles avec des plis à vergences opposées près de Churin (fig.6) ;
- en amont de ce village, ils sont asymétriques avec une vergence NE ;
- cassants et plicatifs dans la "zone imbriquée" où se localise une succession de chevauchements qui s'effectuent vers le N.E. Les différents styles ne sont pas liés respectivement à une phase déterminée, mais sont le résultat de la superposition de plusieurs de ces mouvements.

L'analyse des structures dans la zone "imbriquée" montre des plis asymétriques, parfois cisailés à la base par des chevauchements, parfois tronqués au sommet par d'autres chevauchements. Ces accidents ont probablement pour origine une réactivation en compression des failles listriques normales de la bordure orientale du bassin Ouest péruvien. La géométrie, la flèche de ces chevauchements et la présence d'une formation plastique de schistes charbonneux à la base de la série crétacée (fm Oyon), nous permettent d'imaginer que cette série est entièrement décollée des termes sous-jacents. D'autre part, l'absence d'écaillés anté-crétacées au coeur des anticlinaux où affleure la formation Oyon (fini-jurassique, éocrétacée), nous entend que le style tectonique du Jurassique est moins cassant. Ainsi existe-t-il probablement une dysharmonie entre le Jurassique et le Crétacé.

Des failles verticales transverses aux structures déchirent la couverture crétacée depuis la première phase andine majeure (phase Inca). En effet elles tronçonnent le secteur en unités structurales ayant des comportements tectoniques différents de part et d'autre.

Dans le secteur étudié, le raccourcissement est d'environ 60 %, c'est-à-dire un chiffre supérieur aux 40 % que l'on peut mesurer depuis le bord E du batholite côtier jusqu'au faite de la Cordillère Occidentale. Si l'on admet que le Précambrien du bourrelet côtier immergé a été moins déformé que la zone "imbriquée" étudiée, c'est un raccourcissement moyen de 33 % que l'on peut admettre depuis la fosse jusqu'à la zone "imbriquée". Il faut donc, en plus de la schistosité, cliver le substratum à l'aide d'accidents majeurs, ou bien imaginer un comportement plus plastique de ce socle, tel qu'un aplatissement pur impliquant un épaissement de la croûte.

Au point de vue du volcanisme l'activité ignée, correspond à cinq pulsions magmatiques qui débutent probablement avant le plissement andin par un épisode shoshonitique (un dyke de banakite à Anamaray encore non daté) Il s'agit de la première découverte de ce type d'intrusif dans la Cordillère Occidentale du Pérou. Au cours de la tectonogenèse andine, s'installe ensuite un magmatisme intermédiaire. Dans la mine Uchucchacua, un neck dacitique est daté de 25.3 ± 0.8 M.a. Les sills et dykes proches de l'axe du synclinal situé au S de l'Hacienda Otuto, appartiennent à une lignée calco-alcaline définie et appartiennent peut-être à l'épisode magmatique régional daté d'environ 10 M.a. A la fin du Miocène, des coulées à blocs, des tufs et des laves forment au nord de Uchucchacua une série volcanique puissante de 500 m et datée en son sommet de 5.4 ± 1 M.a. Au début de Pliocène, elle est plissée par la phase Quechua 3 en un grand synclinal ouvert d'axe N S. Enfin, des intrusifs acides complètent cette lignée calco-alcaline.

Au point de vue métallogénie, chaque pulsion magmatique entraîne un cortège de minéralisations constitué de skarns riches en grossulaire, andradite, datolite et carbonates, et de solutions mésothermales donnant des sulfosels et des sulfures d'Ag, Pb, Zn, Cu. Les épisodes minéralisateurs, économiquement exploitables, sont datés de 25 M.a (?) et de 9 M.a. Le gisement que j'ai découvert au NE de la feuille Rapaz semble plus récent, son minerai étant probablement associé à un plug rhyolitique.

Mots clés : Pérou - Cordillère Occidentale - Zone "imbriquée" - Stratigraphie du Crétacé - Magmatisme - Lignées calco-alcalines - Datations K-Ar - Minéralisations hydrothermales - Tectonique - Chevauchement polyphasé - Failles listriques inverses - Raccourcissements.

RESUMEN

Con el fin de realizar una prospección para la compañía de Minas Buenaventura, hemos estudiado y cartografiado al 1/25 000 una parte de la alta Cordillera Occidental del Perú Central (parte septentrional entre 10°32' y 10°48'S, 150 km al norte de Lima), al este del batolito de la costa.

Esta memoria empieza con la descripción del profundo valle del río Huaura que ofrece una sección natural ortogonal al eje de la Cordillera Occidental y así permite de cortar todas las estructuras.

En lo concerniente a la estratigrafía, la cuenca oeste-peruana presente en el lado occidental una serie muy potente esencialmente volcánica (grupo Casma) de edad cretácea que contiene en su base la unidad Puente Colgante, fechada del Cretáceo inferior; y en el medio la unidad Paccho Tingo depositada probablemente durante el fin del Albiano.

Más al E, la serie sedimentaria de esta cuenca Oeste peruana empieza con sedimentos terrígenos, monótonos y de edad cretácea inferior (Albiano excluido), interrumpidos por una ligera transgresión en el Valanginiense que deposita una unidad calcárea. La gran transgresión del Albiano trae carbonatos (entre ellos los de la formación Jumasha) hasta el Santoniano, época a la cual la regresión ligada a los primeros movimientos andinos hace aparecer facies continentales.

En el sector cartografiado, la biolito estratigrafía, los ambientes de sedimentación y la edad de la formación Jumasha han sido precisados. Esta última está fechada del Albiano superior hasta el Turoniano (pro parte).

Encima y ocupando una grande superficie de la Cordillera Occidental, la serie volcánica del grupo Calipuy, de edad terciaria, descansa en discordancia sobre el grupo Casma y parcialmente sobre la serie sedimentaria oriental.

Por lo que es de la tectónica, el periodo de tectogénesis empieza en el Cretáceo superior y se manifiesta por el cambio de régimen de sedimentación, suceden algunas fases compresivas relativamente breves; tres son mayores y dan estructuras de orientación NO-SE (Incaica y Quechua 1) o E-O (Quechua 3); otras dos son de menor importancia y de orientación sub-meridiana (Quechua 2 y la otra plio-cuaternaria). Por lo menos dos etapas distensivas se intercalan entre las últimas compresiones.

En la parte baja del valle del río Huaura, desde el batolito de la costa, hasta la línea de cumbres de la Cordillera Occidental, las fases compresivas andinas han conferido a las series estilos tectónicos diferentes que son de oeste en este:

- quebradizo y localmente dúctil dentro del grupo Casma;
- dúctil con pliegues de vergencia opuesta cerca de Churin (fig.6); aguas arriba de este pueblo, los pliegues asimétricos y tumbados hacia el NE;
- quebradizo y dúctil en la zona "imbricada" donde se ubican cabalgamientos que se realizan hacia el NE;

Cada estilo diferente no está ligado individualmente a una fase determinada, pero es el resultado de la superposición de varios movimientos.

El análisis de las estructuras en la zona "imbricada" enseña pliegues asimétricos a veces cisallados en su base por cabalgamientos y otras veces truncados en su techo por otros cabalgamientos.

Estos accidentes tienen probablemente como origen una reactivación en compresión de las fallas listricas normales sin-sedimentarias del borde oriental de la cuenca oeste-peruana. La geometría y la amplitud de estos cabalgamientos así como la presencia de una formación plástica de lutitas carbonosas esquistosas en la base de la serie cretácea (formación Oyon) nos sugieren que el cretáceo está enteramente despegada de los terrenos subyacentes. La ausencia de escamas de terrenos pre-cretáceos en el núcleo de los anticlinales donde aflora la formación Oyon (fin del Jurásico, Eocretáceo) nos hace suponer que el estilo tectónico en el Jurásico es menos quebradizo. Existe pues probablemente una independencia entre las estructuras del Jurásico y del Cretáceo.

Algunas fallas verticales, transversales a las estructuras rasgan la cobertura cretácea a partir de la primera fase andina mayor (fase Incaica), como lo muestra el hecho que ellas dividen el sector en unidades estructurales que tienen comportamientos tectónicos diferentes.

En el sector estudiado, el acortamiento es casi de 60 %, es a decir un nombre superior a los 40 % que podemos medir desde el límite E del batolito costanero hasta las cumbres de la Cordillera Occidental. Si admitimos que el Precambriano del umbral costero submergido, ha sido menos deformado que la zona "imbricada" estudiada, podemos admitir un acortamiento promedio de 33 % desde la fosa hasta la zona "imbricada". Para acortar el substrato de la misma cantidad, se necesita clivarlo por accidentes mayores, o bien imaginar que tiene un comportamiento más plástico y puede aplastarse en tal forma que aumente el espesor de la corteza continental.

En lo concerniente al volcanismo, la actividad ígnea corresponde a cinco pulsiones magmáticas que empiezan probablemente antes del pliegamiento andino con un episodio shoshonítico (un dique de banakita en Anamaray todavía no fechado). Es el primer descubrimiento de este tipo de intrusivos en la Cordillera Occidental peruana. Durante la tectogénesis andina, se instala luego un magmatismo intermedio; en la mina Uchucchacua se trata de un neck dacítico fechado en 25.3±0.8 M.a. Los siles y los diques cercanos del eje del sinclinal ubicado al S de Hacienda Otuto, pertenecen a una serie calco-alcalina definida y representan quizás al episodio magmático regional fechado en casi 10 M.a. Al fin del Mioceno flujos de bloques, tufos y lavas construyen al norte de Uchucchacua una serie volcánica potente de 500 m y fechada en el tope en 5.4±1 M.a.. Al principio del Plioceno, esta serie está plegada por la fase Quechua 3 en un grande sinclinal abierto de eje N-S. Por fin, intrusivos ácidos completan esta línea calco-alcalina.

Por lo que es de la metalogenia, cada pulsión magmática trae consigo un cortejo de mineralizaciones constituido de skarns ricos en grossulario, andradita, datolite y carbonatos, y de soluciones mesotermales que dan sulfosales y sulfuros de Ag, Pb, Zn, Cu. Los episodios mineralizadores que se puede explotar son fechados en 25 M.a. (?) y 9 M.a. El yacimiento que he descubierto en la parte NE de la hoja de Rapaz parece más reciente, su mineral es probablemente asociado con un "plug" riolítico.

Palabras llaves: Perú - Cordillera Occidental - Zona "imbricada" - Estratigrafía del Cretáceo - Magmatismo - Series calco-alcalinas - Dataciones K-Ar - Mineralizaciones hidrotermales - Tectónica - Cabalgamiento polifásico - Fallas listricas inversas - Acortamiento.

SUMMARY

In the course of a prospection for the Buenaventura mining company, we have studied and mapped an area in the high chain of Western Peruvian Cordillera north of Lima, (10°32' - 10°48' of southern latitude) and east of the coastal Batholite. In this region the valley of the Huaura river offers an excellent natural transverse section. The text is accompanied by a 1/25 000 map.

Stratigraphy: The study area is covered by sedimentary and magmatic rocks ranging in age from Cretaceous to recent. There are no outcrops of anterior terms of the sedimentary series of basement. The Cretaceous is formed by the rocks of the West-Peruvian Basin, in which a western volcanic facies, the Casma Group, contrasts with changing detrital and carbonate sediments in the east. The Cretaceous age of the Casma group is shown by lower Cretaceous Foraminifera at its basis and by the probably late Albian age of a subunit in its middle part. The eastern facies commences with the carbonaceous shales of the Oyon formation transitional Jurassic to Cretaceous has dated by plant remains. The detrital sedimentation (interrupted by a Valanginian marine limestone) continues until Albian transgression initiates a major period of carbonate sedimentation including the Jumasha Formation studied in detail and dated upper Albian and Turonian by Ammonites. In the Santonian the first Andine tectonic movements initiates a continental sedimentation. In the tertiary the volcanic Calipuy Group recovers in angular discordance the Casma Group and partially the eastern series.

Deformation begins in the upper Cretaceous. The major phases of folding in the area can be identified with the phases Inca and Quechua 1 giving SE-NW axes and the phase Quechua 3 with N-S axes. Two generations of faults and fold (?) are attributed to the Quechua 2 phase and a plio-quadernary phase. At least two tensional phases can be recognised between the last compressions.

Along the section of the río Huaura different styles of deformation succeed each other. From west to east:

- fragile and locally ductile in the Casma Group;
- ductile and folded with both vergences NE and SW near Churin (fig.6);
- asymmetrical folds with vergence NE;
- faulted and folded in the "imbricated" zone characterised by a succession of thrusts to the NE.

The diverse types of deformation cannot be attributed to the different phases but are the result of the superposition of one phase upon another.

The thrusts of the "imbricated" zone probably reworked old. Listric normal faults on the eastern border of the West-Peruvian Basin. The importance, the geometry of these thrusts and the absence of the Jurassic in these thrusts seems to indicate a general decollement and an large independence in their deformation facilitated by the coaly shales of the Oyon Formation (limit between Jurassic and Cretaceous). In the study area shortening is approximately 60 %. This allows us to estimate a mean shortening of 33 % for the entire section from the trench to the "imbricated" zone. The corresponding shortening in the basement might have been accomplished by major thrust faults or by plastic deformation.

Magmatism. Five magmatic pulses have been recognised. The oldest being the injection of an undated banakite dyke probably before the Andean deformation event. This was followed by an intermediate magmatism at 25.3±0.8 m.y. as given by a dacitic stock in the Uchucchacua mine.

The sills and dykes found near the area of a syncline to the south of Hacienda Otuto belong to a defined calc-alkaline trend and probably belong to a regional magmatic pulse dated at 10 m.y. At the end of the Miocene a magmatic event took place which has been dated 5.4±1 m.y. consisting of a series of lavas and tuffs to the north of Uchucchacua which is at least 500 m thick. These were then deformed and folded by the Quechua 3 phase into a large open syncline trending N-S which were intruded by acidic dykes.

Mineralisation. Each magmatic pulse has created a mineralised aureole of skarn rich in grossular, andradite, datolite and carbonate minerals, this together with the passage of hydrothermal solutions has given deposits of sulphides and sulphosalts of silver, lead, zinc and copper. The magmatic episodes which have given rise to economically deposits have been dated to 25 m.y. (?) and 9 m.y.

The deposit which I have discovered in the North Eastern sector of the Rapaz sheet, would appear to be more recent and the mineralization is probably associated with an acid intrusion.

Key-words: Perú - Western Cordillera - "Imbricated" zone - Cretaceous stratigraphy - Magmatism - Calc-alkaline trends - K-Ar datations - Hydrothermals mineralisations - Tectonics - Polyphase overthrusts - Inverse listric faults - Shortening.

SOMMAIREAVANT PROPOSRESUMECHAPITRE I - INTRODUCTION

1. Cadre géographique	15
2. Cadre géologique	15
2.1. Le Pérou dans le cadre de la tectonique des plaques.....	15
2.2. Structure et évolution de la chaîne limbinaire.....	15
2.2.1. Structure	17
2.2.2. Evolution structurale de la chaîne	23
3. Bref historique des travaux antérieurs	24
3.1. Travaux stratigraphiques et tectoniques.....	24
3.2. Travaux miniers du district Uchucchacua	25
4. Problèmes posés au départ de cette étude.....	25
5. Méthodologie	26

CHAPITRE II - COUPE DE LA VALLEE DU RIO HUAURA

1. Présentation générale	29
2. Les grands traits de la stratigraphie dans la vallée du Rio Huaura.....	29
2.1. Introduction	29
2.2. Groupe Casma (Crétacé) 6 000 m.....	33
2.2.1. Sous-unité basale du Groupe Casma = Sous unité Puente Colgante	33
2.2.2. Sous unité euxinique du Casma moyen, non datée = Sous unité Paccho Tingo	33
2.3. Conclusion sur le groupe Casma de la vallée du Rio Haura.....	36
2.4. Les sédiments d'âge crétacé dans la Cordillère Occidentale à l'Est de Churin	36
2.4.1. Variations latérales de faciès au sein de la série détrit- ique du Crétacé inférieur, Albien exclu	36
2.4.2. Variations latérales de faciès au sein de la série carbona- tée du Crétacé supérieur, Albien inclus.....	37
2.5. Le volcanisme tertiaire postérieur à la tectonique principale (groupe Calipuy)	37

9 - Avril 2003

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES SCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tél. 04 76 63 5427 - Fax 04 76 51 4058
 Mail: rplour@ujf-grenoble.fr

2.6. Conclusion sur la stratigraphie de la vallée du Rio-Huaura	37
3. Structure de la vallée du Rio Huaura en amont du batholite côtier.....	38
3.1. Commentaires de la coupe du SW vers le NE	38
3.2. Les micro-structures au sein de la vallée du Rio Huaura	39
3.3. Conclusion sur le style tectonique de la vallée du Rio Huaura	39

**CHAPITRE III - DESCRIPTION DES FORMATIONS GEOLOGIQUES SEDIMENTAIRES DU BORD
ORIENTAL DE LA CORDILLERE OCCIDENTALE**

1. Présentation générale	43
1.1. Introduction	43
1.2. Contributions pour la datation de la série sédimentaire d'âge crétacé supérieur	43
1.3. Evolution des faciès depuis la fin du Jurassique, et parallèle avec l'eustatisme mondial	46
2. Description des formations sédimentaires de la Cordillère Occidentale péruvienne	46
2.1. Le Jurassique terminal et le Crétacé inférieur (essentiellement terrigène) jusqu'à l'Aptien compris	46
2.1.1. Oyon (400 m au minimum)(Portlandien Berriasien).....	47
2.1.1.1. Lithologie	47
2.1.1.2. Age et milieu de dépôt.....	47
2.1.2. Chimú (600 m) (probablement berriaso-valanginienne).....	48
2.1.2.1. Lithologie et limite inférieure.....	48
2.1.2.2. Age et milieu de dépôt	48
2.1.3. Santa (60 m) (Valanginien pro-parte).....	48
2.1.3.1. Lithologie et limite inférieure.....	48
2.1.3.2. Age et milieu de dépôt.....	49
2.1.4. Carhuaz (450 m) (Valanginien supérieur à Barrémien).....	49
2.1.4.1. Lithologie, limite inférieure et niveau repère.....	49
2.1.4.2. Age et milieu de dépôt	49
2.1.5. Farrat (30 à 85 m) (probablement aptien)	49
2.1.5.1. Lithologie et limite inférieure	49
2.1.5.2. Age et milieu de dépôt	51

2.2. Le Crétacé supérieur carbonaté de l'Albien au Crétacé terminal	51
2.2.1. Pariahuanca (150 m) (Albien inférieur)	51
2.2.1.1. Lithologie et limites	51
2.2.1.2. Age et milieu de dépôt	51
2.2.2. Chulec (200 m) (Albien moyen)	53
2.2.2.1. Lithologie, limites et variations latérales de faciès	53
2.2.2.1.1. Sur les cartes Uchucchacua, Hacienda Otuto	53
2.2.2.1.2. Sur la carte Rapaz	53
2.2.2.2. Age et milieu de dépôt	53
2.2.3. Pariatambo (60 m) (fin de l'Albien moyen)	53
2.2.3.1. Lithologie, limites et variations latérales de faciès	53
2.2.3.2. Age et milieu de dépôt	55
2.2.4. Jumasha ;.....	55
2.2.4.1. Présentation de la formation	55
2.2.4.1.1. Lithologie, limites et subdivisions	55
2.2.4.1.2. Age	57
2.2.4.2. Membre inférieur: Jumasha inférieur (570 m) (Albien supérieur-Turonien pro-parte).....	57
2.2.4.2.1. Lithologie, âge et milieu de dépôt des différentes unités A,B,C,D	57
2.2.4.2.2. Synthèse pour le membre inférieur de la formation Jumasha	61
2.2.4.3. Membre moyen: Jumasha moyen (485 m) (Turonien).....	61
2.2.4.4. Membre supérieur: Jumasha supérieur (105 m) (Turo- nien supérieur)	61
2.2.5. Celendin (500 m) (Turonio-coniacien	63
2.2.5.1. Membre inférieur: Célandin inférieur (300 m) Turonien pro-parte	63
2.2.5.2. Membre supérieur: Célandin supérieur (220 m) (Coniacien, Santonien pro-parte).....	63
2.4. Crétacé terminal et Tertiaire continental	64

2.4.1. Couches rouges	64
2.4.1.1. Membre inférieur	64
2.4.1.2. Membre supérieur	64
2.4.2. Les brèches tertiaires au NW de Hacienda Otuto	64
2.4.2.1. Brèche polygénique inférieure	67
2.4.2.2. Brèche monogénique supérieure	67
3. Les remplissages karstiques	67
3.1. Introduction	67
3.2. Description des remplissages karstiques dans l'ordre probable d'apparition	69
3.2.1. Premier remplissage K1	69
3.2.2. Deuxième remplissage K2	69
3.2.3. Troisième remplissage K3	70
3.2.4. Quatrième remplissage K4	70
3.2.5. Cinquième remplissage K5	70
3.2.6. Conclusion	71
3.3. Chronologie relative entre les différents remplissages	71
4. Description des formations superficielles quaternaires	72
5. Evolution des glaciers depuis 1962	73

CHAPITRE IV - LE MAGMATISME CALCO-ALCALIN ENTRE 10°30' et 10°50' S DANS LA HAUTE CORDILLERE OCCIDENTALE PERUVIENNE ET LES MINERALISATIONS ASSOCIEES

1. Introduction	79
2. Gisements	79
2.1. Les porphyres gris-violacé ou verts	81
2.1.1. Volcanisme du secteur nord	81
2.1.2. Les intrusifs du district Laccha Anamaray	81
2.1.3. Les sills et les dykes entres les vallons Jachacancha et Pampahuay	82
2.1.4. Le secteur sud entre Cochaquillo et Conchamarca	82
2.2. Les porphyres blancs	82
2.2.1. Au Nord de Uchucchacua	82
2.2.2. Au Sud de Uchucchacua	83
3. Pétrographie et minéralogie de la série porphyrique	83
3.1. Introduction	83
3.2. Les porphyres gris-violacé ou verts	83

3.2.1. Pétrographie et minéralogie des roches éruptives	85
3.2.2. Pétrographie et minéralogie des roches intrusives	85
3.2.2.1. Les roches intrusives intermédiaires microlitiques	85
3.2.2.2. Les roches intrusives grenues	87
3.2.2.2.1. L'intrusif du lac Laccha	87
3.2.2.2.2. Le dyke de banakite (G)	87
3.2.3. Caractérisation et nomenclature	89
3.2.4. Deux exemples d'évolution magmatique	89
3.3. Les porphyres blancs	91
3.3.1. Pétrographie et minéralogie des porphyres blancs	91
3.3.2. Caractérisation et nomenclature (Tableau 4)	91
4. Géochimie des éléments majeurs de la série porphyres blancs, porphyres verts de la haute Cordillère occidentale entre 10°35' et 10°45' S	93
4.1. Géochimie et altération	93
4.2. Caractérisation du magmatisme	95
4.2.1. Diagramme alcalins / SiO ₂	95
4.2.2. Diagrammes triangulaires AFM et A'FM	96
4.2.3. Diagrammes chimico-minéralogiques de DE LA ROCHE	96
4.2.4. Indice de différenciation (D.I.) en fonction des éléments invariants MgO et TiO ₂	99
5. Radiochronologie potassium argon	100
5.1. Données bibliographiques	100
5.2. Datations effectuées à l'Institut Dolomieu	102
6. Conclusion sur le magmatisme de la haute Cordillère Occidentale péruvienne entre 10°30' et 10°50'	102
7. Minéralisations économiquement exploitables ou en cours d'exploitation dans le secteur carté	104
7.1. Minéralisation de Uchucchacua	105
7.1.1. Travaux antérieurs	105
7.1.2. Pétrographie des grenatites vertes recoupant l'intrusif	107
7.2. Minéralisation au Nord du C° Chacua	108
7.3. Chronologie des minéralisations	108
8. Conclusion sur le magmatisme et les minéralisations associées	109

CHAPITRE V - ETUDE STRUCTURALE DE LA ZONE UCHUCCHACUA, HACIENDA OTUTO, RAPAZ,
CORDILLERE OCCIDENTALE

1. Les zones structurales	113
1.1. Présentation générale	113
1.1.1. Subdivision E W	113
1.1.2. Subdivision NS en cinq unités	114
2. Caractères généraux et descriptions des divers compartiments	114
2.1. Unité AA'	121
2.1.1. Compartiment A	121
2.1.2. Compartiment A'	121
2.1.2.1. Ecailles et klipptes du compartiment A'	121
2.1.2.2. Les décollements du compartiment A'	123
2.1.2.3. Structure du volcanisme et des intrusifs du compartiment A'	123
2.1.2.4. Microstructures	126
2.1.3. Conclusion	129
2.2. Unité BB'	131
2.2.1. Compartiment B	131
2.2.2. Compartiment B'	133
2.2.2.1. Structure du compartiment B'	133
2.2.2.2. Structure de la mine de Uchucchacua	135
2.2.3. Chronologie des événements géologiques dans l'unité BB'	137
2.3. Unité CC'	137
2.3.1. Compartiment C	141
2.3.2. Compartiment C'	141
2.4. Unité DD'	145
2.5. Unité E	145
3. Rôle et comportement des "failles transverses" Mancacuta Paton Sura et Cochaquillo	147
4. Mesures de raccourcissement dans la haute Cordillère Occidentale	152
5. Discussion à propos des accidents de faible inclinaison dans la Cordillère Occidentale	153
6. Chronologie des événements tectoniques - Résumé sous forme de tableau	155

CHAPITRE VI - CONCLUSIONS GENERALES

1. Stratigraphie	159
2. Magmatisme et minéralisation	160
3. Tectonique	163
3.1. Commentaires du tableau 5 récapitulatif des événements géologiques	163
3.2. Comparaisons avec les données bibliographiques	163
3.3. Styles tectoniques de la Cordillère Occidentale depuis la batholite côtier	164
3.4. Conséquences de la géométrie des accidents à la base des nappes pour la structure profonde de la Cordillère Occidentale	165
4. Ouverture sur d'autres travaux	167

REFERENCES CITEES	169
-------------------------	-----

CHAPITRE I - INTRODUCTION

1. CADRE GEOGRAPHIQUE
2. CADRE GEOLOGIQUE
3. BREF HISTORIQUE DES TRAVAUX ANTERIEURS
4. PROBLEMES POSES AU DEPART DE CETTE ETUDE
5. METHODOLOGIE

I N T R O D U C T I O N

Le secteur étudié couvre 300 km² de la Cordillère Occidentale du Pérou, 150 km au nord de Lima, dans le district minier de Uchucchacua (Fig. 1). A l'origine de cette étude notre préoccupation était d'une part, établir une carte au 1/25 000e d'une bande large de 10 km et longue de 30 km allongée NNW-SSE suivant l'axe des mégasstructures, et d'autre part, définir les relations entre la structure et les minéralisations pour les futures campagnes de prospection de la compagnie minière Buenaventura. Les observations, les échantillonnages, les analyses et les travaux de laboratoire ont également permis de préciser la stratigraphie, de préciser et de dater les différentes pulsions magmatiques et enfin de caler la tectonique par rapport aux différentes phases compressives définies dans la littérature.

1. CADRE GEOGRAPHIQUE

La topographie des Andes péruviennes réglée parallèlement à la côte oppose la frange Pacifique, désertique, coupée d'oasis, aux grandes montagnes andines et aux plaines et collines forestières de l'Amazonie. Pour rejoindre le secteur étudié, la panaméricaine conduit à Huacho, (Fig. 1) où on emprunte la grande vallée du rio Huaura pour rejoindre, 130 kilomètres à l'intérieur des terres, le faite de la Cordillère Occidentale où le Santa Rosa culmine à 5 700 m et où les cols dépassent 4 700 m. A ces altitudes, le climat est froid et sec de juin à octobre, ensuite arrivent les pluies qui radoucissent le climat.

La végétation à ces altitudes supérieures à 4 000 m est constituée d'une steppe herbeuse où le fameux "Ichu" tient une place de choix avant les stipas, les fétuques et les pois aux feuilles rêches cellulosiques. Les Quinoars (des polylepis calcifuges) occupant la base des éboulis siliceux, donnent un bois nouveau servant pour la charpente des chaumes des bergers ou des éleveurs de lamas. Les anciens ombilics glaciaires, points bas de ces montagnes sont occupés soit par des lacs, soit par des marécages à plantes en rosettes ressemblant à des tapis de mousse. Cette steppe herbeuse masque peu la géologie, aussi les conditions d'affleurement sont excellentes sauf dans les fonds de vallons où les moraines sont imposantes.

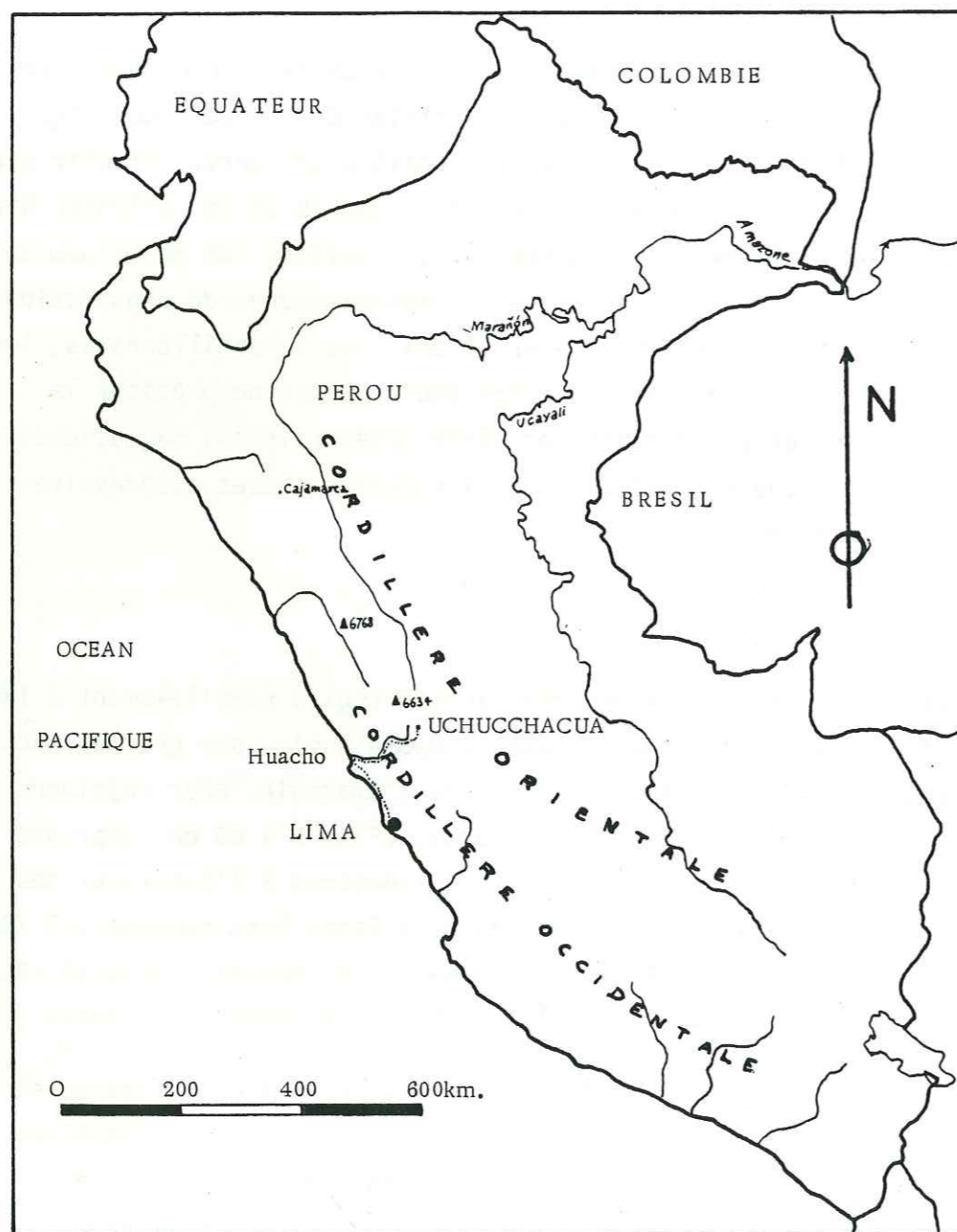


Fig. 1 Localisation géographique de la mine Uchucchacua
Itinéraire

2. CADRE GEOLOGIQUE

2.1. LE PEROU DANS LE CADRE DE LA TECTONIQUE DES PLAQUES

Les données géophysiques et océanographiques indiquent que la plaque océanique au large du Pérou-Chili plonge au niveau d'une surface de subduction affleurant à une centaine de kilomètres au large de la côte, au fond de la fosse océanique : nous sommes donc sur une marge active. Le plan de subduction matérialisé par la répartition des foyers sismiques fait un angle de 10° avec l'horizontale dans le nord Pérou (M. Barazangi, B. Isacks, 1979). Il n'existe pas d'arc sédimentaire sinon un prisme d'accrétion peu volumineux (D.M. Hussong et al., 1976). Cette observation rend vraisemblable l'engloutissement d'une partie du matériel sédimentaire, porté par la plaque, dans le plan de Benioff.

La subduction de la plaque de Nazca sous le Pérou semble avoir débuté au Crétacé supérieur selon B. Dalmayrac, G. Laubacher, R. Marocco, (1977) ; au Lias et peut être au Trias selon F. Mégard, (1973) On peut penser que la construction de l'édifice andin péruvien s'est réalisée de manière continue. De fait, les travaux géologiques antérieurs nous enseignent l'existence, depuis le crétacé terminal, de phases compressives brèves, synchrones sur plusieurs milliers de kilomètres et d'épisodes de distension de longue durée. F. Mégard (1973) B. Dalmayrac et M. Mattauer (1980) proposent que les phases de compression correspondent à un blocage de courte durée entre plaque océanique et plaque continentale qui serait dû à une accélération de la vitesse d'accrétion. Par contre, une vitesse d'accrétion constante correspond à un régime normal de subduction qui entraîne essentiellement de la distension dans le continent voisin. Ces considérations de tectonique globale peuvent s'appliquer à la zone d'étude de ce mémoire où le matériel crétacé est affecté par cinq phases compressives et au moins deux phases distensives.

2.2. STRUCTURE ET EVOLUTION DE LA CHAÎNE LIMINAIRE

2.2.1. Structure

Deux coupes synthétiques, l'une suivant la vallée Huaura (B. Dalmayrac, 1973) et l'autre passant par Lima (F. Mégard, 1973, Fig. 4) donnent l'anatomie de cette chaîne. La coupe schématique antéplissement (Fig.5 A)

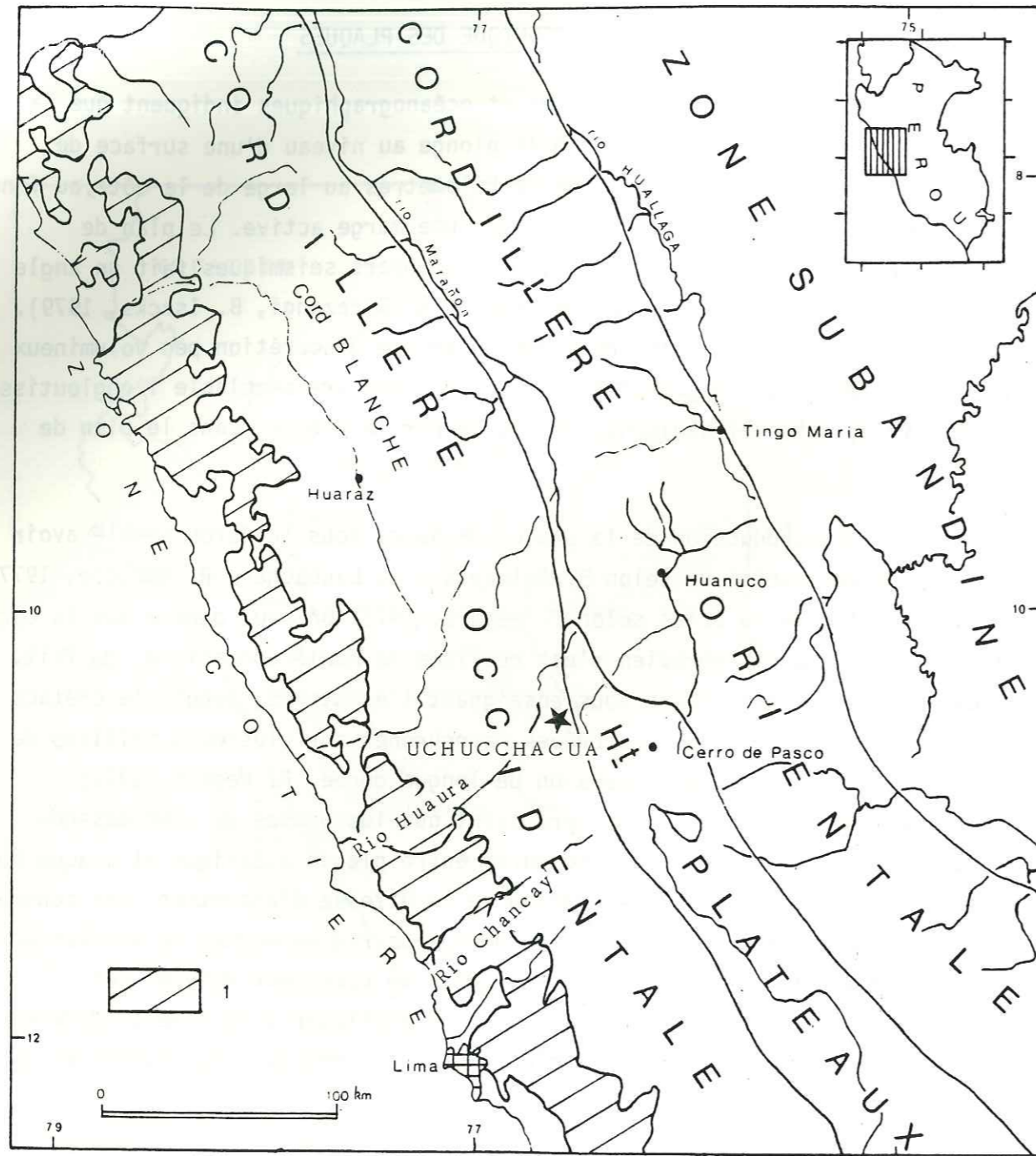


Fig. 2 - Zonation morphostructurale. D'après B. DALMAYRAÇ. (1977)
1. batholite de la Cordillère occidentale

Fig. 3 Reproduction partielle de la carte géologique du Pérou au 1/1 000 000 localisant la zone d'étude par rapport à Lima.

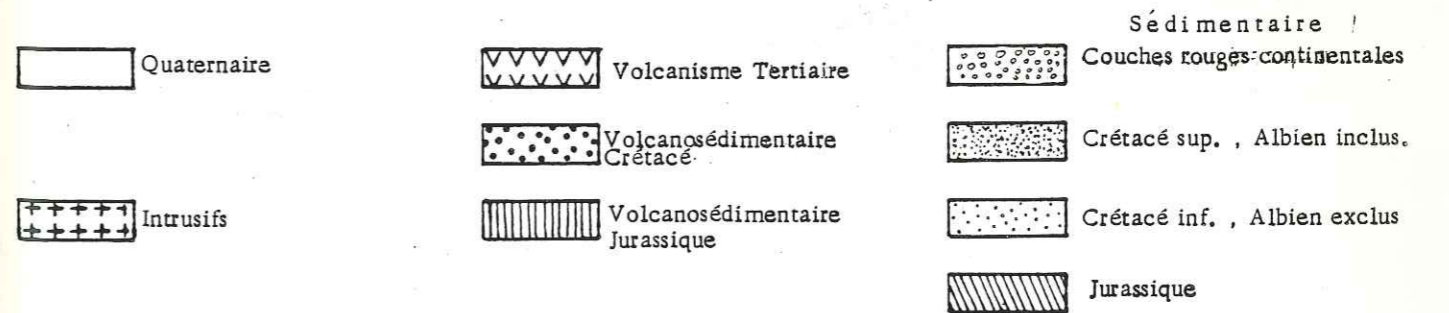
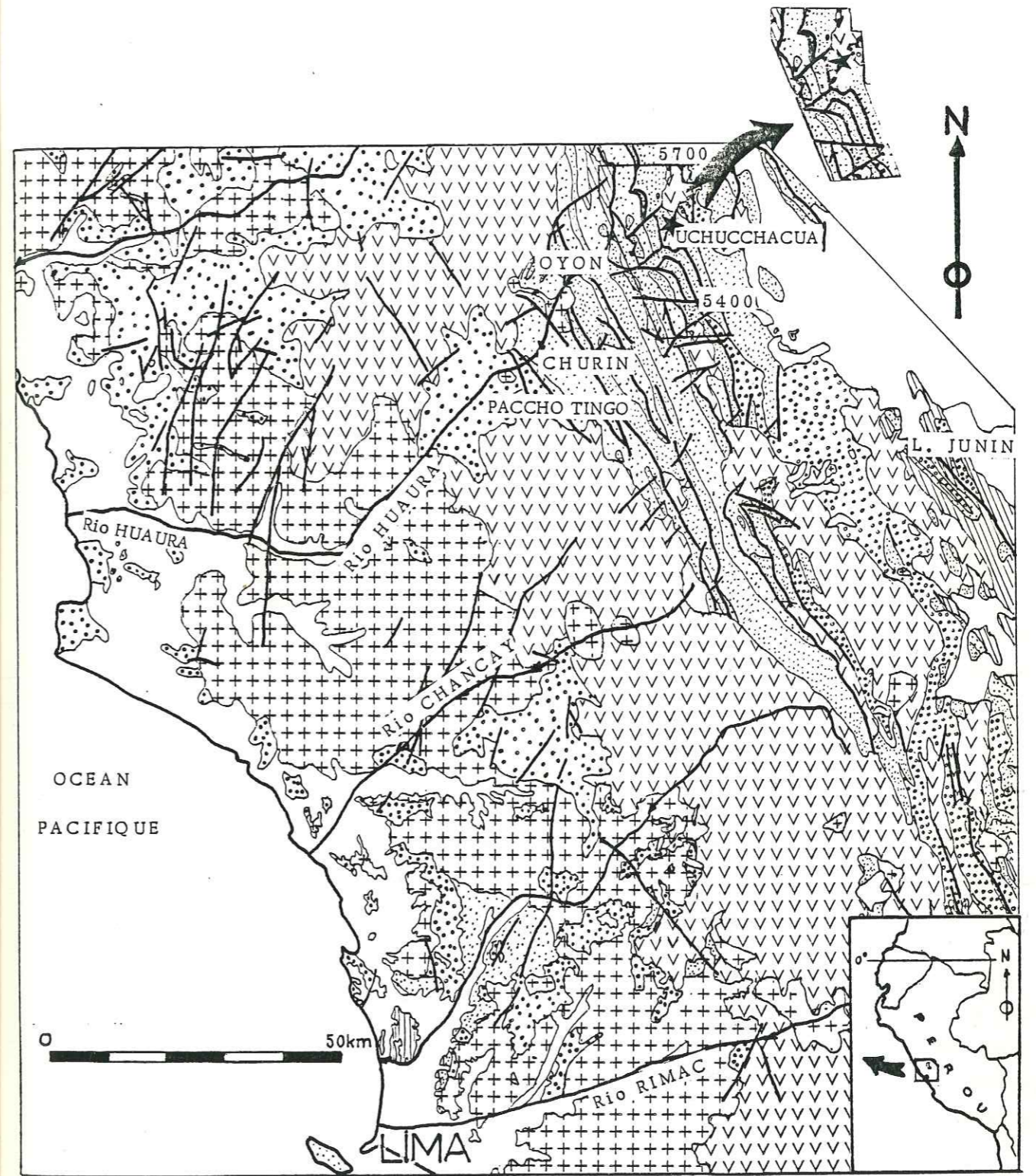
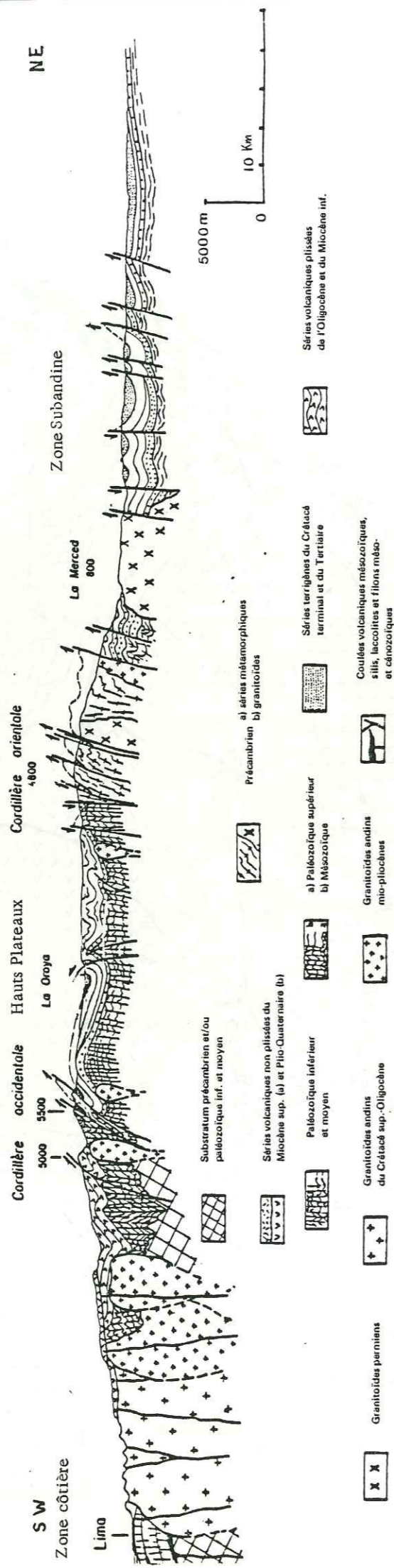


Figure 4 - COUPE DES ANDES DU PÉROU CENTRAL, d'après MEGARD (1973)



fait ressortir de fortes variations latérales de faciès et d'épaisseur qui sont à l'origine des différentes zones structurales par leur comportement différent vis à vis des contraintes tectoniques. A noter que le Précambrien et le Paléozoïque inférieur n'affleurent presque pas sur la transversale du Pérou central.

On distingue d'ouest en est cinq zones structurales (Fig. 2)

- La zone côtière en grande partie immergée à la latitude du Pérou Central s'arrête côté Est contre le batholite côtier. Elle se caractérise par un Précambrien fortement tectonisé et métamorphisé, situé à 60 km au large de Huacho et à 200 m de profondeur (L. Kulm et al., 1981). Le Paléozoïque est faiblement plissé et le Mésozoïque peut être, localement, fortement tectonisé (Myers, 1980). Les bassins tertiaires immergés ou émergés reposent en discordance sur les structures antérieures.

- La Cordillère Occidentale où affleurent seulement le Crétacé et le Tertiaire, présente du côté W des déformations plicatives avec une schistosité associée, affectant un matériel volcanodétritique.

Dans la zone faîtière, des écaïlles chevauchent sur l'avant-pays. Le batholite côtier, large de 50 kilomètres (Fig. 2) recoupe les séries volcano-sédimentaires et occupe toute la partie inférieure du versant pacifique. La couverture volcanique Tertiaire est discordante sur le Secondaire.

- Les Hauts Plateaux. On y retrouve le Méso-Cénozoïque ainsi que quelques pointements de Paléozoïque. Le plissement y est faible mais son intensité croît vers l'E lorsqu'on franchit la ligne de failles inverses chevauchantes soit vers le SW (ligne du Mantaro) aux environs de la Oroya sur la figure 4 , soit vers le NE, 150 km au nord (voir coupe de B. Dalmayrac, 1973).

- La Cordillère Orientale qui du point de vue structural s'étend jusqu'aux collines subandines, possède une série stratigraphique complète mais avec un Crétacé très réduit et parfois absent car à cette époque, elle correspondait au géanticlinal du Marañon souvent émergé (Fig.5 B). Les discordances entre les tectorogènes Précambrien, Hercynien et Andin apparaissent bien dans cette cordillère; ils sont sans doute aussi présents ailleurs mais n'affleurent pas.

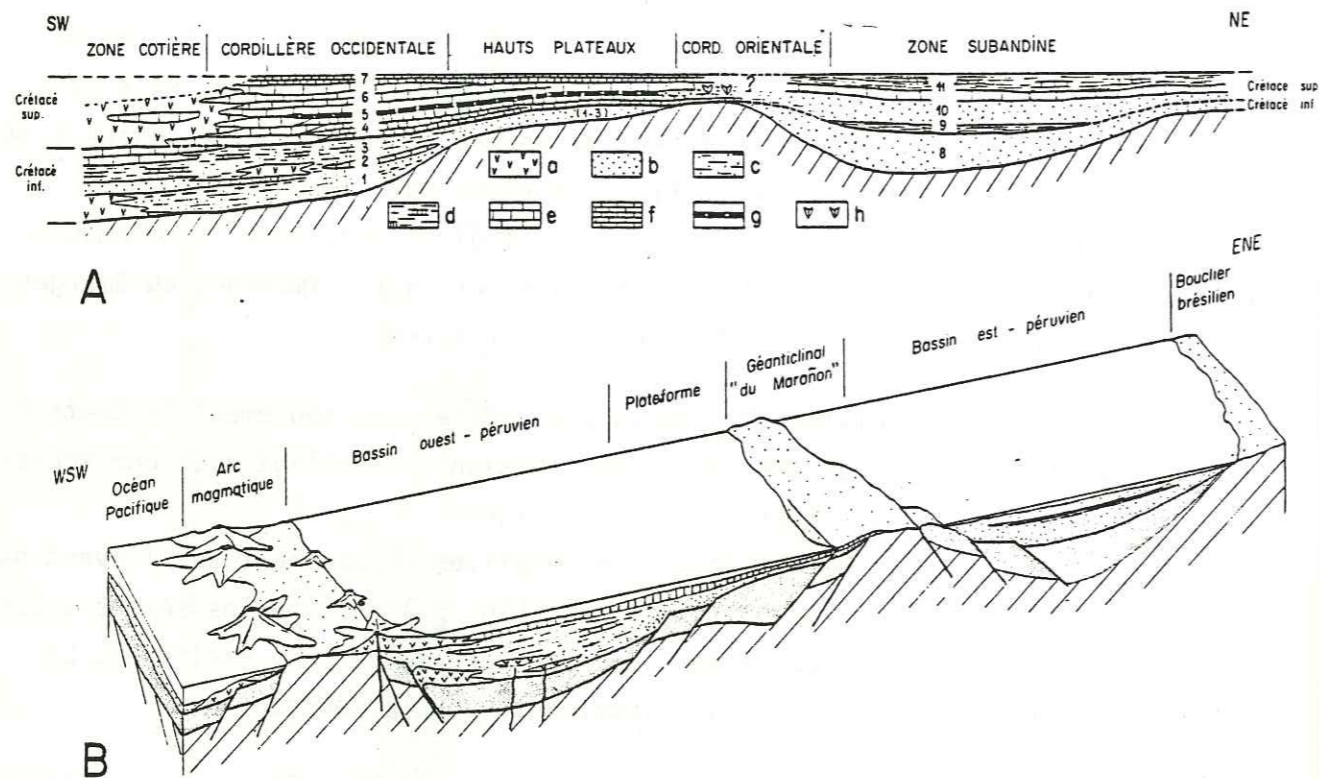


Fig. 5 — Les changements de faciès du Crétacé dans le Pérou central d'après: Mégard F. (1973)

A. — Variations latérales sur une coupe SW-NE. 1. fm. Oyon (sup.) et Chimu: Berriasien à Valanginien inférieur. 2. fm. Santa: Valanginien supérieur. 3. fm. Carhuaz et Pariahuanca: Hauterivien à Albien inférieur. 4. fm. Chulec: partie inférieure de l'Albien moyen. 5. fm. Pariatambo: partie supérieure de l'Albien moyen. 6. fm. Jumasha: Albien supérieur à Coniacien. 7. fm. Celendin: partie inférieure du Santonien. 1-3. fm. Goyllarisquiza: Berriasien à Albien inférieur (Néocomien). 8. Partie inférieure de la fm. Agua Caliente: Berriasien (?) à Albien inférieur. 9. mbre. Esperanza: base de l'Albien moyen. 10. Partie supérieure de la fm. Agua Caliente: milieu de l'Albien moyen. 11. mbre. Huaya et fm. Chonta: sommet de l'Albien moyen à Coniacien. a. Faciès volcaniques et volcano sédimentaires. b. Grès ou quartzites. c. Grès et shales. d. Shales et calcaires. e. Calcaires francs. f. Calcaires marneux. g. Calcaires bitumineux. h. Evaporites.

B. — Bloc-diagramme montrant le dispositif paléogéographique qui contrôle la sédimentation au milieu de l'Albien moyen. Le substratum pré-mésozoïque apparaît en barré oblique et les séries triasiques et jurassiques en grisé.

- La zone Subandine, faiblement plissée lors de la phase pliocène, à part quelques chevauchements, possède une série stratigraphique complète depuis l'Ordovicien et peut-être le Cambrien jusqu'au Pliocène.

2.2.2. Evolution structurale de la chaîne

Les Andes montrent la superposition de trois édifices tectoniques :

- au Précambrien plusieurs orogènes dont le dernier serait d'âge "baïkalien" ;
- la chaîne hercynienne édiflée au dévonien supérieur ;
- la chaîne andine dont l'orogénèse débuta au Crétacé supérieur et continue encore actuellement.

Après la mise en place de la chaîne éohercynienne et des pulsations tardives de l'orogénèse hercynienne qui durent jusqu'au Trias inférieur, s'installe une période plus calme où s'effectue l'essentiel de la sédimentation andine et où les seules structures actives semblent être quelques failles subsidentes de bordure de bassin (Fig. 5B). Dans la partie ouest de la Cordillère Occidentale une guirlande d'îles volcaniques à substratum sialique liée à la subduction de la plaque de Nazca, fournit un matériel magmatique important.

Au Santonien débute la tectogenèse andine dans laquelle on a distingué trois phases plicatives : Péruvienne, Inca, Quechua (Steinmann, 1929). Elles se placent respectivement à la fin du Crétacé, à la fin de l'Eocène et au Mio-pliocène. En 1973, F. Mégard a décrit la phase Quechua 1 d'âge Miocène. Des travaux récents (J.P. Soulas, 1975 ; M. Sebrier, A. Lavenu, M. Fornari et J.P. Soulas, à paraître) ajoutent deux phases de compression se manifestant essentiellement par des structures cassantes, une au Miocène moyen (Quechua 2), l'autre au Quaternaire. La phase située à la limite Miocène-Pliocène (phase Quechua de G. Steinmann) s'appellera alors Quechua 3. Ces phases compressives ne sont pas toutes représentées dans les différentes zones structurales andines. Par exemple, la phase Péruvienne est seulement marquée par le passage d'une sédimentation marine à une sédimentation continentale dans la Cordillère Occidentale.

Le magmatisme andin de type calco-alcalin est imposant. Le batholite côtier qui se met en place entre la fin du Crétacé et le début du Miocène se suit sur 1 300 km de long et souvent 50 de large. Un volcanisme intermédiaire à

acide se développe durant le Tertiaire supérieur à l'est du batholite. Après la phase Incaïque, des surfaces d'érosion (perchées actuellement à des altitudes de 4 000 m et plus) régularisent les reliefs. Ces anciens aplanissements ont été datés à 60 kilomètres à l'E de Lima à Santo Domingo de las Orellos où la vieille surface, recoupant les terrains crétacés et le batholite côtier, est recouverte par un ignimbrite de 41.3 ± 0.5 Ma (D.C. Noble, E.M. McKee, F. Mégard, 1978). Mais cette vieille surface sur laquelle s'installent les volcanites d'âge 40 à 20 Ma, est le plus souvent plissée avec les dites volcanites, sauf sur le batholite et à sa proximité; ainsi les surfaces qui jouent vraiment un rôle dans la morphogénèse sont plus tardives. Le creusement des grands cañons, postérieur aux paléotopographies aplanies, serait relativement ancien. En effet, 200 kilomètres au nord de Lima dans la vallée du rio Fortaleza, des ignimbrites de la fin du Miocène (6 Ma, J.S. Myers, 1976) (si cette roche acide ne possède pas un excès d'argon radiogénique) sont situées seulement 50 m au-dessus de la rivière. Ainsi le creusement réalisé à cette époque implique qu'un des grands épisodes de la surrection andine est contemporain et postérieur à la phase tectonique compressive du Miocène supérieur (M. Sébrier, R. Marocco, J. Machare, 1982).

La zone cartographiée se situe sur le bord oriental de la Cordillère Occidentale. Nous sommes en bordure de bassin et les failles listriques normales caractéristiques de ces zones subsidentes ont joué ici un rôle important lors de l'orogénèse andine.

3. BREF HISTORIQUE DES TRAVAUX ANTERIEURS

3.1. TRAVAUX STRATIGRAPHIQUES ET TECTONIQUES

En 1919, E.I. Duenas cartographie une grande surface dans la partie septentrionale du Pérou central pour illustrer une étude sur les gisements de charbon de la Cordillère Occidentale. En 1924, D.U. Mc Laughlin synthétise les données géologiques recueillies par la "Cerro de Pasco Corporation"; il établit les grandes lignes de la stratigraphie du Pérou Central et définit entre autres, plusieurs phases dans la tectogénèse andine.

En 1960, J.V. Harrison et J.J. Wilson étudient la transversale Huacho Oyon Uchucchacua Vinchos (Cordillère Orientale) et lèvent à la planchette une carte au 1/150 000e.

En 1963, J.J. Wilson réalise une étude détaillée de la stratigraphie du Crétacé, document de base pour effectuer des levés de terrain.

A partir de 1960, le service de la carte géologique du Pérou, actuellement dénommé Instituto Geológico Minero y Metalurgico, entreprend la cartographie géologique systématique du Pérou au 1/100 000e en collaboration avec l'ORSTOM, le CNRS et l'Institute of Geological Sciences. L'anglais J. Cobbing lève six cartes au 1/100 000e dans la région concernée qu'il publie en 1973. La même année B. Dalmayrac propose une coupe générale des Andes péruviennes sur la transversale Huacho Churin et en 1977, dans sa thèse il décrit la relation existant entre les décrochements et la tectonique souple dans la région d'Oyon.

En 1971, J.J. Wilson, dans un rapport pour la compagnie Buenaventura, étudie la stratigraphie et la structure des environs de la Mine Uchucchacua. Ajoutons enfin que l'équipe du professeur Pitcher a récemment travaillé sur le batholite côtier (E.J. Cobbing, W.S. Pitcher et al. 1981).

3.2. TRAVAUX MINIERES DU DISTRICT UCHUCCHACUA

Le district minier Uchucchacua fut décrit en 1897 par Torrico y Mesa, puis mentionné par D.H. McLaughlin en 1921. La compagnie Buenaventura commença ses explorations en 1960 et exploite actuellement plus de 500 tonnes de minerai (Ag, Pb, Zn) par jour. En 1976, J.A. Molina Barriga (+) réalisa les principaux travaux géologiques miniers ainsi que les explorations dans le secteur. U. Petersen (1979), géologue consultant de la compagnie, patronna un de ses étudiants, C. Alpers, pour réaliser une étude minéralogique et métallogénique très poussée de la principale veine de minerai exploitée, dans le cadre d'un "A.B. degree" présenté en 1980 à Harvard. D.C. Noble (1980) date, dans un rapport pour la compagnie, l'intrusif dacitique de la mine.

4. PROBLEMES POSES AU DEPART DE CETTE ETUDE

La compagnie Buenaventura désirant une carte précise au 1/25 000e du secteur Uchucchacua Hacienda Otuto, nous devons tout d'abord préciser la stratigraphie, dater et surtout subdiviser la formation Jumasha (Albien terminal à Turonien) épaisse de 1 200 m, et enfin lever une carte géologique. La carte au 1/100 000e de E.J. Cobbing (1973) bien que parfois erronée, par suite de sa

réalisation à partir de photos aériennes, me guida sur le terrain (l'auteur précise sur ses cartes que les signes de pendage non chiffrés proviennent d'une photo interprétation). L'étude du magmatisme, des minéralisations, des remplissages karstiques et des microstructures, me permettront d'établir une chronologie des événements géologiques, donc de relier tectonique et minéralisation. La signification de cette fameuse zone "imbriquée" à tectonique tangentielle, localisée au faite de la Cordillère Occidentale, ainsi que le rôle des accidents transverses majeurs, devaient être précisés.

5. METHODOLOGIE

Pour essayer de répondre aux problèmes posés, la démarche suivante a été adoptée :

- cartographie systématique au 1/25 000e de 300 km² ;
- levés de coupes et étude des microfaciès en lames minces pour dater le Crétacé supérieur et déterminer les milieux de dépôt ;
- analyse sédimentologique et diffraction aux rayons X (pour les fins des remplissages karstiques récents ;
- échantillonnage du magmatisme pour donner sa typologie (lames minces et analyses chimiques), la géochimie et les datations ;
- échantillonnage du skarn (lames minces et rayons X) pour essayer de différencier les minéralisations ;
- étude microtectonique de certains accidents majeurs et dessins d'après photos d'affleurements présentant un intérêt pour la géométrie des accidents et des plis dans la zone "imbriquée".

Pour situer le secteur Uchucchacua-Otuto par rapport à la côte Pacifique, nous allons étudier la géologie de la vallée du rio Huaura.

CHAPITRE 2 - COUPE DE LA VALLEE DU RIO HUAURA

1. PRESENTATION GENERALE
2. LES GRANDS TRAITES DE LA STRATIGRAPHIE DANS LA VALLEE DU RIO HUAURA
3. STRUCTURE DE LA VALLEE DU RIO HUAURA EN AMONT DU BATHOLITE COTIER

1. SITUATION DE LA ZONE ETUDIEE SUR LA TRANSVERSALE DU RIO HUAURA (FIG. 6)

Le secteur que nous avons cartographié se situe dans la "zone imbriquée" sur les hauteurs de la Cordillère Occidentale. Paléogéographiquement il se trouve sur le bord oriental du bassin crétacé ouest-péruvien. Pour le replacer dans son contexte géologique, nous allons donner une coupe synthétique allant du Pacifique au faite de la Cordillère Occidentale en suivant la vallée du rio Huaura. En effet, cette profonde vallée offre une coupe naturelle (3 000 m de dénivelé) perpendiculaire à l'axe de la Cordillère Occidentale et permet d'en recouper toutes les structures (Fig. 3)

Le climat est désertique, à part les fonds de vallons cultivés, les cactus complètent ce paysage désolé mais grandiose. Les conditions d'affleurement pourraient être excellentes, mais de grands placages de Quaternaire ancien, ainsi qu'une poussière jamais enlevée parce qu'il ne pleut pas, cachent partiellement les terrains. De même, un remplissage chaotique ancien d'origine torrentielle et gravitaire, est actuellement réentaillé sur 300 m de haut par le Rio Huaura à l'aval de Paccho Tingo.

Avec C. Angeles et F. Mégard, nous avons tenté de lever les grandes structures sur cette coupe. D. Compare et G. Adline poursuivent actuellement l'étude du groupe Casma (Fig. 7) ainsi que celle de ses relations structurales avec le sédimentaire plus à l'amont.

2. LES GRANDS TRAITs DE LA STRATIGRAPHIE DANS LA VALLEE DU RIO HUAURA

2.1. INTRODUCTION

Cette série débute avec le Crétacé inférieur, Albien exclu. A cette époque, la partie E du bassin ouest-péruvien, future Cordillère Occidentale, est alimentée en sédiments détritiques par le géanticlinal du Marañon, future Cordillère Orientale. Seule une formation calcaire valanginienne rompt cette monotonie (Fig. 5). La transgression albienne amènera les carbonates qui seront abondants au Crétacé supérieur et la régression fini-mésozoïque complètera la série avec des faciès continentaux.

Fig. 6 Coupe géologique de la vallée du rio Huaura en amont du batholite côtier
Cordillère Occidentale, Pérou central.

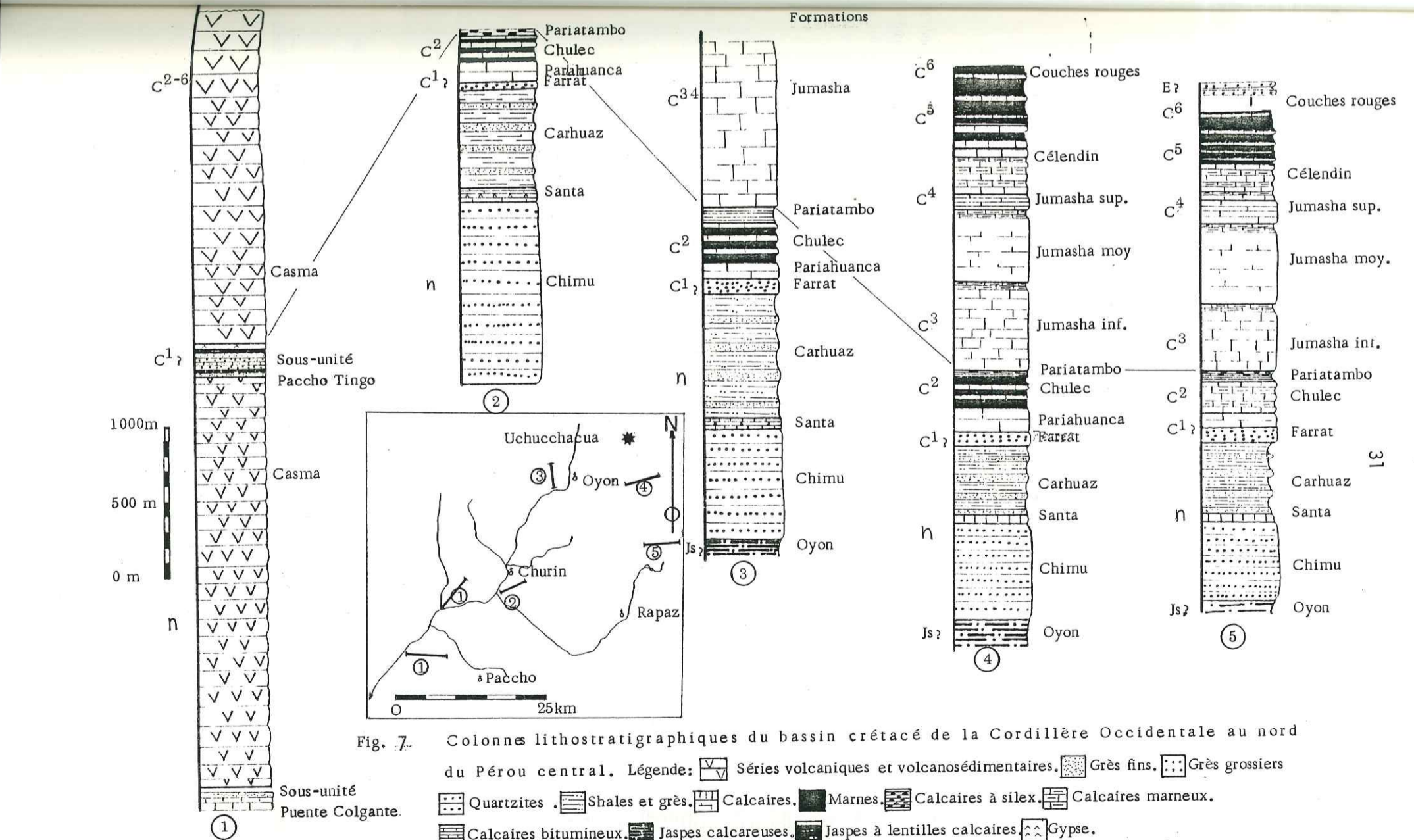
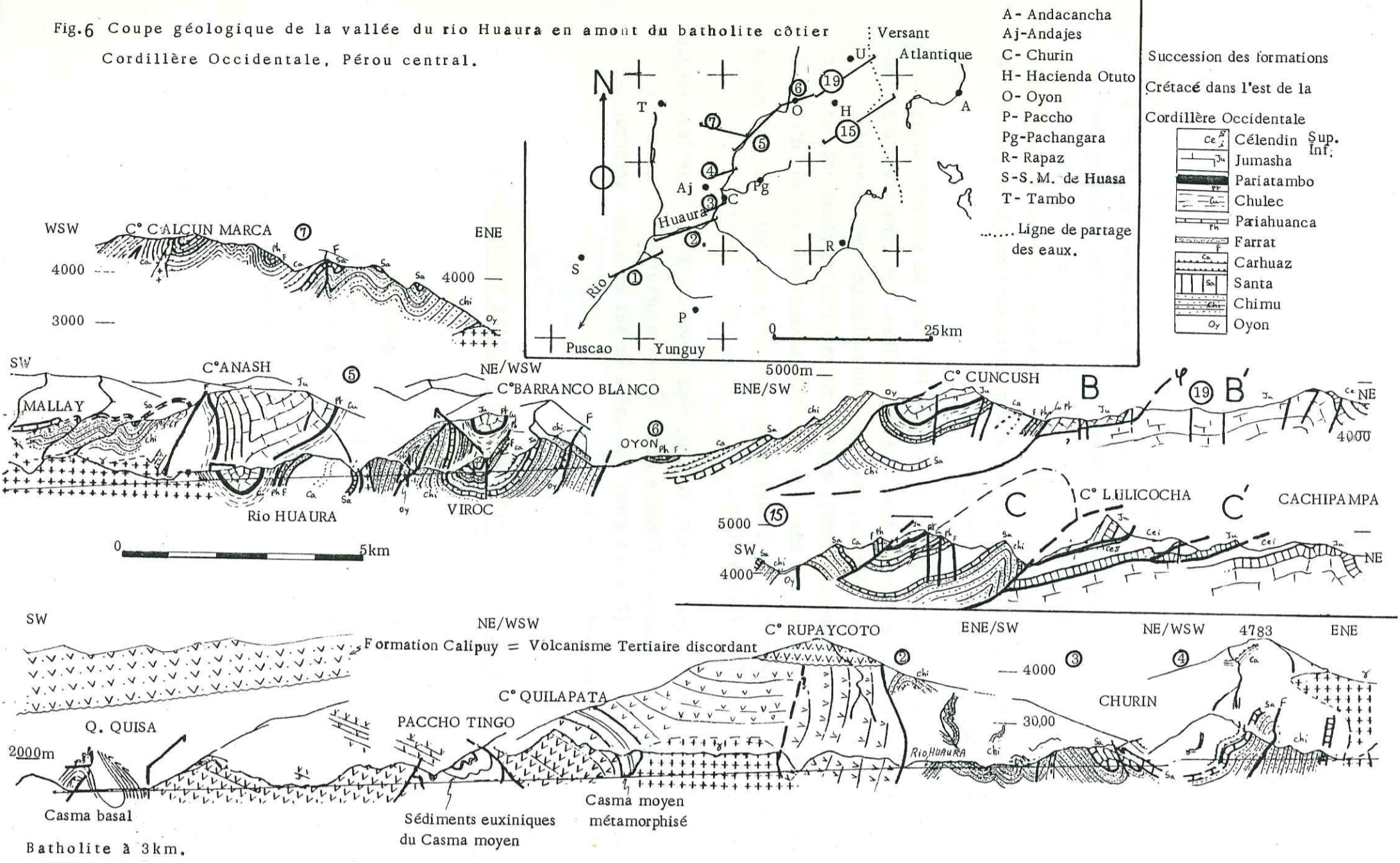


Fig. 7. Colonnes lithostratigraphiques du bassin crétacé de la Cordillère Occidentale au nord du Pérou central.

Légende: Séries volcaniques et volcanosédimentaires. Grès fins. Grès grossiers. Quartzites. Shales et grès. Calcaires. Marnes. Calcaires à silice. Calcaires marneux. Calcaires bitumineux. Jaspes calcareuses. Jaspes à lentilles calcaires. Gypse.

E Eocène. C⁶ Santonien. C⁵ Coniacien. C⁴ Turonien. C³ Cénomanién. C² Albien. C¹ Aptien. n Néocomien. Js Malm.

COLONNE LITHOSTRATIGRAPHIQUE DE LA BASE DE LA FORMATION CASMA

Section du flanc SW de l'anticlinal du C°HUAHUA CHURCO rive gauche du Rio Huaura (Colgan)
Le levé de coupe a été réalisé par C. Angeles

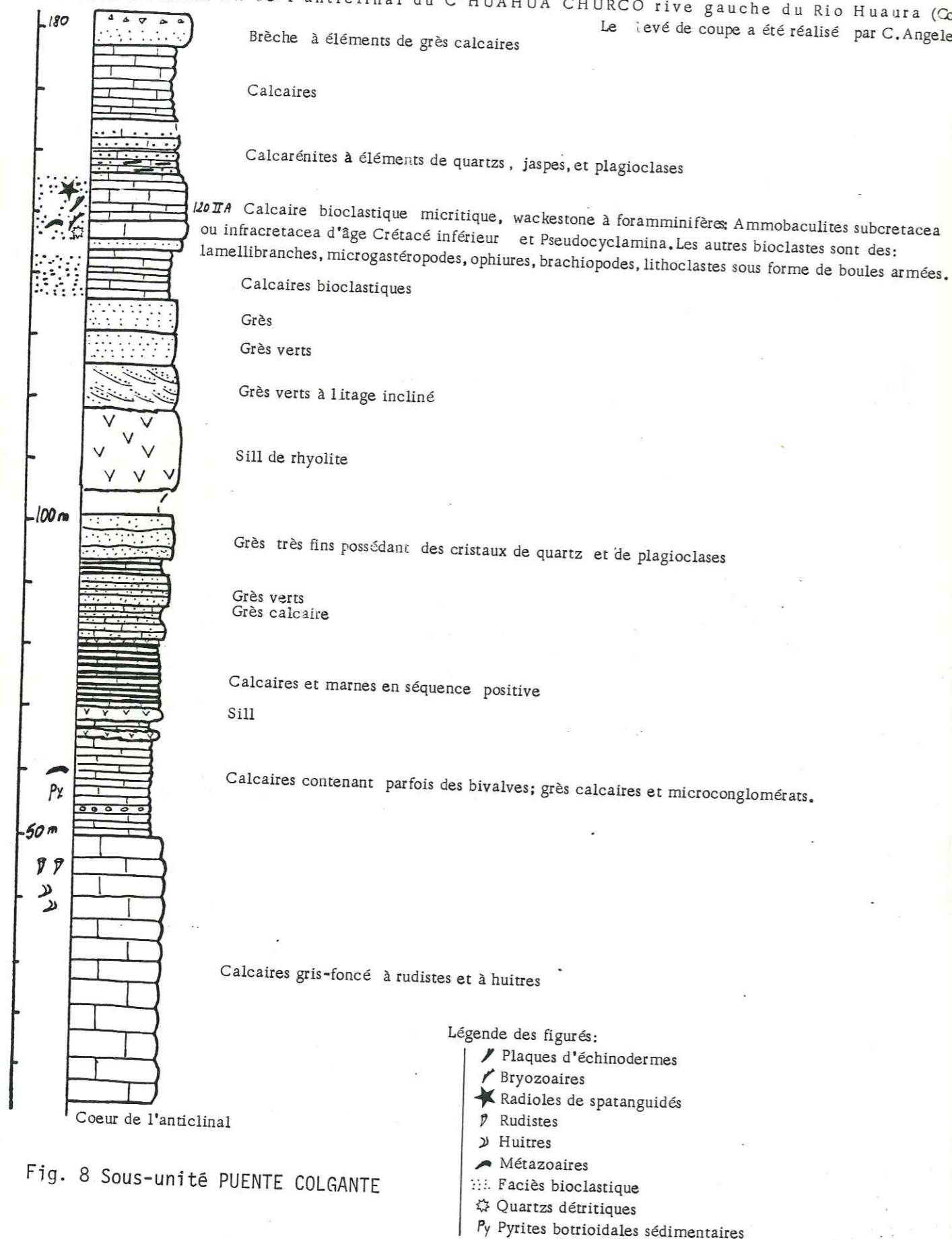


Fig. 8 Sous-unité PUENTE COLGANTE

A l'ouest, la série est riche en produits volcaniques ou volcano-sédimentaires (Fig. 5) traduisant l'existence d'une paléoguirlande magmatique. Des colonnes lithostratigraphiques synthétiques (Fig. 7) indiquent les variations latérales de faciès, ainsi que le nom des formations.

2.2. GROUPE CASMA (CRETACE) 6 000 m

Le matériel, volcanique pour l'essentiel, comprend deux épisodes sédimentaires qui permettent de situer dans le temps le groupe Casma.

2.2.1. Sous-unité "basale" du groupe Casma : Sous-unité Puente Colgan (Fig. 8)

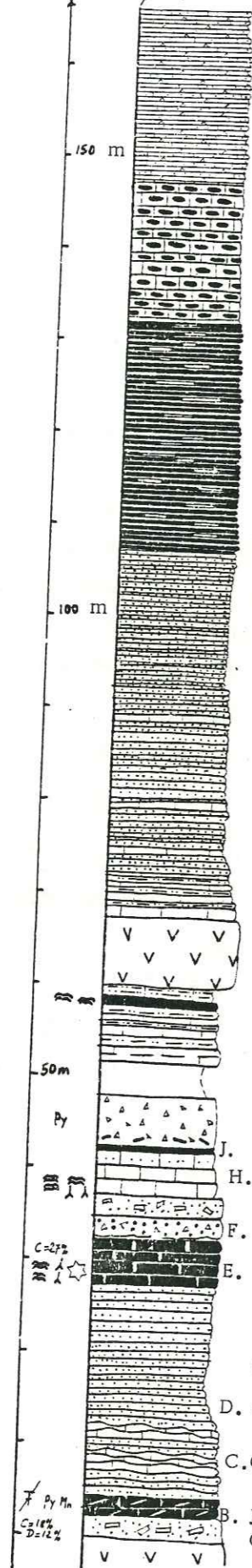
Cette série calcaréo-gréseuse affleure quelques kilomètres à l'est du batholite sous une épaisse série volcanique. Le levé de coupe débute au coeur du premier anticlinal occidental dessiné sur la coupe 1 (Fig. 6). Le matériel est essentiellement carbonaté à tendance récifale dans les cinquantes premiers mètres, puis vient un faciès plus confiné à pyrite sédimentaire et grès verts réduits. Au-dessus vient un milieu de dépôt plus ouvert à faciès de chenaux de bordure de plate-forme, les lames minces montrent des lithoclastes micritiques arrondis, entourés principalement d'oolites.

Cette unité s'est donc déposée pour l'essentiel, sous faible tranche d'eau dans un contexte de plateforme carbonatée. Son âge crétacé inférieur a été déterminé grâce à un foraminifère : *Ammobaculites subcretacea* ou *infracretacea* (détermination A. Arnaud-Vanneau), ce qui donne deux possibilités de corrélation avec les formations occidentales: la formation Santa (Valanginien *pro parte*) et la formation Pariahuanca (Albien inférieur).

Ces formations sont toutes deux calcaires, mais seule la formation Pariahuanca possède des huitres. D'un autre côté l'unité sédimentaire du Casma moyen (§ 2.2.2.) est l'équivalent latéral d'une formation datée de la fin de l'Albien moyen. Ainsi, en suivant ces hypothèses, les deux unités sédimentaires séparées par 2 500 m de séries volcaniques sont respectivement d'âge albien inférieur et albien supérieur. Il se serait donc déposé 2 500 m de laves et tufs volcaniques durant l'Albien moyen.

COLONNE BIOLITHOSTRATIGRAPHIQUE DE LA SERIE EUXINIQUE, MEDIANE DE LA FORMATION CASMA.

Section C° Antaycoto



Paccho tingo, vallée Huaura, Cordillère Occidentale Pérou

Equivalents latéraux probables: Au nord formation Breas (Myers 1980)

A l'est formation Pariatambo-Albien moyen

Grès calcaires clairs alternés avec des évaporites (lits centimétriques) présentant des microplis isoclinaux probablement d'origine gravitaire

Calcaires silicifiés noirs

Fig. 9 Sous-unité PACCHO TINGO

Jaspes foncées, contenant des lentilles calcaires

LEGENDE

C=Calcite % mesurée à l'aide d'un manocalcimètre

D=Dolomie %

Azoïque

Filaments siliceux d'origine organique

Spicules de silicisponges

Quartzs détritiques

Mn=Manganèse

Py=Pyrite botryodale d'origine sédimentaire

Grès très fins laminés

Grès fins parfois micacés ou feldspathiques, alternés avec quelques bancs calcaires

Alternance silts, calcaires gris

Grauwacke

Pélite calcareuse

Jaspe noire finement laminée

Alternance silts calcaires et calcaires recristallisés riches en oxydes

Brèche grossière à ciment calcaire + Clastes de jaspe rouge riche en oxydes

J. Jaspe rouge contenant des restes d'organismes silicifiés

H. Calcaires à filaments silicifiés + un foram. inifère de milieu externe indéterminé

F. Brèche gréseuse à ciment sparitique. Présence de quartzs anguleux corrodés, de feldspaths, de grès fins, de plagioclases, d'opaques.

E. Jaspes calcareuses

Grès

D. Grès fins noirs ou ocres à ciment siliceux. Présence de quartzs, plagioclases; manganèse

C. Calcaires micritiques noduleux alternés avec des grès

B. Jaspes calcaireo-dolomitiques noires

Grès feldspathique

2.2.2. Sous-unité euxinique du Casma moyen, non datée : sous-unité Paccho Tingo (Fig. 9)

Au milieu du groupe Casma, sur la rive gauche du fleuve au-dessus de Paccho Tingo, une unité plissée en synclinal présente des plis couchés décimétriques en son coeur. Des failles inverses (dont l'une chevauchant vers le SW, possède deux mètres de mylonite) limitent ce sédimentaire. Sous le C° Quilapata on retrouve cette même série métamorphisée au contact d'un intrusif tonalitique, à l'altitude du Rio Huaura; elle est surmontée par une épaisse série volcanique.

Le matériel, comme l'indique le "log" de la figure 9, est très varié. La silice prédomine dans les 130 premiers mètres. Au-dessus on passe aux calcaires à silex puis à l'alternance centimétrique calcaire-évaporite. Des filaments, des spicules de silicisponge et des radiolaires (?) tous silicifiés sont les seuls fossiles de cette unité. Le milieu de dépôt est très confiné, réducteur ou anoxique (couleur sombre des sédiments, silicification précoce, présence ponctuelle de pyrite botryodale d'origine sédimentaire). Le régime hydrodynamique est très calme (sédiments fins et laminations en général planes avec cependant quelques brèches liées probablement à des apports accidentels).

L'équivalent latéral de cette série euxinique correspond fort probablement au nord, à la formation Breas décrite par Myers (1980) et à l'est, à la formation Pariatambo euxinique à shales bitumineux, calcaires et silexites; formation datée de la fin de l'Albien moyen par *Oxytropidoceras Carbonarium*. La présence de lits d'évaporites n'atteste pas obligatoirement une sédimentation à fleur d'eau; ce sommet de l'unité Paccho Tingo a pu se déposer dans un point bas très calme du bassin où la précipitation par sursaturation en sel était cyclique. En effet, un milieu saturé en sel floccule rapidement, un banc d'évaporite se dépose alors sur le fond; le régime normal de dépôt carbonaté continue jusqu'à la prochaine saturation et ainsi de suite. On aboutit finalement à l'alternance centimétrique évaporite-calcaire. Ces sédiments déposés sur un fond légèrement incliné, peuvent glisser par gravité et donner les microplis isoclinaux rencontrés à ce niveau.

2.3. CONCLUSION SUR LE GROUPE CASMA DE LA VALLEE DU RIO HUAURA

Malgré une étude succincte et ponctuelle, la description de deux nouvelles unités sédimentaires incluses dans cette série essentiellement volcanique situe le groupe Casma dans le Crétacé.

- A la base sous le C° Huahua Churco, près de Puente Colgante, une série calcaire est datée par un foraminifère du Crétacé inférieur.
- Au milieu, l'unité Paccho Tingo présente des caractères de formation euxinique qui nous font la corréler avec les formations, Breas et Pariatambo (la dernière datée par ammonite de la fin de l'Albien moyen). Au-dessus reposent en discordance les séries volcaniques Calipuy d'âge tertiaire (§ 2.5.).

2.4. LES SEDIMENTS D'AGE CRETACE DE LA CORDILLERE OCCIDENTALE A L'EST DE CHURIN

L'étude détaillée des différentes formations des coupes 4 et 5 (Fig.7) fera l'objet du chapitre 2. Ici nous analyserons les variations latérales de faciès entre les coupes 2 et 5.

2.4.1. Variations latérales de faciès au sein de la série détritique du Crétacé inférieur, Albien exclu.

Sur le versant Atlantique de la Cordillère Occidentale, en bordure du géanticlinal de Marañon, cette série constitue une seule formation épaisse d'un millier de mètres environ (fm. Goyllarisquizga). Plus à l'ouest, les variations de faciès et l'épisode calcaire valanginien permettent de subdiviser le Crétacé inférieur (Albien exclu) en cinq formations : Oyon, Chimu, Santa, Carhuaz, Farrat. Les quartzites néocomiennes (fm. Chimu) passent progressivement vers l'ouest à des grès alternant avec des shales. Les calcaires plus ou moins gréseux à silice, d'âge valanginien (fm. Santa coupe 4 et 5, Fig.7) s'enrichissent progressivement en gypse au point que cette roche est exploitée à Churin (coupe 2, Fig.7).

2.4.2. Variations latérales de faciès au sein de la série carbonatée du Crétacé supérieur, Albien inclus.

Le groupe des formations Pariahuanca Chulec, Paria tambo, Jumasha et Célendin, daté en de nombreux points par des ammonites et des foraminifères, présente des variations de faciès minimes. La formation Chulec de l'Albien moyen s'enrichit en carbonates du nord au sud (coupe 4 et 5, Fig.7). Les changements de faciès est-ouest sont négligeables si l'on sous-entend un milieu de dépôt plus homogène au Crétacé supérieur sur ce bord oriental du bassin ouest-péruvien.

2.5. LE VOLCANISME TERTIAIRE POSTERIEUR A LA TECTONIQUE PRINCIPALE (GROUPE CALIPUY)

Cette épaisse série volcanique (> 1 000 m) repose en discordance sur le Mésozoïque et occupe une grande surface sur la carte de la Cordillère Occidentale péruvienne (Fig. 3). Les anglais E.J. Cobbing, W.S. Pitcher et al., (1981) l'ont subdivisée en deux formations :

- l'unité inférieure se raccorde probablement aux Couches rouges continentales affleurant à l'E de la Cordillère Occidentale ;
- l'unité supérieure est peut-être oligo-miocène.

Ce volcanisme est plissé en larges plis ouverts par la tectonique fini-miocène (Quechua 3).

2.6. CONCLUSION SUR LA STRATIGRAPHIE DE LA VALLEE DU RIO HUAURA

Il apparaît dans ce bassin Crétacé deux entités qui sont, d'ouest en est :

- 6 000 m d'une série volcanique massive contenant deux intercalations sédimentaires ;
- une série sédimentaire deux fois moins puissante.

Le contact entre ces deux ensembles de formation est tectonique. Les sédiments de la haute Cordillère Occidentale sont hétérogènes. Ils sont plus ductiles que la série Casma et possèdent des niveaux de décollement : charbons de la formation Oyon et shales bitumineux de la formation Pariatambo. D'autre part,

30 AOÛT 2003

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53

F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58

Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

leur position structurale lors du dépôt en bordure de bassin près de la zone haute du géanticlinal de Marañon induit la formation de failles listriques normales qui jouent un rôle essentiel dans la tectonique andine de la zone faïtière. Nous verrons que la position spatiale des terrains et leur contenu influenceront sur le style tectonique de la future Cordillère Occidentale.

3. STRUCTURE DE LA VALLEE DU RIO HUAURA EN AMONT DU BATHOLITE CÔTIER

La mise en place et le matériel du batholite côtier ont été étudiés par l'équipe du professeur Pitcher de Liverpool, qui a déjà publié ses données. Notre coupe de la vallée débute donc au bord E du batholite, 25 km en aval de Churin (Fig. 3).

3.1. COMMENTAIRES DE LA COUPE DU SW VERS LE NE

Le Casma basal, fortement plissé, présente des accidents plats kilométriques que l'on suit dans le vallon adjacent Quisa en versant NE. Au-dessus une série monoclinale volcanique bute à Paccho Tingo, sur un synclinal à matériel sédimentaire, par l'intermédiaire d'une faille inverse orientée WNW-ENE et pentée de 50 à 60° SW et possède des plis couchés décamétriques en son coeur. Une faille chevauchante vers le SW interrompt l'autre flanc du synclinal. Cette formation sédimentaire euxinique est métamorphisée par l'intrusif tonalitique sous le C° Quilapata. Une série volcanique épaisse complète le groupe Casma jusqu'au Tertiaire discordant. Plus à l'est la masse précédemment décrite en position verticale, s'appuie par l'intermédiaire d'une faille orientée NW-SE 80° SW sur le Néocomien détritique intensément plissé. Il semble que cet accident très important, qui se prolonge de part et d'autre sur des dizaines de kilomètres, a rapproché le groupe Casma du sédimentaire Crétacé, car le passage entre les deux est très rapide parce que lié à un accident. Des précisions sur cette structure devront être apportées.

Aux environs du village Churin, les plis présentent des vergences opposées :

- à l'amont, les plis assymétriques ont toujours le flanc court côté E ;
- à l'aval, les plis sont déversés vers le Pacifique.

Sous le C° Calcun Marca (Coupe 7, Fig. 6), à proximité de Mally, les plis déversés ou couchés ont un tracé régulier, tandis que plus en amont

près de Viroc, le serrage étant plus important, les charnières cassent. La zone "imbriquée" (J.V. Harrison, 1951, 1953, 1956 ; J.V. Harrison et J.J. Wilson, 1960 ; J.J. Wilson et al., 1964 ; P.J. Coney, 1971 ; E.J. Cobbing, 1973 ; F. Mégard, 1973) où une tectonique cassante prédomine, est caractérisée par des accidents plats qui ont probablement leur origine dans les anciennes failles listriques normales de bordure du bassin ouest-péruvien.

3.2. LES MICROSTRUCTURES AU SEIN DE LA VALLEE DU RIO HUAURA

La schistosité de plan axial, omniprésente dans la base de la coupe, s'amortit et disparaît en amont de Churin. Dans la zone faïtière de la Cordillère Occidentale, on observe une schistosité associée à des chevauchements majeurs vers le NE. Elle s'estompe lorsqu'on s'éloigne de ces accidents. Les plis et microplis assymétriques sont isopaques dans les bancs compétents alors que le matériel incompetent flue vers les charnières. Près de Viroc, le Néocomien à matériel quartzique pour l'essentiel, voit ses charnières de plis cassées irrégulièrement puisque ces accidents suivent préférentiellement les niveaux incompetents pour se réfracter dans les bancs compétents (F. Mégard, 1973).

3.3. CONCLUSION SUR LE STYLE TECTONIQUE DE LA VALLEE DU RIO HUAURA

En remontant la vallée, la déformation se traduit d'abord par des plis amples et quelques failles inverses dans le matériel volcanique du groupe Casma. Plus à l'est, dans le Crétacé sédimentaire on rencontre des plis serrés à double vergence et enfin des petites nappes apparaissent, empruntant d'anciennes failles listriques normales de bordure de bassin, dans la zone "imbriquée" aux sources du Rio Huaura. La nature du matériel et sa position structurale par rapport à la bordure du bassin jouent donc un rôle essentiel dans le style tectonique. La mesure de raccourcissement minimum du bassin crétacé depuis son dépôt (sur l'assemblage des coupes 1,2,3,4,5,6,15 de la figure 6) est de 40 %. Cette valeur dénote la puissance de l'orogène andin.

Le comportement des accidents en profondeur sera abordé plus loin (chap. 5, § 5, p.153), mais la couverture crétacée est vraisemblablement décollée sur les schistes charbonneux de la formation Oyon (Malm ?) en amont de Churin. Avant d'aborder l'étude détaillée de la zone Uchucchacua-Hacienda Otuto, nous allons voir l'historique des travaux antérieurs et la méthodologie.

CHAPITRE 3 - DESCRIPTION DES FORMATIONS GEOLOGIQUES

SEDIMENTAIRES DU BORD ORIENTAL DE

LA CORDILLERE OCCIDENTALE

1. PRESENTATION GENERALE
2. DESCRIPTION DES FORMATIONS SEDIMENTAIRES DE LA CORDILLERE OCCIDENTALE PERUVIENNE
3. LES REMPLISSAGES KARSTIQUES
4. DESCRIPTION DES FORMATIONS SUPERFICIELLES QUATERNAIRES
5. EVOLUTION DES GLACIERS DEPUIS 1962

I. PRESENTATION GENERALE

I.1. INTRODUCTION

Le secteur étudié se localise dans la zone la plus élevée de la chaîne des Andes, entre 3 900 m et 5 400 m. La végétation est pauvre ce qui donne d'excellentes conditions d'affleurement.

La série sédimentaire d'une épaisseur de 4 300 m est, pour les neuf-dixième, d'âge crétacé. Des molasses rouges continentales, tertiaires pour l'essentiel, la complètent. Après avoir été plissé l'ensemble de cette série est recouvert en discordance par une série volcanique de nature intermédiaire, d'âge tardi-miocène, qui sera plissée par la suite au début du Pliocène mais moins intensément. Le Crétacé inférieur, Albien exclu (voir Fig. 11), est constitué par les formations Oyon, Chimu, Santa, Carhuaz, Farrat qui sont essentiellement détritiques ; seule une transgression marine valanginienne (fm. Santa) vient rompre la monotonie de cette série (Fig. 5). Le Crétacé supérieur (Albien inclus) (= fm. Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha et Celendin) est constitué par un ensemble de formations carbonatées passant par les différents stades d'évolution d'une plate-forme et de son talus. Durant la fin de l'Albien moyen, une mer fermée provoque un stade euxinique avec des shales et calcaires bitumineux de la formation Pariatambo. Les remplissages karstiques et le Quarternaire ont été étudiés et on trouvera leur description et leur chronologie en fin de chapitre.

I.2. Contributions à la datation de la série sédimentaire d'âge crétacé supérieur de la Cordillère Occidentale

La colonne stratigraphique synthétique (Fig. 11) rappelle en majuscules d'imprimerie de petite dimension, les âges proposés par J.J. Wilson, 1963. La colonne d'âge en caractères gras est une nouvelle proposition de datation de la série.

Les anciens auteurs datent la base de la formation Jumasha de la fin de l'Albien par les ammonites *Lyelliceras ulrichi* (Knechtel) et *Oxytropidoceras douglasi* (Knechtel). La formation sus-jacente (fm. Celendin), datée du Coniacien au Santonien, limite vers le haut l'âge du Jumasha. Dans le secteur étudié, une ammonite *Coilopoceras* sp. (détermination Breistoffer) d'âge turonien, ramassée au sommet du Jumasha (sensu J.J. Wilson, 1963) rectifie l'âge du plafond de la formation. En 1975, G. Bizon, J.J. Bizon, E. Fourcade et D. Vachard décrivent de

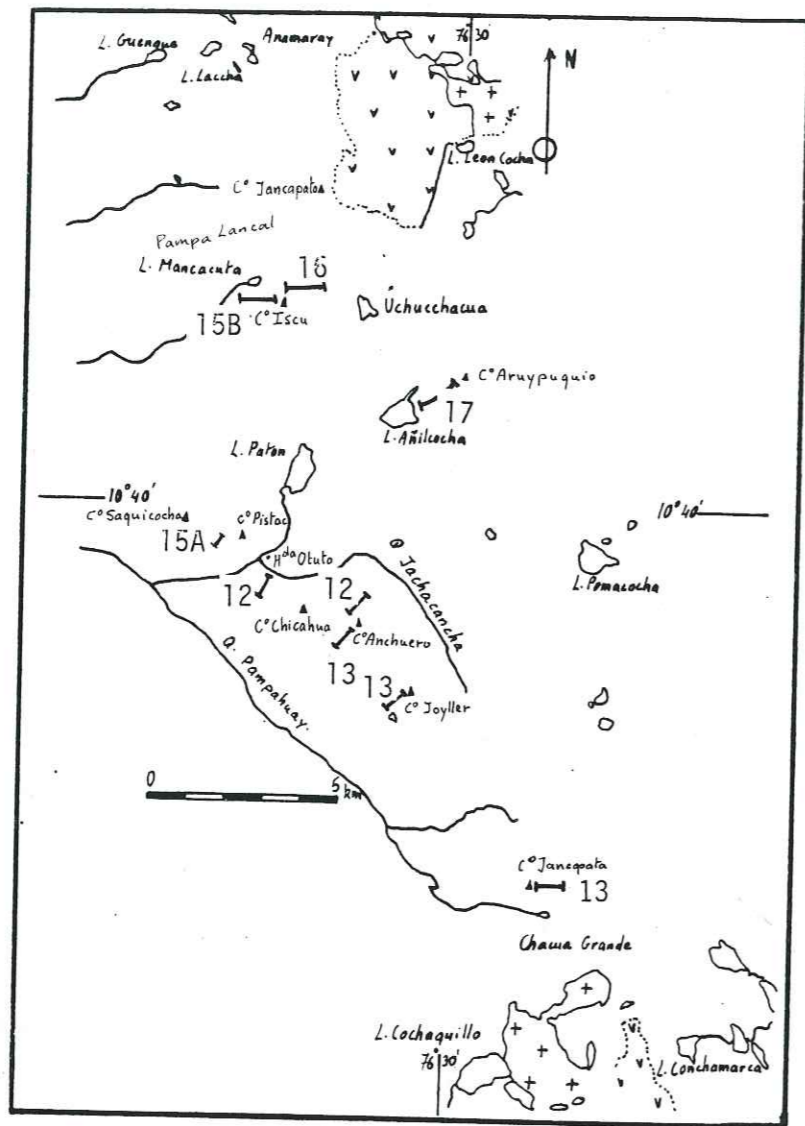
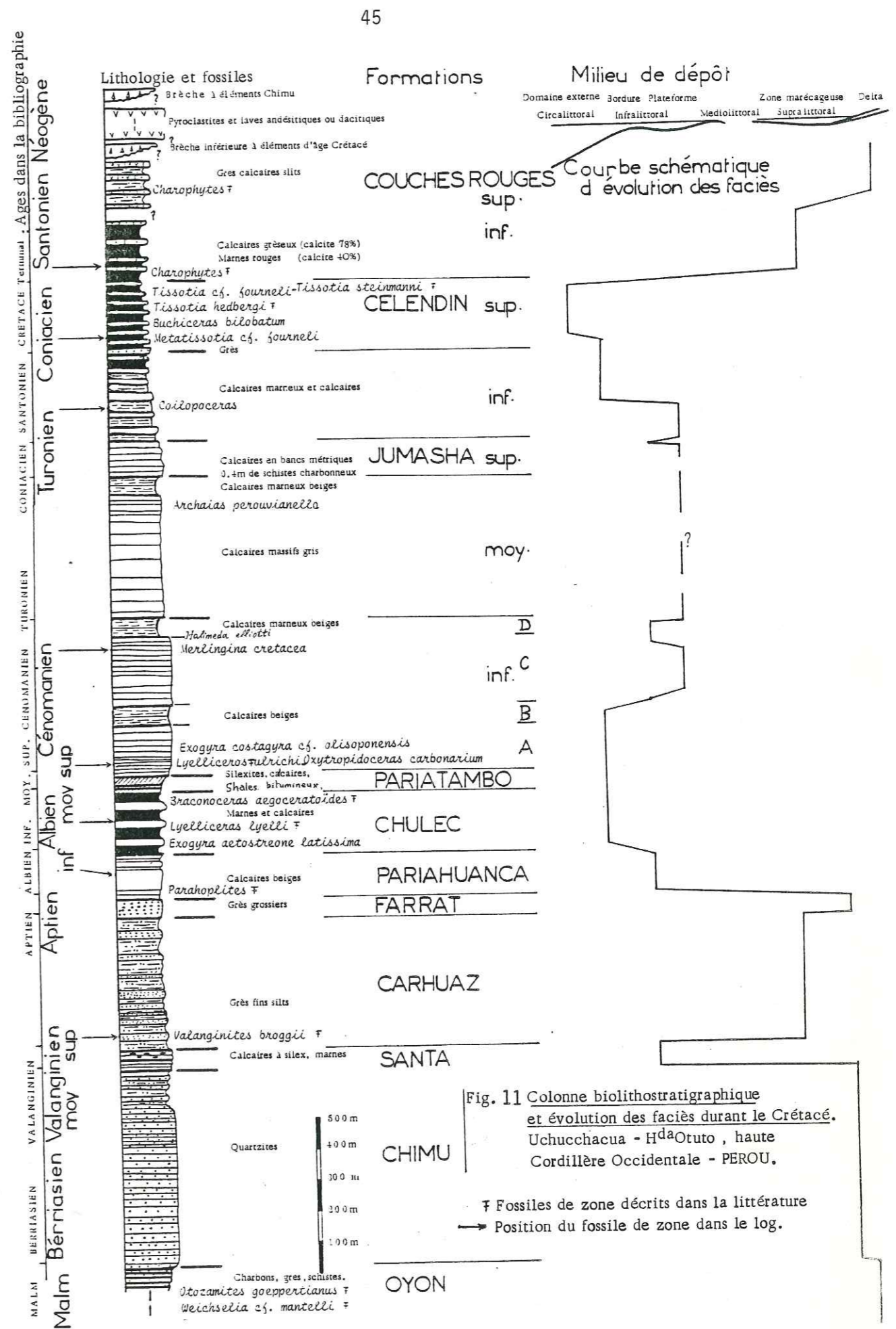
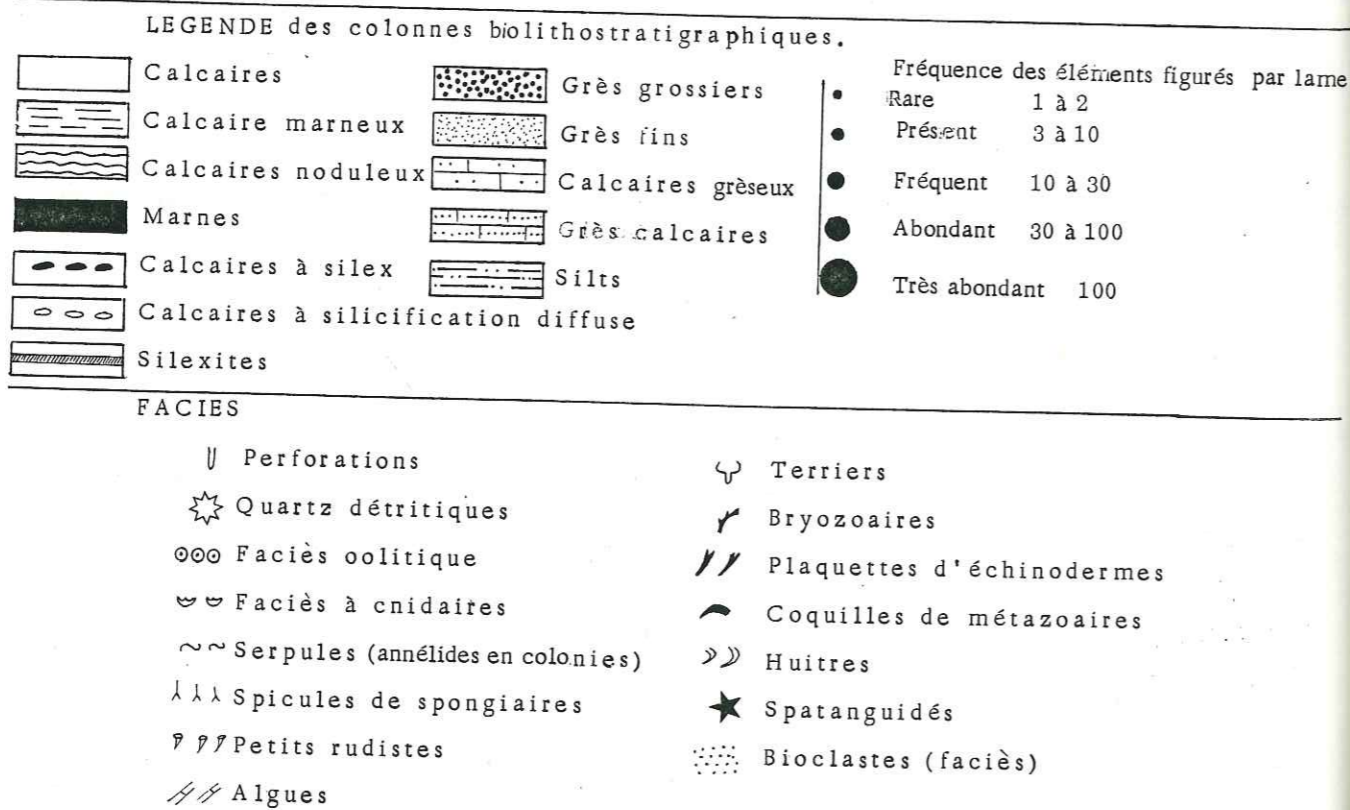


Fig. 10 Localisation des coupes lithostratigraphiques. Les numéros indiquent les figures concernées.



nouveau un foraminifère peneroplidae *Archaias perowianella*, observé par V. Benavides 100 m au-dessus d'horizons à *Buchiceras bilobatum* (Hyatt) (Santonien), au sein de la formation Celendin. Une précision sur l'extension de ces foraminifères est apportée dans la mesure où l'on rencontre encore des *Archaias perowianella* 300 m en-dessous de *Coilopaceras* ; 700 m plus bas (par rapport à l'ammonite) une *Merlingina cretacea* (Cénomaniens moyen à supérieur) et une codiacée *Halimeda elliotti* (Turonien) précisent la fourchette d'âge pour les pénéroplidés qui vivent donc depuis le Turonien.

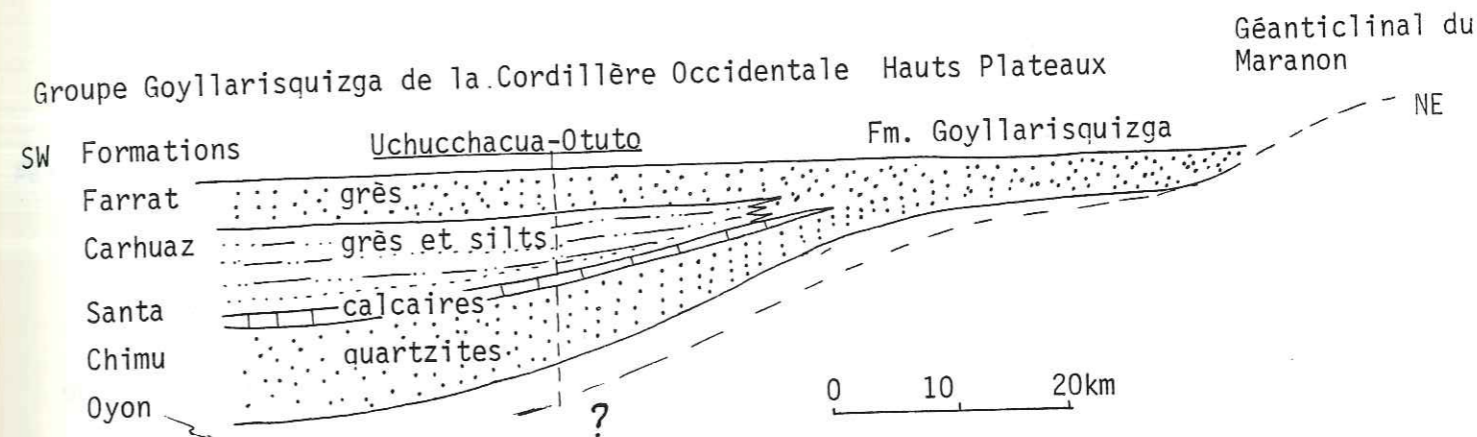
1.3. EVOLUTION DES FACIES DEPUIS LA FIN DU JURASSIQUE DANS LA CORDILLERE OCCIDENTALE PERUVIENNE ET PARALLELE AVEC L'EUSTATISME MONDIAL

Une courbe schématique d'évolution des milieux de dépôt est dessinée sur la fig. 11. Le Crétacé inférieur (Albien exclu) est situé avec ses milieux de dépôts deltaïques et marécageux dans l'étage supralittoral. Seule la transgression valanginienne fait apparaître des calcaires. Le Crétacé supérieur (Albien inclus) se présente sous des faciès carbonatés qui fluctuent en milieu médiolittoral à circolittoral. Au Crétacé terminal, on passe à un milieu continental caractérisé par des sédiments rouges. On remarque que le cycle mondial eustatique se rencontre aussi au Pérou : une petite puis une grande transgression, respectivement au Valanginien et à l'Albien, puis une grande régression à la limite Crétacé - Tertiaire.

2. DESCRIPTION DES FORMATIONS SEDIMENTAIRES DE LA CORDILLERE OCCIDENTALE PERUVIENNE

Le document de référence consulté pour reconnaître les différentes formations est de J.J. Wilson, 1963.

2.1. LE JURASSIQUE TERMINAL ET LE CRETACE INFERIEUR (essentiellement terrigène) JUSQU'A L'ALBIEN COMPRIS



J.J. Wilson, 1963, propose ce modèle très explicite de la bordure du bassin ouest péruvien de la Cordillère Occidentale. Le matériel essentiellement terrigène est interrompu à l'ouest par la transgression marine valanginienne qui donne les calcaires de la formation Santa.

2.1.1. Oyon (400 m au minimum) (Portlandien Berriasien)

2.1.1.1. Lithologie

La base de cette épaisse série de grès fins gris, de shales et de charbons, est inconnue dans la Cordillère occidentale. Vingt kilomètres plus à l'E, cette formation n'affleure plus et le Néocomien gréseux repose directement sur l'épaisse série calcaire jurassique (fm. Pucara).

2.1.1.2. Age et milieu de dépôt

E.W. Berry, 1922, décrit les plantes *Otozamites goeppertianus* et *Weichselia cf mantelli* auxquelles il donne un âge jurassique. E.J. Cobbing, 1973, constate un passage latéral plus au nord avec les latites de la formation Chicama, datée du Tithonique, ce qui confirme l'âge proposé par E.W. Berry. Par contre, G. Steinmann, 1929, C. Lisson et B. Boit, 1942, concluent à un âge néocomien en déterminant une flore comparable à celle du Wealdien anglais.

La fine granulométrie et la présence de charbons nous indiquent un milieu de dépôt marécageux. Cette formation jouera un rôle important dans la tectonique andine car sa plasticité permettra des décollements.

2.1.2. Chimu (500 m) (probablement Berriaso-valanginien)

Le Chimu constitue la formation inférieure du groupe Goyllarisquizga de la Cordillère Occidentale.

2.1.2.1. Lithologie et limite inférieure

Un gros banc de quartzite, épais d'une quinzaine de mètres, situé au dessus d'une alternance métrique de grès et shales charbonneux (fm. Oyon) souligne le passage entre les formations Oyon et Chimu. Au-dessus, une falaise de quartzite haute de 500 m, interrompue par quelques lits charbonneux à la base, constitue un trait morphologique facilement repérable dans le paysage. A 1,5 km au NW de Hacienda Otuto (Fig. 10), sous le C° Saquicocha, en face SE, les conditions d'affleurement du passage des formations Oyon à Chimu sont excellentes.

2.1.2.2. Age et milieu de dépôt

Cette formation datée entre le Portlandien (fm. Oyon) et le Valanginien supérieur (base de la fm. Carhuaz), présente des figures de stratification en auges et des litages inclinés qui indiquent un milieu de dépôt deltaïque.

2.1.3. Santa (60 m) (Valanginien *pro parte*)

2.1.3.1. Lithologie et limite inférieure

Cette formation débute par des calcaires à silex sur une dizaine de mètres d'épaisseur. Ensuite, les silex disparaissent pour laisser des silicifications sous forme de pustules. Des niveaux calcaréo-gréseux ou marneux s'intercalent dans cette série calcaire. V. Benavides (1956) a défini, 30 km au NW de Uchucchacua, la base de cette formation par un banc métrique de quartzite qui se situerait 20 m en-dessous de la limite précédemment décrite. Le passage calcaire-grès, plus facilement repérable sur le terrain, me semble plus approprié dans le secteur étudié.

N.B. : 12 km à l'WSW du village Oyon (Fig. 6, coupe 6), en rive droite du rio Huaura à proximité de Mally (Fig. 6, coupe 5), le Santa possède des interlits décimétriques de gypse, intercalés dans des bancs métriques de calcaires noirs. Plus à l'aval, au-dessus de Churin ces niveaux évaporitiques s'épaississent et sont exploités.

2.1.3.2. Age et milieu de dépôt

W. Benavides (1956) a décrit une ammonite *Valanginites broggi* (Lisson) à la base de la formation détritique sus-jacente datant ainsi la formation Santa comme Valanginien *pro parte*. J.J. Wilson (1963) a rencontré dans le même secteur que le nôtre, des calcaires oolitiques et des ripples marks témoignant d'un milieu de dépôt peu profond lors de cette transgression valanginienne.

2.1.4. Carhuaz (450 m) (Valanginien supérieur à Barrémien)

2.1.4.1. Lithologie, limite inférieure et niveau repère

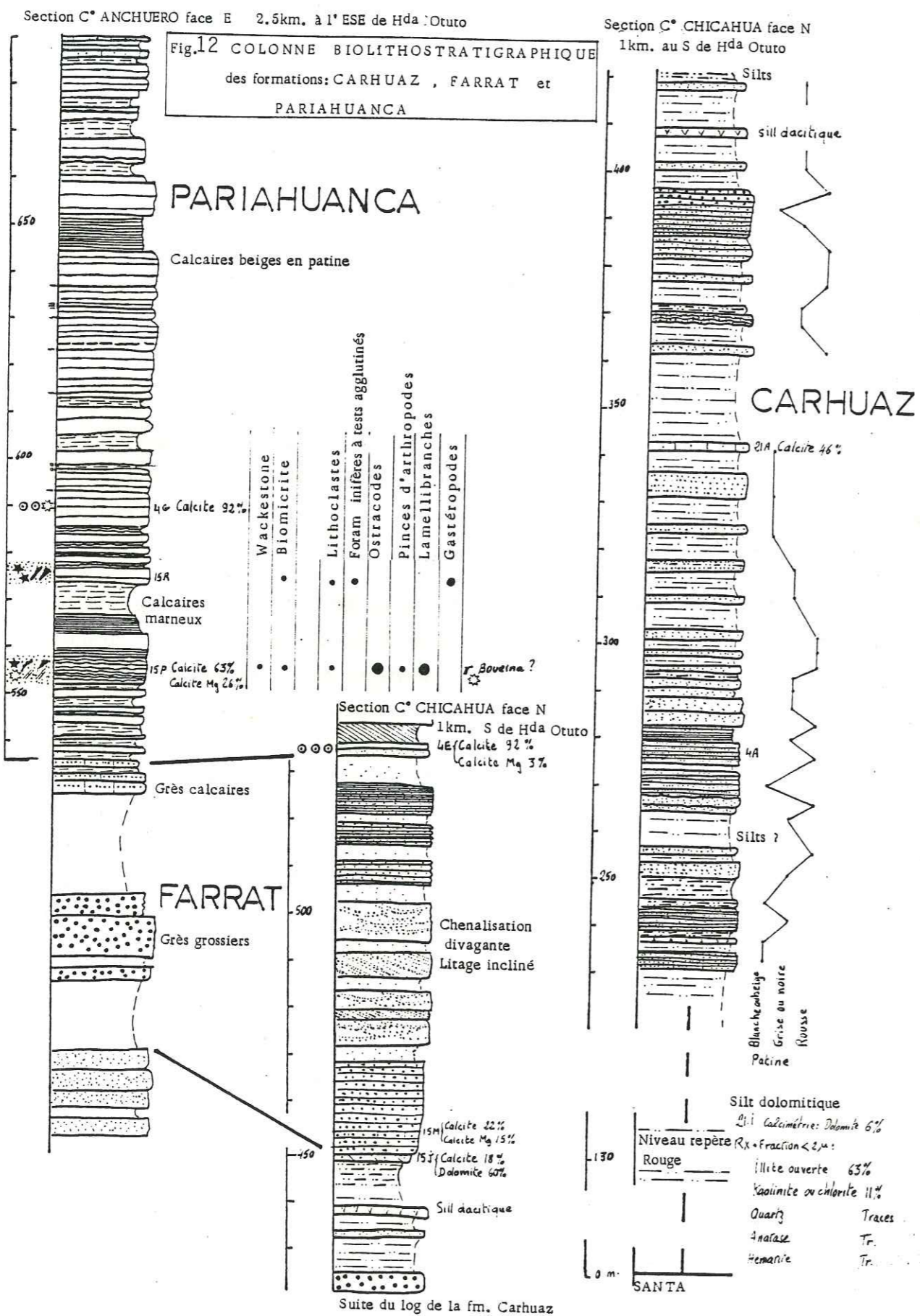
Au-dessus du dernier banc calcaire de la formation Santa, une alternance de grès fins généralement roux et de shales monotones, constitue un nouvel épisode détritique dans le Crétacé inférieur. Cette monotonie est interrompue par de rares bancs calcaireux ou dolomitiques qui indiquent le développement sporadique de bas fonds marins.

Dans la base de cette formation, un horizon rouge (15 m) de shales légèrement dolomitiques sert de niveau repère. L'étude de la fraction granulométrique inférieure à deux microns révèle une majorité d'illite ouverte et seulement des traces d'hématite qui sont peut être à l'origine de la couleur rouge. Comme on l'a dit, V. Benavides a récolté dans la base de la formation une ammonite *Valanginites broggi* (Lisson) datée du Valanginien supérieur. Cinq cents mètres plus haut dans la série, dans la formation Pariahuanca, une Parahoplites donne un âge albien inférieur. Le Carhuaz serait donc Valanginien supérieur à aptien. La présence de rares niveaux charbonneux et de gastéropodes d'eau saumâtre (*Paraglauconia*, *Cyrena*) nous situerait dans un paysage de côtes marécageuses.

2.1.5. Farrat (30 à 85 m) (probablement aptien)

2.1.5.1. Lithologie et limites

Une barre gréseuse, massive, aisément observable dans la morphologie, représente l'essentiel de cette formation. La base est marquée par l'arrêt de l'alternance grès fins - shales et le sommet par le passage des quartzites aux grès calcaires de la formation Pariahuanca. Les grès sont généralement blancs,



grossiers et recristallisés. Ils présentent des stratifications entrecroisées et des litages inclinés. Des variations latérales de faciès et d'épaisseur s'observent aussi bien suivant des directions N-S que SW-NE.

Variations { N Grès fins roux
S Grès grossiers blancs, parfois grès calcaires

La formation Farrat est toujours plus épaisse au SW qu'au NE, mais ces observations, trop ponctuelles, ne permettent pas de discerner une logique dans la géométrie de cet épandage détritique.

2.1.5.2. Age et milieu de dépôt

Aucun fossile n'a été trouvé mais la position stratigraphique du Farrat sous l'Albien inférieur suppose un âge aptien. Les chenalisations divagantes et le granoclassement indiquent un milieu de dépôt deltaïque.

2.2. LE CRETACE SUPERIEUR CARBONATE DE L'ALBIEN AU CRETACE TERMINAL

2.2.1. Pariahuanca (150 m) (Albien inférieur)

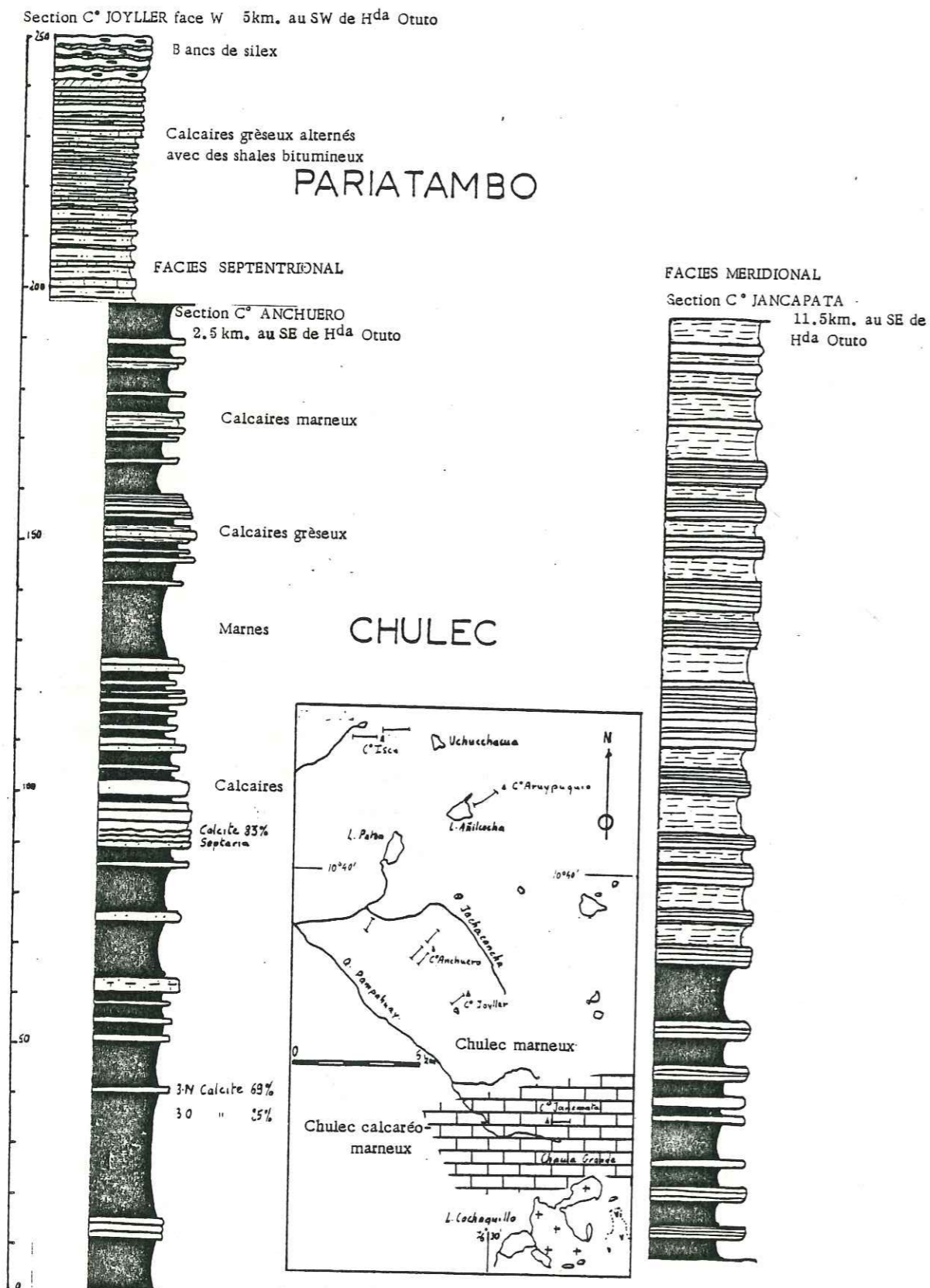
2.2.1.1. Lithologie et limites (Fig. 12)

Dans les quarante premiers mètres de la formation, l'alternance calcaires marneux-calcaires est suivie d'un épisode à haute énergie caractérisé par des oolites. Des calcaires fins, parfois même lithographiques complètent la série. Au sommet, des calcaires marneux ou gréseux annoncent la formation Chulec qui débute au premier banc marneux.

2.2.1.2. Age et milieu de dépôt

Fritzsche (1924, in Wilson, 1963), G. Steinmann (1929), considèrent la faune à rudistes comme d'âge barrémien. Les *Exogyra Aetostreone latissima*, *couloni* ou *aquila* en position de vie au C° Anchuro (76°41'02"W, 10°42'20"S, Z = 500 m, carte Hacienda Otuto) dans la Pampa Lancaï (76°43'25"W, 10°,37',20" S, Z = 4 500 m, carte Uchucchacua, Fig. 10) à la limite Pariahuanca Chulec seraient plutôt aptiennes (J.P. Thieuloy, communication personnelle). Mais V. Benavides récolte *Parahoplites* pour lequel il donne un âge albien inférieur. Dans la base de la formation, les échinodermes, les huîtres, les foraminifères de petite taille et les oolites indiquent une bordure de plate-forme carbonatée sans barrière récifale dans le secteur étudié puisque les rudistes sont absents.

Fig.13A COLONNE LITHOSTRATIGRAPHIQUE des formations PARIATAMBO et CHULEC

2.2.2. Chulec (200 m) (Albien moyen)2.2.2.1. Lithologie, limites et variations latérales de faciès (Fig.13A)2.2.2.1.1. Sur les cartes Uchucchacua, Hacienda Otuto

Une alternance de calcaires et marnes, avec quelques bancs de calcaires gréseux, caractérise cette formation. Le premier horizon marneux métrique au-dessus des shales bitumineux constitue le toit de la formation Chulec.

2.2.2.1.2. Sur la carte Rapaz (Fig.13A)

La formation peut être subdivisée en deux membres : le membre inférieur calcaréo-marneux et le membre supérieur plus massif ; ce dernier correspond à une alternance calcaires, calcaires-marneux beiges. Cette variation de faciès, observée entre Uchucchacua-Otuto et la carte Rapaz au Sud, s'effectue suivant une direction NNW-SSE qui est perpendiculaire aux variations latérales régionales (Fig.13A)

2.2.2.2. Age et milieu de dépôt

Il existe une relative abondance de fossiles dans cette formation datée de la base de l'Albien moyen par *Branconoceras algoceratoïdes* (Steinmann) et *Lyelliaras Lyelli* (Leymerie). Les ammonites récoltées 2 km au NW du lac Mancacuta (*Knemiceras raimondi* et *Parengonoceras pernodosum*) confirment l'appartenance à l'Albien moyen de cette formation Chulec. Mais actuellement *Knemiceras raimondi* n'est plus considéré comme un fossile de zone et il faut se fier aux *Lyelliceras* (Breistoffer, communication personnelle). L'abondance des horizons marneux, des faunes benthiques et pélagiques indique un talus externe de plate-forme carbonatée.

2.2.3. Pariatambo (60 m) (fin de l'Albien moyen)2.2.3.1. Lithologie, limites et variations latérales de faciès

Le membre inférieur est constitué d'une alternance métrique de grès calcaires et de shales bitumineux noirs (40 m). Le membre supérieur se caractérise par des bancs décimétriques de silexite alternant avec des calcaires noirs bitumineux (20 m). Le dernier banc centimétrique de silexite constitue le sommet de la formation.

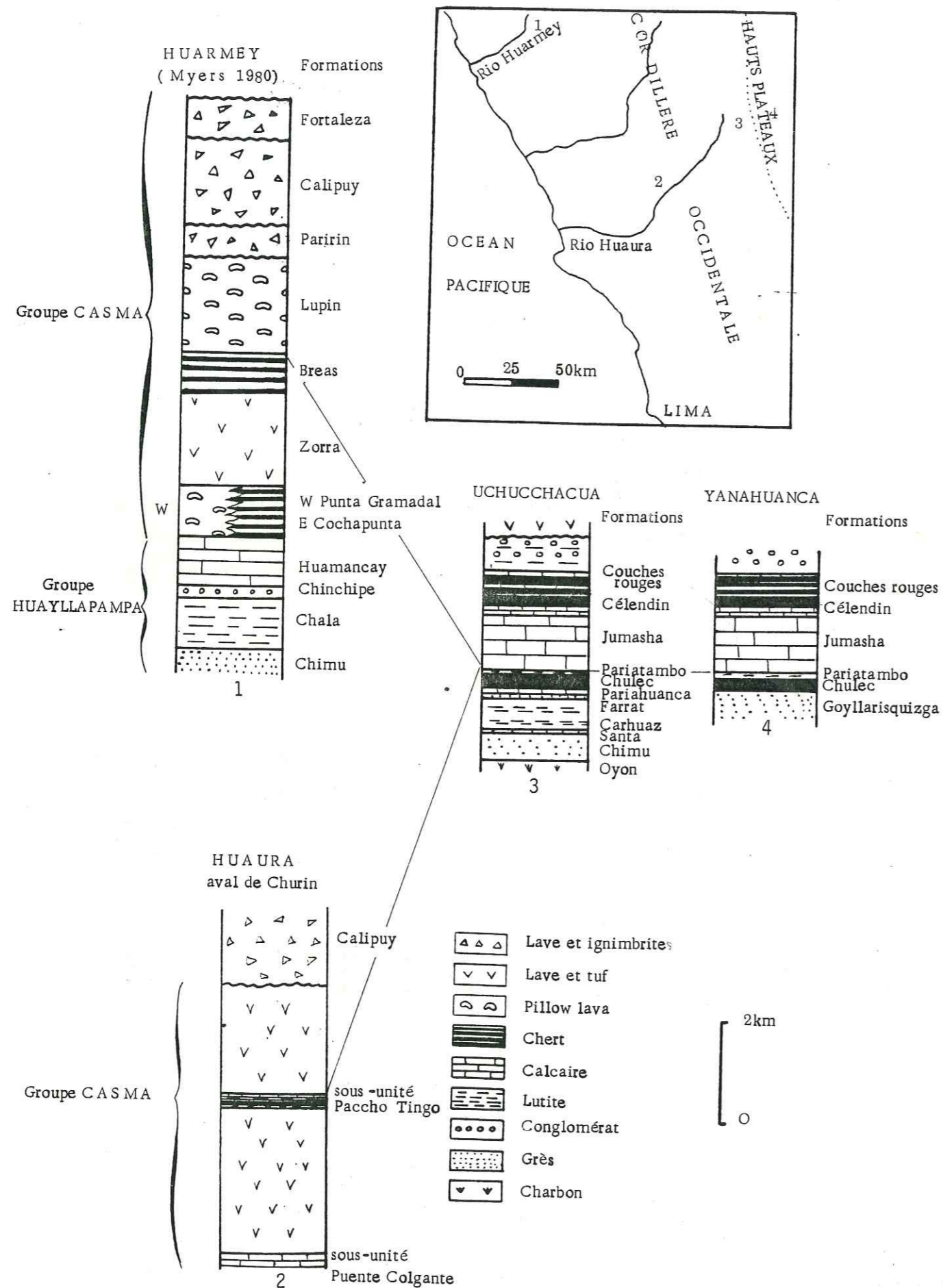


Fig. 13B Colonnes lithostratigraphiques synthétiques, du Crétacé de la Cordillère Occidentale, montrant les corrélations possibles entre les formations euxiniques albiennes.

Dix kilomètres plus au SW, dans la vallée Huaura (environs du village de Viroc), le Pariatambo présente plus de calcaires noduleux ; par contre, la proportion de silex diminue. Au sein des séries volcaniques beaucoup plus à l'aval à Paccho Tingo (76°50'W 10°53'S Z = 2 400 m), nous avons décrit (Chapitre 1, § 2.2.2., p.35 avec F. Mégard et C. Angelès) une formation euxinique à radiolaires et spicules de spongiaires qui serait peut-être l'équivalent occidental du Pariatambo et un équivalent méridional de la formation Breas (Myers, 1980) (Fig.13B)-

2.2.3.2. Age et milieu de dépôt

De nombreuses ammonites *Oxytropidoceras Carbonarium* datent le Pariatambo de la fin de l'Albien moyen. Le milieu de dépôt est confiné et réducteur ou euxinique. La profondeur était assez importante afin que les ammonites puissent se développer. On peut imaginer, en ce temps là, une mer intérieure similaire à la mer Noire.

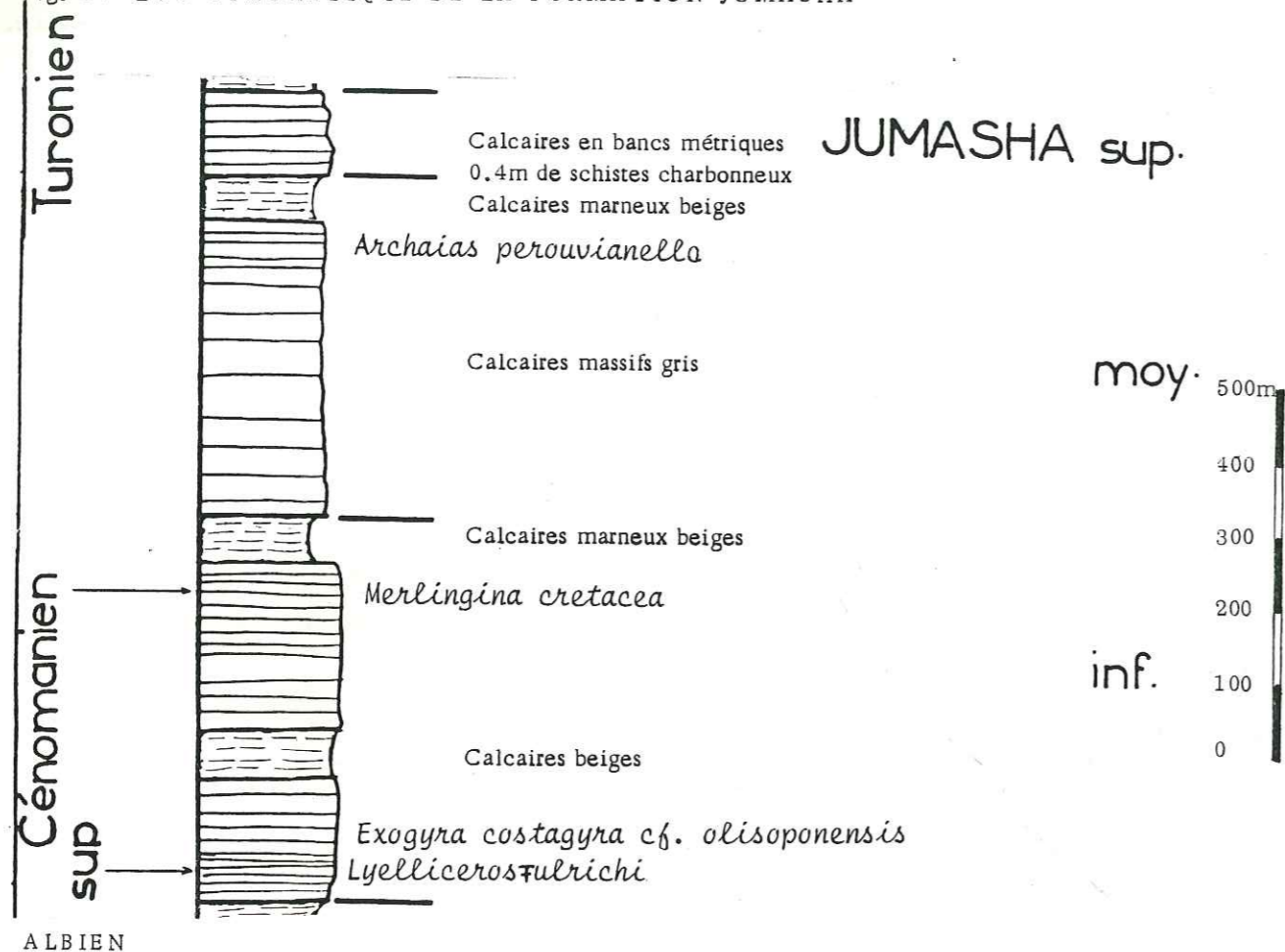
2.2.4. Jumasha (1 260 m) (Albien supérieur à Turonien)

2.2.4.1. Présentation de la formation (Fig.14)

2.2.4.1.1. Lithologie, limites et subdivisions

Ce trait morphologique marquant de la Cordillère Occidentale a été décrit initialement par McLaughlin en 1924 comme une formation épaisse de plusieurs centaines de mètres de bancs calcaires et dolomitiques d'épaisseur moyenne. La base de la série est aisément discernable puisqu'on quitte les calcaires noirs et les silexites pour entrer dans les calcaires gris. Par contre, le sommet est difficilement définissable. Wilson, 1963, a proposé la présence des bancs marneux comme critère de passage. J'ai abaissé cette limite supérieure au toit des bancs métriques de calcaires de couleur grise. Au-dessus, on entre dans une alternance calcaires - calcaires marneux à patine beige, qui passe progressivement vers le haut à des marnes. La différence de couleur entre les deux formations s'observe facilement dans le paysage, ce qui facilite la cartographie. Ainsi le Jumasha *sensu lato* de Wilson incluerait le membre inférieur de la formation (dit Célandin) qui sera définie ultérieurement (§ 2.1.1.). Dans le nord du Pérou, Benavides (1956) a subdivisé en trois unités (fm. Cajamarca, groupe Quillquiñan, groupe Puillcana) une série analogue au Jumasha. A Uchucchacua, la subdivision de la formation en trois membres était indispensable pour réaliser une carte géologique au 1/25 000e.

Fig. 14 LOG SYNTHETIQUE DE LA FORMATION JUMASHA



LEGENDE des colonnes biolithostratigraphiques.

Calcaires	Grès grossiers	Fréquence des éléments figurés par lame • Rare 1 à 2 • Présent 3 à 10 • Fréquent 10 à 30 • Abondant 30 à 100 • Très abondant 100
Calcaire marneux	Grès fins	
Calcaires noduleux	Calcaires gréseux	
Marnes	Grès calcaires	
Calcaires à silex	Silts	
Calcaires à silicification diffuse		
Silexites		

FACIES

Perforations	Terriers
Quartz détritiques	Bryozoaires
Faciès oolitique	Plaquettes d'échinodermes
Faciès à cnidaires	Coquilles de métazoaires
Serpules (annélides en colonies)	Huitres
Spicules de spongiaires	Spatanguidés
Petits rudistes	Bioclastes (faciès)
Algues	

La figure 14 résume les principaux éléments de la subdivision de la formation Jumasha. Les niveaux repères servant de limites entre chaque membre, sont représentés par des calcaires marneux beiges en patine qui rompent la monotonie des calcaires gris massifs des membres inférieur et moyen. Au dessus suit une série de bancs métriques calcaires. Le détail des lithologies est abordé plus loin (§ 2.2.4.2.-2.2.4.3.-2.2.4.4.).

2.2.4.1.2. Age

Les ammonites décrites par les anciens auteurs et rencontrées à la base de la formation comme *Lyelliceras ulrichi*, *Oxytropidoceras douglasi* (Knechtel) donnent un âge albien terminal. J.J. Wilson, 1963, inclut le Jumasha *sensu lato* entre la base de l'Albien supérieur et la base du Santonien en fonction de fossiles rencontrés dans la formation sus-jacente. Au nord du Pérou, L.R. Rivera (1980) donne un âge turonien supérieur grâce à une *Coilopoceras newelli* pour la formation Cajamarca, équivalent latéral du membre supérieur de la formation Jumasha. A proximité de la mine Uchucchacua (300 m au NW) au sommet de la formation Jumasha, *sensu lato*, une *Coilopoceras* a été récoltée; le genre est Turonien. Toutes ces données nous permettent de conclure à un âge albien supérieur à Turonien inclus pour cette formation.

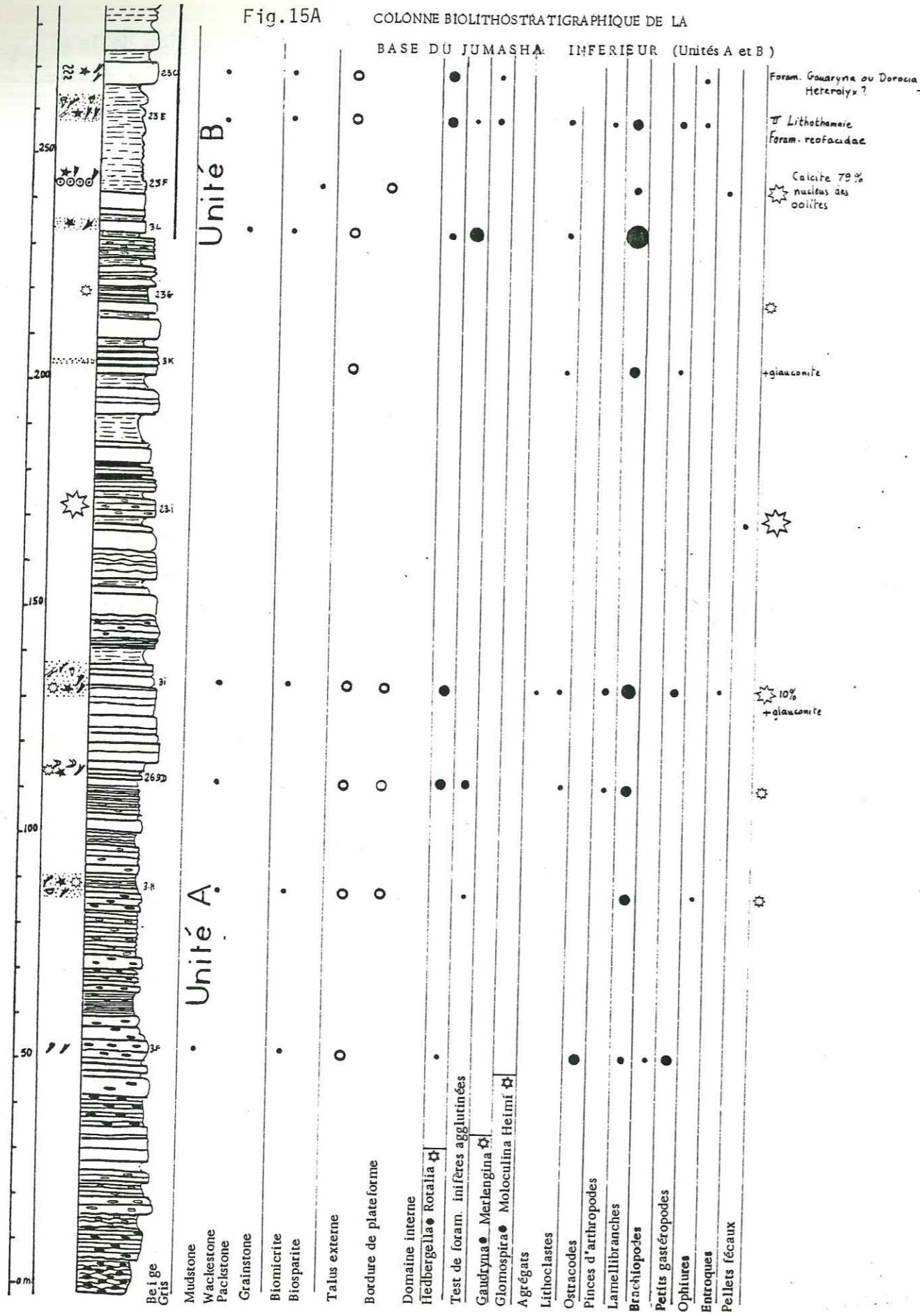
2.2.4.2. Membre inférieur : Jumasha inférieur (570 m) (Albien supérieur Turonien, *pro parte*) Fig.15AB

Ce membre peut être subdivisé en quatre unités.

2.2.4.2.1. Lithologie, âge et milieu de dépôt des différentes unités

L'unité A (230 m) grise, massive est constituée de calcaires noduleux à silex à la base (100 m), puis d'une alternance calcaires marneux-calcaires. Dans le haut, quelques passées légèrement quartzeuses et bioclastiques rompent cette monotonie. A 115 m de sa base, un horizon de calcaire à *Exogyra costagyrta* cf. *olisoponensis* (Sharpe, 1850) donne un âge cénomanién à turonien. L'étude des microfaciès (Fig.15A) indique un milieu de dépôt de talus externe de plate-forme proche de la bordure. En suivant la zone isopique vers le SSE, l'unité A présente un faciès légèrement plus marneux (cf. feuille Rapaz C° Chacua). L'unité B (70 m) aussi résistante que la précédente, mais de couleur beige, est formée pour l'essentiel de calcaires légèrement marneux (calcite 79 + 91 %).

Fig.15A COLONNE BIOLITHOSTRATIGRAPHIQUE DE LA BASE DU JUMASHA INFÉRIEUR (Unités A et B)



Section C* ISCU face W Fig.15B COLONNE BIOLITHOSTRATIGRAPHIQUE DU JUMASHA INF. (Unités C et D)
2.5km. à l'W de Uchucchacua

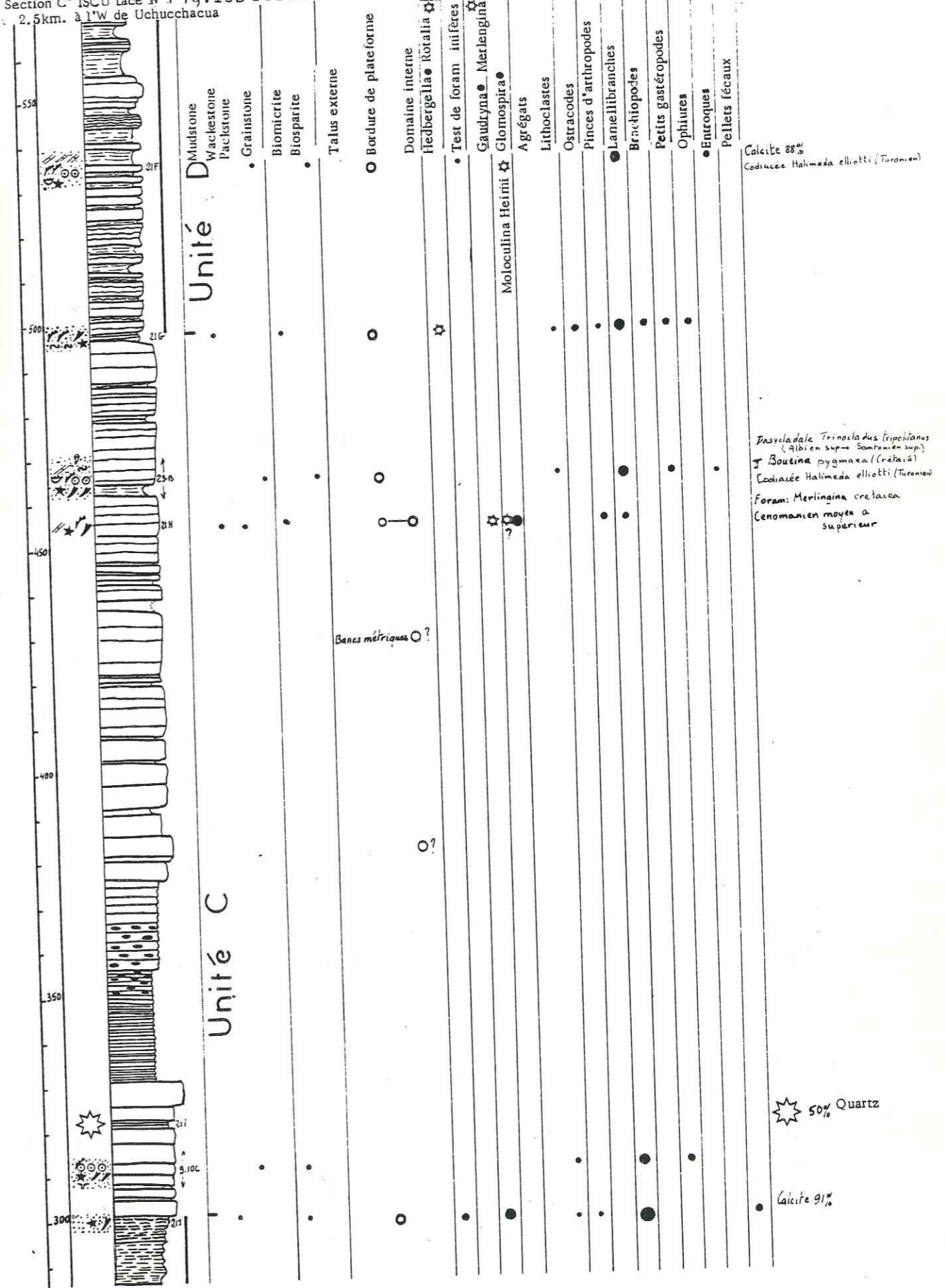
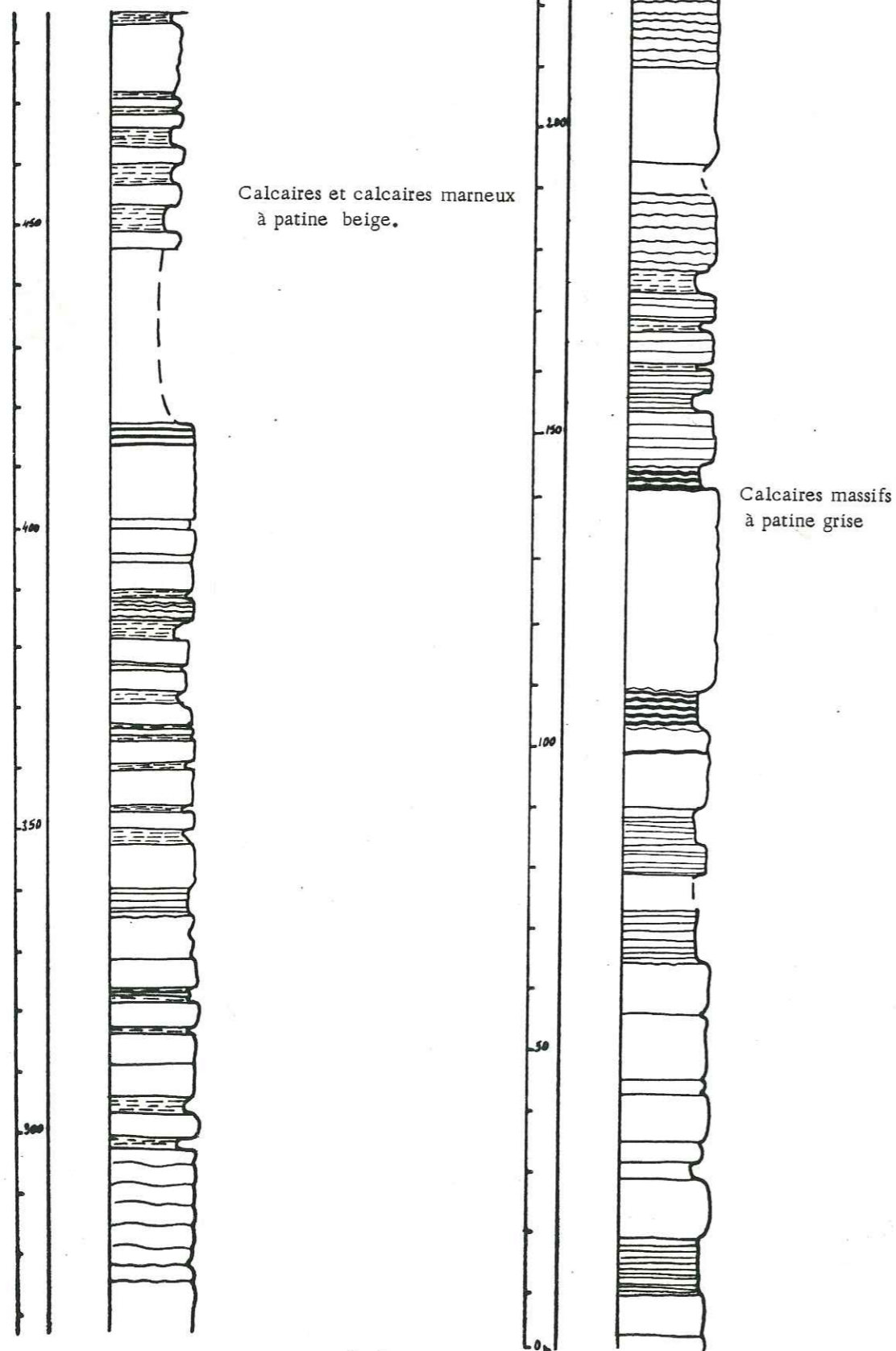


Fig.16 COLONNE LITHOSTRATIGRAPHIQUE
DU JUMASHA MOYEN

C° ISCU face E



L'unité C (200 m) (Fig. 15B) massive, à patine grise, est interrompue par 15 m de calcaires à silex. L'échantillon 21.H, biomicrite wackestone à lamelli-branches échinodermes et arthropodes, donne un âge cénomanien moyen à supérieur grâce au foraminifère *Merlingina cretacea* (détermination A. Arnaud-Vanneau). 5 m au-dessus, une codiacée *Halimeda ellioti* (Turonien - détermination M.A. Conrad) permet avec *Merlingina cretacea* de situer la limite Céno-manien - Turonien au point 460 m du log (Fig. 15B). L'unité D (70 m) beige, beaucoup moins saillante dans le paysage, est constituée d'une alternance calcaires-calcaires marneux. Le milieu de dépôt de cette unité était une bordure de plate-forme.

2.2.4.2.2. Synthèse pour le membre inférieur de la formation Jumasha

Le membre présente de légères fluctuations des faciès de plate-forme qui seraient dues à des déplacements de la bordure dans le secteur étudié. Il est daté Albien supérieur à Turonien inférieur (?) et peut être corrélé à la formation Yumagual du Pérou septentrional.

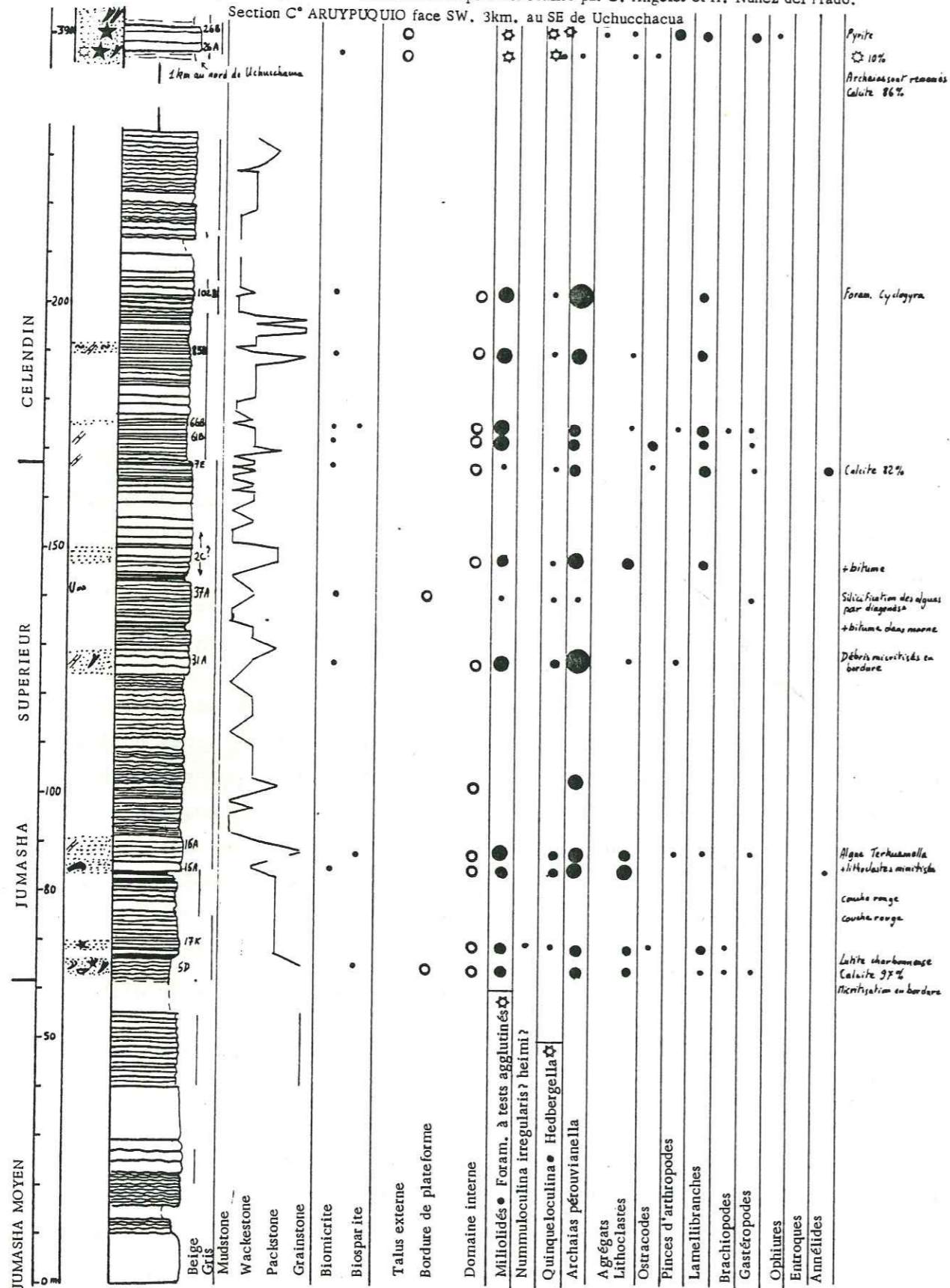
2.2.4.3. Membre moyen : Jumasha moyen (485 m) (Turonien) (Fig. 16)

Ce membre est composé de calcaires gris très massifs, en bancs plurimétriques, alternant avec des calcaires noduleux et de rares horizons calcaréo-marneux. Les soixante-dix derniers mètres sont occupés par des calcaires marneux beiges. L'absence de joints marneux et la puissance des bancs font penser à un milieu de plate-forme interne. Ce membre est daté (par encadrement) du Turonien *pro parte* et pourrait être corrélé avec le groupe Quilquiñan du nord Pérou (L.R. Rivera, 1980).

2.2.4.4. Membre supérieur : Jumasha supérieur (105 m) (Turonien)

La section de référence (Fig. 17) du C° Aruypuquio (76°40'30"W 10°38'20"S) a été levée par C. Angeles et H. Nunez del Prado en 1980. Le membre débute par un horizon repère de schistes carbonneux. L'essentiel de ce membre est constitué par des calcaires à grains généralement fins (milieu calme), régulièrement stratifiés en bancs métriques, très riches en microfaune de plateforme interne. L'âge considéré comme sénonien d'après les pénéroples *Archaeas perouvicanella* (G. Bizon, J.J. Bizon, E. Fourcade et D. Vachard, 1975), doit être ramené à Turonien à cause du *Coilopoceras* plus haut dans la série.

Fig. 17 COLONNE BIOLITHOSTRATIGRAPHIQUE DU JUMASHA SUP. et de la base du CELENDIN.
Section C° ARUYPUQUIO



2.2.5. Célandin (500 m) (Turono-coniacien)

Cette formation a été subdivisée en deux membres pour permettre une cartographie plus précise.

2.2.5.1. Membre inférieur : Célandin inférieur (300 m) (Turonien *pro parte*)

Si l'on suit la description de J.J. Wilson (1963), ce membre doit être rattaché à la formation Jumasha (*sensu lato*) car il comporte peu de bancs marneux. Dans le secteur étudié, le passage Jumasha-Célandin (en suivant la description de J.J. Wilson) est flou car la transition est progressive vers les marnes. De plus, suivant les conditions d'affleurement la séparation des deux formations est mal aisée. Aussi le critère de couleur s'est-il révélé plus intéressant : gris pour le Jumasha supérieur et beige pour le Célandin inférieur.

La lithologie débute par une alternance métrique de calcaires et calcaires marneux beiges en patine provenant d'une plate-forme interne (sommet section C° Aruypuquio, Fig. 17) recouverte par des calcaires marneux de talus externe. Un *Coilopoceras* trouvé vers le milieu du Célandin inférieur permet de lui attribuer un âge turonien *pro parte*. La limite entre les deux membres est soulignée par un ou plusieurs bancs de grès calcaires fins.

2.2.5.2. Membre supérieur : Célandin supérieur (220 m) (Coniacien Santonien)

Une alternance monotone de calcaires marneux et de marnes blanches caractérise cette unité. On rencontre en général cette rythmicité sur le talus externe de plate-forme, ce que confirment de nombreux échinodermes. L'apparition de marnes rouges (calcite 40 %) marque la limite supérieure de ce membre. Les ammonites *Metatissotia cf. fourneli* (Bayle) et *Buchiceras bilobatum* (Hyatt, 1875) ramassées par H. Nunez del Prado, cinquante mètres au-dessus de la base du Célandin supérieur au C° Muqui (76°41'30"W 10°39'55"S Z = 4 700 m par H. Nunez del Prado) sont coniaciennes. *Lenticeras baltaï* du Santonien inférieur a été décrite par V. Benavides (1956) à Célandin ; d'où l'existence d'un diachronisme entre le Célandin de Célandin et celui de Uchucchacua.

2.4. CRETACE TERMINAL ET LE TERTIAIRE CONTINENTAL2.4.1. Couches rouges (> 1 000 m) (Santonien à Oligocène)

Il s'agit de marnes gréseuses rouges alternées avec des grès calcaires et des conglomérats rouges continentaux datées du Santonien à l'Oligocène par des charophytes (F. Mégard, 1973). Dans la Cordillère Occidentale, on observe parfois une légère discordance entre la formation Célendin et les Couches rouges continentales.

Dans le secteur étudié, les Couches rouges ont été subdivisées.

2.4.1.1. Membre inférieur. Couches rouges inférieures (> 300 m)

Les affleurements se localisent dans les coeurs de synclinaux à l'E de la zone cartée. Cette unité est constituée d'une alternance de marnes gréseuses rouges et de calcaires gréseux gris avec selon les localités une ou deux intercalations décamétriques de marnes blanches. Ces variations latérales de faciès sont observables au N de Conchamarca (feuille Rapaz).

La calcimétrie de deux échantillons d'une même séquence donne :

- 40 % de calcite pour une marne gréseuse (banc de 3 m) ;
- 78 % de calcite pour un calcaire gréseux (banc de 0.2 m).

En lame mince, les quartz fins (\emptyset 0,005 → 0,1 mm) anguleux, sont entourés d'opaques. La matrice est microsparitique.

2.4.1.2. Membre supérieur : Couches rouges supérieures (> 150 m)

Elles affleurent dans la partie SE de la feuille Rapaz. Elles sont plissées et coincées entre un sill dacitique à la base et une épaisse coulée dacitique au sommet. Il n'est donc pas possible de connaître le rapport entre les membres inférieur et supérieur. Le matériel est continental : on y rencontre des grès à grains fins, à ciment sparitique (32 % de calcite) pollués par des clastes volcaniques (20 % modal), des silts et des conglomérats.

2.4.2. Les brèches tertiaires au NW de l'Hacienda Otuto

Ces brèches non datées, jouent un rôle prépondérant dans l'établissement de la chronologie relative des événements tectoniques. Elles se situent entre des phases compressives.

Tableau 1 : Analyses semi-quantitatives aux rayons X de la fraction granulométrique $< 2\mu$ de certains remplissages karstiques (carte Uchucchacua). En pour-cent

ECHANTILLONS	D0201	D0202	410A	410B	110E	28 J
Illite	87	63	54	37	11	2
Kaolinite					21	95
Montmorillonite	tr	5			53	tr
Interstratifiés illite montmorillonite	8	28	16	23		tr
Feldspaths					14	
Quartz	4	4	24	19	tr	
Hématite	tr	tr	pic à 4.5 Å 12%			
Lépidocrosite			tr			
Anatase (?)	tr	tr	tr			

Calcimétrie sur roche totale

Calcite	1	11	5	7	1	0
---------	---	----	---	---	---	---

Localisation	A N A M A R A Y	UCHUCCHACUA	LEON PUNUNAN
		Casualidad	
	76° 42' 35" W	76° 40' 30" W	76° 39' 25" W
	10° 34' S	10° 37' 15" S	10° 35' 40" S
	Z = 4450 m	Z = 4500 m	Z = 4800 m

Analyse sur roche totale de 110E (communiquée par P. Soler 1981). En pour-cent.

Pb 1.9%; Zn 1.28%; Ag 0.255; Cu 0.06; Cd 0.01; Bi 0.006; Sb 0.13; As 0.87; S 8.9; Fe 3.6; CaO 24.42; SiO₂ 10.65; Al₂O₃ 1.12; MgO 0.56

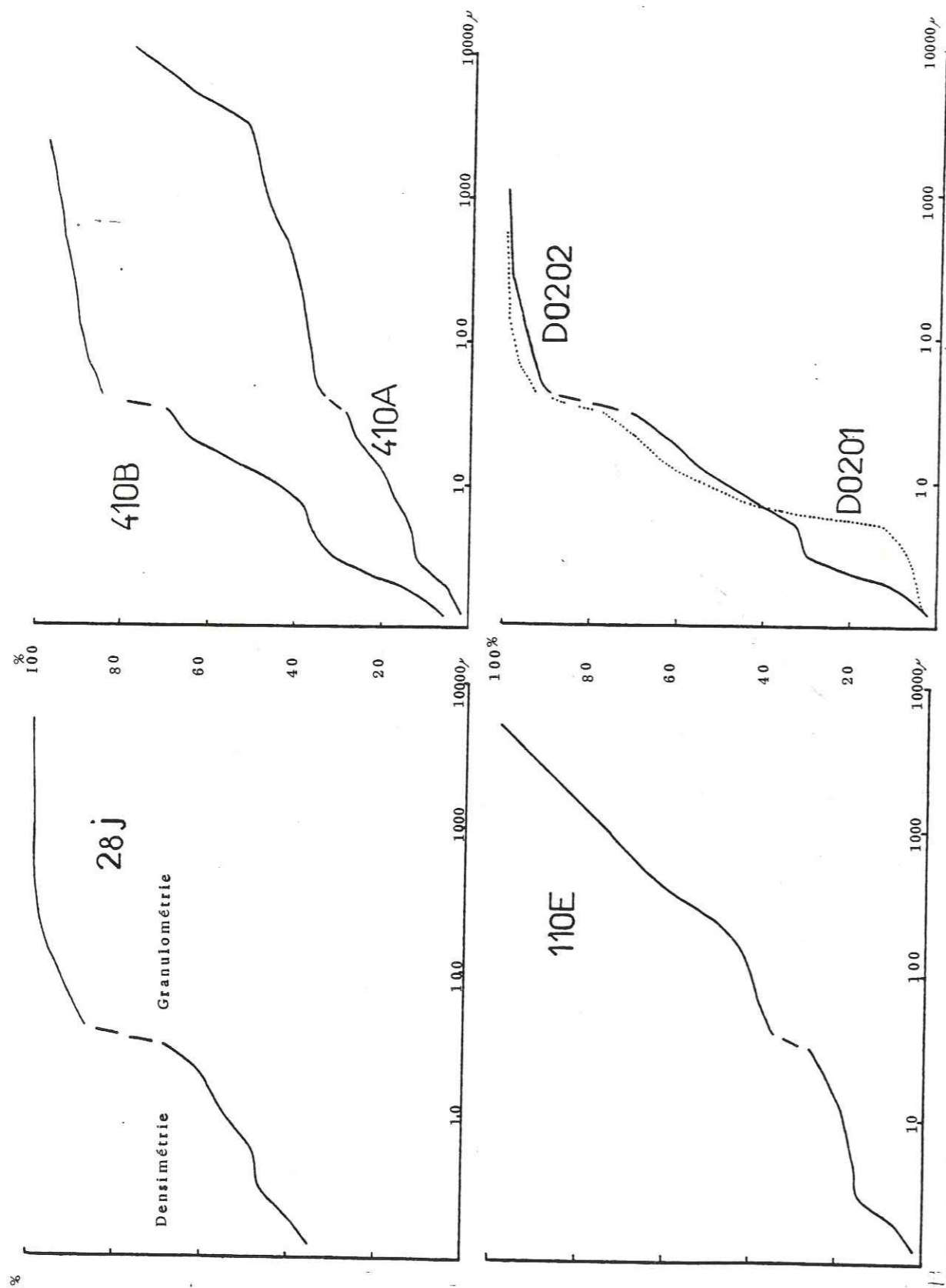


Fig 18 Granulométrie de remplissages karstiques - Courbes cumulatives en ordonnée arithmétique. Les méthodes utilisées sont pour les fines : La densimétrie. Pour les grossiers : Le tamisage.

2.4.2.1. Brèche polygénique inférieure (76°43'40"W 10°40'22"S
Z = 4 400 m)

Ce sont des bancs métriques, difficilement discernables, à éléments généralement non jointifs. Le ciment est rouge, gréseux, hématitique, non calcaire.

L'analyse des fines < 2 μ aux rayons X donne pour l'échantillon 9.10 K

Kaolinite 84 %	Quartz	Tr
Illite 12 %	Hématite	Tr
Interstratifié illite montmorillonite : Tr	Anatase	Tr
Montmorillonite : Tr	Calcite	0 % (calcimètre)

Une observation en lame mince révèle des structures filiteuses hématitiques contournées d'origine tectonique. Cette unité a subi en effet, deux phases compressives majeures. Les éléments présents dans cette brèche sont des quartzites des formations Chimú ou Farrat, des calcaires Jumasha, Pariahuanca et un claste volcanique dévitrifié, inframillimétrique, peut être d'origine éolienne. D'après les arguments tectoniques qui seront développés plus loin (Ch. 5, § 2.2.1.), cette brèche serait oligocène.

2.4.2.1. Brèche monogénique supérieure (76°43'30"W 10°39'50"S 4 600 m)
(76°44'10"W 10°37'20"S 4 500 m)

Les bancs sont métriques et la différence de dureté fait ressortir les niveaux compétents. Le ciment est rouge, les clastes provenant des quartzites néocomiennes sont jointifs. Il s'agit d'une brèche de pente nourrie par le Chimú chevauchant qui l'a ensuite cisailée et recouverte à la limite Miocène Pliocène (phase Quechua 3, J.P. Soulas, 1975). Son âge est probablement tardi-miocène

3. LES REMPLISSAGES KARSTIQUES

3.1. INTRODUCTION

De nombreuses cavités, remplies de sédiments détritiques ou argileux ont été rencontrées sur le terrain et en mine. Ces remplissages sont intéressants par leur contenu et leur place dans la chronologie tectonique régionale.

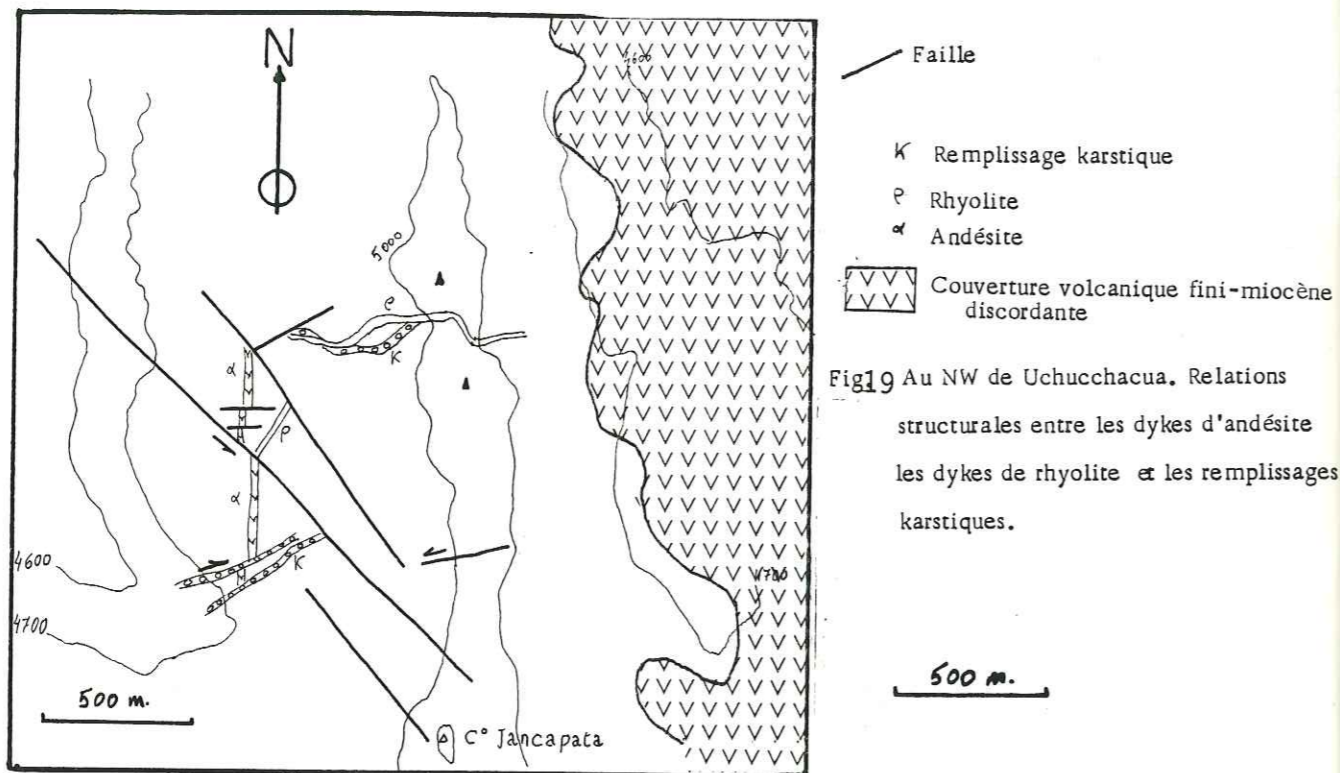
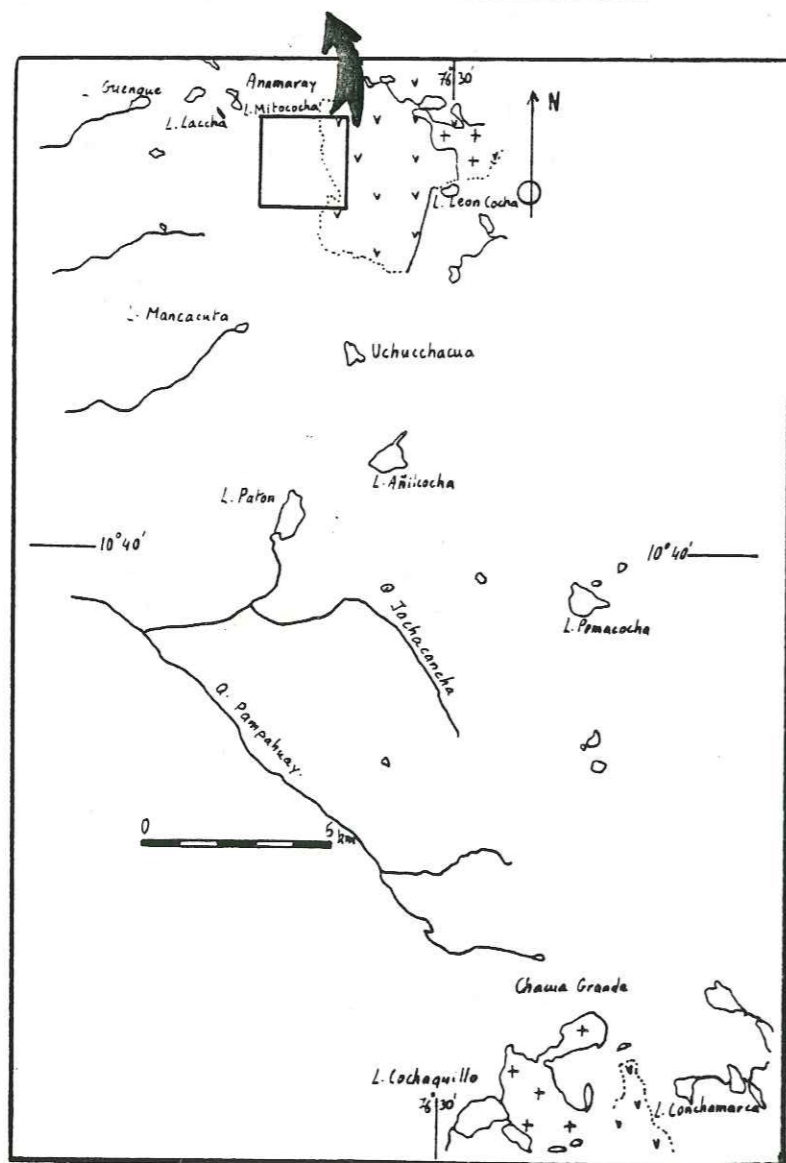


Fig19 Au NW de Uchucchacua. Relations structurales entre les dykes d'andésite les dykes de rhyolite et les remplissages karstiques.



Des arguments chronologiques : métamorphisme de contact, diagenèse et fracturation, nous permettent de distinguer cinq étapes d'activité karstique depuis l'Oligocène (?).

3.2. DESCRIPTION DES REMPLISSAGES KARSTIQUES, DANS L'ORDRE PROBABLEMENT D'APPARITION

Les deux premiers, K1, K2, peuvent être contemporains.

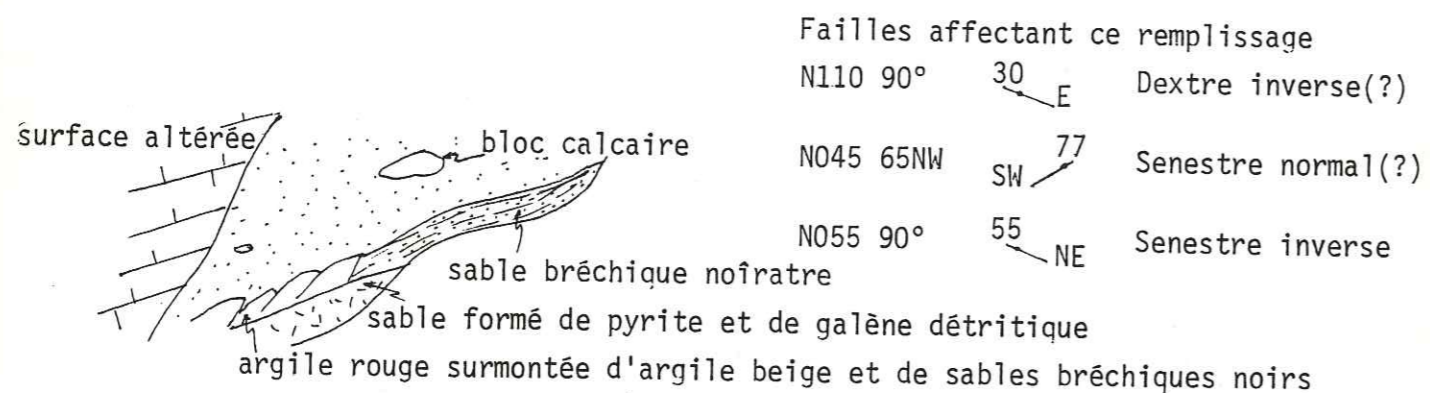
3.2.1. Premier remplissage = K1

De nombreux remplissages karstiques rouges, tectonisés, sont observables sur les crêtes au SW du Lac Paton. Un remplissage identique se localise quatre kilomètres plus à l'E (C° Léon Pununan 76°39'25"W 10°37'40"S Z = 4 880 m). Cet échantillon 28.J reporté sur une courbe granulométrique (Fig. 13) présente un matériel légèrement hétérogène, mal classé mais mature dans les grossiers supérieurs à 40 microns. Les fines sont constituées (Tableau 1, p. 65) de kaolinite. Ce sédiment rouge ne possède pas d'illite; il ne provient donc pas du lessivage des moraines affleurantes en surface; par contre, sa couleur rouge rappelle le Tertiaire continental; son âge est peut-être oligocène. Nous sommes en haute altitude et le Tertiaire a été érodé depuis longtemps puisqu'il manque 500 m de formation calcaire ou marno-calcaire (fm. Célendin) avant d'atteindre l'ancien plancher concordant des Couches rouges. Il est manifeste que ces remplissages karstiques sont plus jeunes que la première phase tectonique majeure qui exonda et plissa la Cordillère Occidentale, mais la quantité de matériel enlevé par l'érosion dénote l'ancienneté de ce remplissage.

3.2.2. Deuxième remplissage (Uchucchacua, mine Casualidad 4 500 m) K2

Il est métamorphisé par la proximité de l'intrusif dacitique. On observe une fine alternance de niveaux clairs essentiellement sparitiques et de niveaux sombres riches en opaques. Le quartz primaire très finement cristallisé occupe la matrice.

3.2.3. Troisième remplissage (Uchucchacua, mine Carmen niv. 4 530 m, fond de la galerie 195 - Observation de F. Mégard, 1980) - K3.



Un remplissage minéralisé postérieur au deuxième est cisailé par trois failles nées en deux phases différentes. En effet, c'est après la mise en place de l'intrusif dacitique avec sa minéralisation (qui a métamorphosé K2) que K3 s'est rempli d'un sable formé de pyrite et de galène.

3.2.4. Quatrième remplissage - K4 (Fig. 19)

Dans la même mine, des remplissages plus récents minéralisés ou non, sont affectés par un seul jeu de faille. A l'Ouest du volcanisme N (76°42'W 10°41'30"S), des karsts, des rhyolites et des andésites recoupent les calcaires de la formation Célendin. Les remplissages karstiques observables sur un dénivelé de 400 m, sont indurés et contiennent des quartzites, des grès, des calcaires de la formation Célendin et des clastes volcaniques. Le ciment est constitué de quartz et de calcite sparitique. L'activité et la mort de ces karsts doivent être relativement anciennes. En effet, le matériel quartzitique venait d'une zone d'apport située plus à l'ouest (il n'en existe pas sur plusieurs kilomètres à l'E) et dont le karst K4 est actuellement séparé par un vallon profond de 400 m et large de deux kilomètres.

3.2.5. Cinquième remplissage (mine Anamaray 76°42'35"W, 10°41'S, niv. 4 450 à 200 m de l'entrée) - K5

Ces remplissages karstiques stratifiés, non faillés, ont fait l'objet d'une étude sédimentologique. Les sédiments (Tableau p. 65 et Fig. 18) sont tous mal classés, hétérogènes et immatures, caractéristiques d'une non évolution suite

à un régime turbulent. Les éléments grossiers supérieurs à 40 microns sont matures, mal classés. Le matériel est argileux; la fraction inférieure à 2 microns présente pour les quatre premiers échantillons une forte proportion d'illite et d'interstratifiés illite-montmorillonite marqueurs d'un début de diagenèse. Ce matériel provient de l'érosion des moraines locales. La couleur orangée ou jaune de ces sédiments provient de l'hématite. L'étude détaillée de deux échantillons d'un même remplissage présentant l'alternance sable-argile, donne une idée des conditions de surface durant le Quaternaire (Fig. 18, éch. 410 A et B). Il s'agit du même type de dépôt mais l'échantillon A est plus grossier; cette dualité sous entend un régime climatique contrasté en surface.

Dans la mine Uchucchacua (casualidad 4630 pt 24E) un remplissage karstique minéralisé (tableau 1, Fig. 19, éch. 110E) donne une courbe sédimentologique légèrement immature. Les fractions fines sont très riches en montmorillonite, les feldspaths viennent de la dégradation de l'intrusif dacitique.

3.2.6. Conclusion sur les remplissages karstiques

L'étude sédimentologique complétée par l'analyse semi-quantitative de la fraction inférieure à 2 microns a permis de discerner des remplissages karstiques d'origine différente : sédiments tertiaires, moraines et minerais. Les karsts fonctionnent encore actuellement dans la zone de Anamaray où le lac Mitococha, toujours à sec sauf lors de fortes pluies, est une doline se vidant par un embut.

3.3. CHRONOLOGIE RELATIVE DES DIFFERENTS REMPLISSAGES KARSTIQUES

Le remplissage K1 caractérisé par des sédiments rouges et une forte proportion de kaolinite provient de la destruction des Couches Rouges tertiaires. La quantité de matériel érodé au-dessus de l'affleurement actuel est importante. L'âge de K1 est peut être oligocène donc plus jeune que la première phase tectonique majeure (Inca).

Le remplissage K2 métamorphosé par l'intrusif de la mine daté sur biotite 25.3 Ma est peut-être contemporain de K1.

Le remplissage K3 comprend de la pyrite et de la galène détritiques dont l'origine est liée à l'intrusif daté de 25.3 Ma. Il est donc postérieur aux précédents; il est affecté par trois failles apparues en deux phases distinctes dans la mesure où les failles conjuguées N055, N130 sont liés à une compression

subméridienne, la faille normale N045 n'étant pas contemporaine des deux autres. Les karsts K4 localisés sur la carte (Fig. 19) remplissent des failles initialement dextres affectant des dykes andésitiques. Ces mêmes karsts sont recoupés par un dyke rhyolitique. Ainsi on peut les localiser dans le temps entre un épisode tectonique de raccourcissement EW (voir Fig. 19, deux failles conjuguées déplacent le dyke andésite N-5), postérieur aux andésites, et la mise en place de rhyolites. Les remplissages affectés par un seul jeu de faille sont peut-être postérieurs au précédent. Enfin les karsts K5 non affectés par la tectonique sont quaternaires puisque leur remplissage de matériel morainique est lié aux glaciations récentes.

4 - LES FORMATIONS SUPERFICIELLES QUATERNAIRES

Nous ne donnerons qu'une liste des formations différenciées sur notre carte au 1/25 000e.

- B - "Bofedal" . Alluvions tourbeuses, marécage à plantes grasses comblant des ombilics glaciaires ou des petites plaines de haute altitude.
- A - Alluvions actuelles : Limons blancs ou beiges déposés en saison pluvieuse (novembre à avril) dans des lacs temporaires.
- Ja - Eboulis actif ou entretenu. Talus, avec ou sans cône, de cailloutis classés par gravité aux pieds des falaises ou de pentes raides.
- J - Grèze . Talus de fins cailloutis en baguettes, stratifiés et classés par gravité aux pieds des pentes calcaréo-marneuses. Ce débit en "frite" est dû à la cryoclastie. Ces sols sont striés dans le sens de la pente par l'action des eaux météoriques car de novembre à avril, le couvert neigeux se renouvelle fréquemment et reste rarement plus d'une semaine. La neige fond et l'écoulement de la boue strie le sol. De mai à octobre les rares chutes de neige sont rapidement sublimées par un air très sec.
- Jf - Eboulis ou grèze ancien, fixés par la végétation herbeuse.
- Jg - Eboulis à gros blocs. Eboulis mal classés à blocs métriques, parfois perturbés par des glissements sur moraine ; ou écroulements de pans de falaise.
- h - Coulée boueuse . Ecoulement composite de blocs, de paquets glissés emballés dans les fines autochtones. Ces coulées se rencontrent rarement au-dessus de 4 000 mètres.

Cac - Cône torrentiel actif . Résulte de l'action érosive torrentielle sur les versants à couverture végétale réduite. Les principaux cônes se localisent en amont des lacs temporaires ou non.

Cf - Cône torrentiel ancien ou actif exceptionnellement . Ces appareils sont fixés, recouverts par la végétation et creusés en leur centre par un torrent actif exceptionnellement.

Cma - Cône mixte actif . Cônes à moyenne et forte pente avec torrent temporaire, à matériel non classé accumulé en partie par gravité, en partie par le transport par l'eau.

Cmf - Cône mixte ancien, fixé par la végétation.

U - Travertin ; tuf calcaire : dépôts calcaires actuels ou subactuels localisés sur quelques exurgences.

Ma - Moraine récente sans végétation. Ces moraines se présentent parfois en système d'une demi-douzaine d'arcs morainiques emboîtés et remobilisent généralement des marno-calcaires. Ces moraines datent du 18ème siècle ou sont encore plus récentes (C.M. Clapperton, 1972).

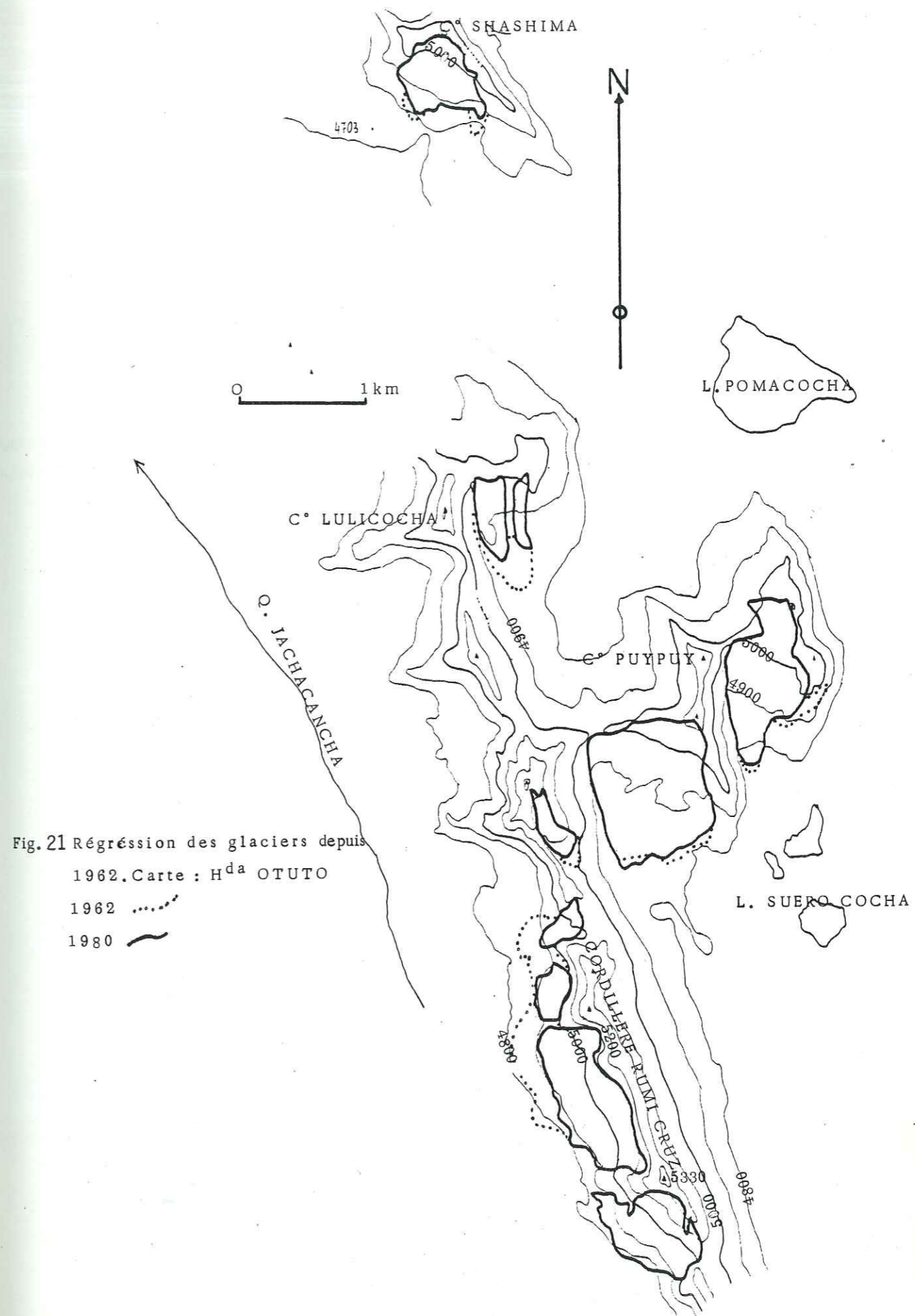
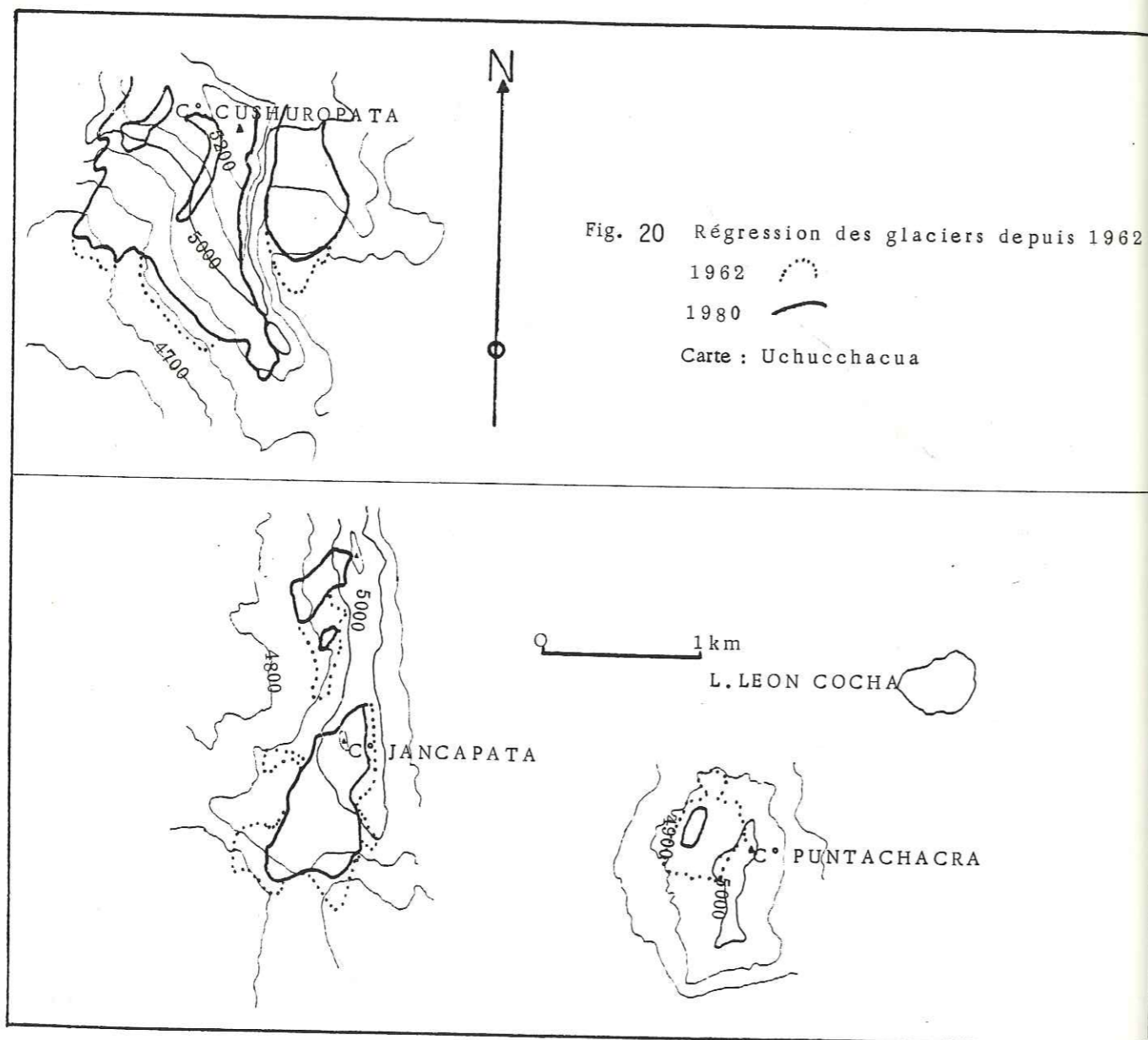
Mf - Moraine ancienne ou formation d'altération périglaciaire, recouverte par la végétation : Ces moraines anciennes forment des terrasses fluvio-glaciaires emboîtées depuis 3 500 m d'altitude. Cette imbrication s'observe sur le cours du rio Huaura en amont du village Oyon.

Glissements et paquets glissés : ces structures sont rares, volumineuses et anciennes. Elles se sont détachées lors du recul des grands glaciers quaternaires. Deux affleurements représentatifs se situent sur la carte Rapaz.

5 - REMARQUES AU SUJET DES GLACIERS

Ils couronnent parfois les plus hauts sommets, mais se rencontrent généralement dans des cirques sur les faces S ou W. L'examen comparé de notre carte levée lors des campagnes de terrain de 1980, 1981 et des photos aériennes prises en 1962 (Fig. 20 et 21) permettent d'observer une régression glaciaire importante, surtout en face W, durant ces vingt dernières années.

Le recul des glaciers atteint 30 % au pied de la Cordillère Rumi Cruz (Fig. 21) alors qu'il parvient difficilement à 10 % en face S. La petite calotte de glace du C° Puntachacra (Fig. 20) a quasiment disparu. L'absence des glaciers en face E, s'explique par un ensoleillement plus long au levant qu'au couchant (face W) suite à une augmentation de la nébulosité au cours de la journée. Le léger recul des glaciers peu ensoleillés, tout particulièrement en face S, confirme la tendance au réchauffement du globe pour les décennies précédentes.



CHAPITRE 4 - LE MAGMATISME CALCO-ALCALIN ENTRE 10°30' ET 10°50' S
DANS LA HAUTE CORDILLERE OCCIDENTALE PERUVIENNE ET LES
MINERALISATIONS ASSOCIEES

1. INTRODUCTION
2. GISEMENTS
3. PETROGRAPHIE ET MINERALOGIE DE LA SERIE PORPHYRIQUE
4. GEOCHIMIE DES ELEMENTS MAJEURS DE LA SERIE
PORPHYRES BLANCS, PORPHYRES VERTS DE LA HAUTE CORDILLERE
OCCIDENTALE ENTRE 10°35' ET 10°45' S
5. RADIOCHRONOLOGIE POTASSIUM ARGON
6. CONCLUSION SUR LE MAGMATISME DE LA HAUTE CORDILLERE
OCCIDENTALE PERUVIENNE ENTRE 10°30' ET 10°50' S
7. MINERALISATIONS ECONOMIQUEMENT EXPLOITABLES OU EN
COURS D'EXPLOITATION DANS LE SECTEUR CARTE
8. CONCLUSION SUR LE MAGMATISME ET LES MINERALISATIONS
ASSOCIEES

1. INTRODUCTION

Dans la zone étudiée, le magmatisme mésozoïque n'est pas représenté ce qui contraste avec le groupe Casma de la moyenne vallée du rio Huaura. Par contre, dans le secteur Uchucchacua-Otuto, le magmatisme se traduit par des phénomènes cryptovolcaniques, plutoniques et éruptifs. Les roches sont microlitiques à microgrenues. Les magmas mis en place ou leurs équivalents effusifs sont de composition dioritique et granodioritique accompagnés d'un faible volume rhyolitique. Les datations effectuées sur les échantillons du secteur nord, les situent entre le Miocène supérieur et le Quaternaire, à part une série orientale andésitique réduite, riche en fer et plus ancienne. Sous le C° Anamaray un dyke de banakite (classification de A. PECERILLO et S.R. TAYLOR, 1976), ancienne monzonite, transformée en syénite par métasomatose, doit appartenir à une série shoshonitique; cet intrusif est probablement une rémanence du volcanisme antéplissement andin. La pétrologie et la géochimie des éléments majeurs confirment l'appartenance du magmatisme de Uchucchacua-Otuto aux lignées calco-alcalines. La montée d'un dôme dacitique dans le secteur nord, accompagnée par des venues hydrothermales provoque une oxydation poussée du matériel volcanique intermédiaire encaissant. Une altération potassique régionale très nette dans les rhyolites occupant des accidents majeurs, est aussi observable dans la banakite. Les minéralisations, au nombre de quatre, débutent par la mise en place de l'intrusif avec son skarn associé dans la mine Uchucchacua (25 Ma); suit une minéralisation régionale, mésothermale, économiquement exploitable et datée 9 Ma (D.C. NOBLE 1981); puis les venues hydrothermales liées au dôme dacitique nord, oxydent l'encaissant volcanique. Enfin, une minéralisation à gangue quartzreuse est présente dans la zone méridionale (C° Chacua).

2. GISEMENTS

Les déterminations de terrain sont basées pour les porphyres gris-violacés ou verts sur l'intensité de la couleur et la présence ou l'absence de quartz visibles à la loupe.

2.1. LES PORPHYRES GRIS-VIOLECE OU VERTS

Par leur distribution et leur volume, ils constituent de loin les plus importantes des roches ignées.

2.1.1. La série volcanique au Nord de Uchucchacua (fig.22, p. 77)

C'est une série épaisse de 500 m, de coulées à blocs andésitiques ou dacitiques intercalées dans des laves andésitiques; un petit épisode ignimbritique s'observe dans la base. Un dôme dacitique imposant recoupe la série du côté oriental et les venues hydrothermales associées donnent naissance à des oxydations se traduisant par un faciès différent de couleur rouge (pointillés sur les coupes 25.27 (fig.39, p. 122). Ce volcanisme discordant sur le Crétacé est plissé; la surface de discordance peut localement être verticale (voir chapitre 5, § 2.1.2.3.); les plis sont larges et d'axe N.S.

Au Nord de Cachipamja. à l'E du dôme dacitique, une série (70 m) de laves andésitiques rouges à grises, très riches en opaques (hématite ?; des bancs en possèdent plus de 50 %) diffère par sa typologie du volcanisme précédemment décrit.

2.1.2. Les intrusifs du district Laccha Anamaray (fig.22)

A proximité du lac Laccha, plusieurs pointements dioritiques autométamorphiques (présence d'épidote pistachite), affleurent avec des minéralisations hydrothermales associées et un skarn largement développé. Sous le C° Jucho, un intrusif granodioritique recoupe le chevauchement des quartzites berriaso-valanginiennes sur les calcaires marneux du Coniacien de la formation Célendin. Deux kilomètres plus à l'Est, sous le C° Anamaray, un intrusif andésitique est entouré en demi-fer à cheval par une rhyolite blanche, foliée parallèlement aux épontes, elle-même recoupée par un verre rhyolitique. D'autres dykes acides, avec de rares enclaves plus basiques, coupent ce neck andésitique.

Cinq cents mètres plus au Sud, trois dykes orientés E.W, espacés de 300 m correspondent du N au S à:

- une dacite à biotites saines datée de 9.32 ± 0.57 Ma;

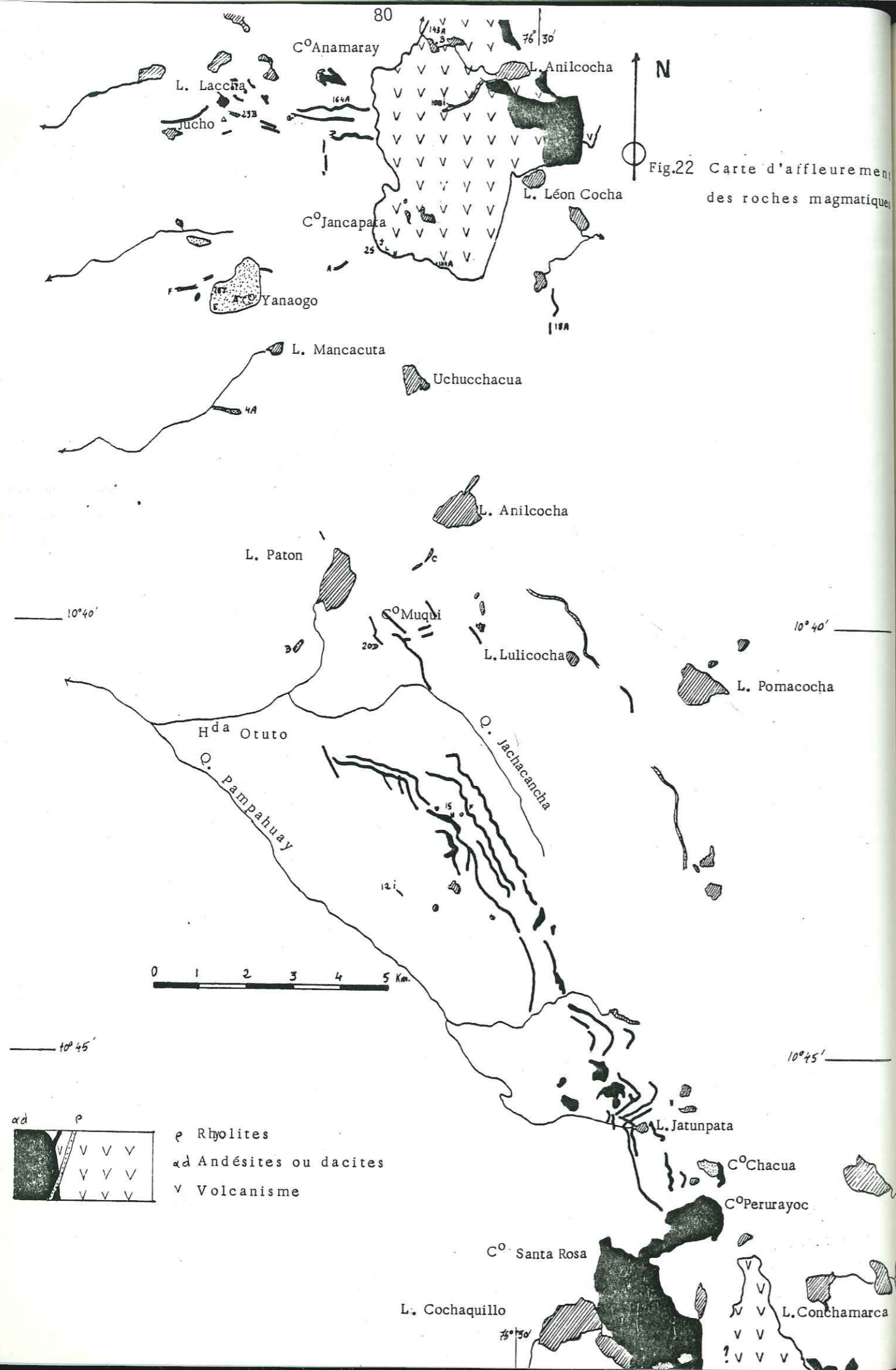


Fig.22 Carte d'affleurement des roches magmatiques

- une syénite, ancienne monzonite ayant subi une métasomatose (voir § 3.2.2.2.); elle appartient probablement à une série shoshonitique et tombe dans les banakites dans le diagramme de A. PECERILLO et S.R. TAYLOR (fig.24);
- une rhyolite potassique très jeune recoupant un paléokarst.

2.1.3. Les sills et les dykes entre les vallons Jachacancha et Pampahuay (fig:22)

Ces phénomènes crypto-volcaniques s'observent en face E du synclinal perché Anchuero; leur nature chimique est intermédiaire.

2.1.4. Le secteur sud entre Cochaquillo et Conchamarca (fig.22)

Un corps hypoabyssal dacitique forme le C° Santa Rosa. Des coulées à blocs à l'Ouest de Conchamarca chapeautent le Nord de la Cordillère Callejon; elles s'appuient du côté est, en contact par faille, sur les calcaires du Turonien. A l'extrémité SE, la formation Couches rouges (Tertiaire) est coïncée entre un sill décamétrique et un dôme-coulée dacitique.

2.2. LES PORPHYRES BLANCS (essentiellement rhyolitiques)

Leur distribution est limitée dans l'espace.

2.2.1. Au Nord de Uchucchacua

Un dyke de rhyolite blanche, large de 20 m, coupe le volcanisme finimiocène (103I); une foliation parallèle aux épontes s'est développée; une faille N.130 cisaille cet intrusif en décrochement dextre. Plus à l'Ouest, un dyke (D) de rhyolite potassique massive, saine et blanche, recoupe les calcaires de la formation Célendin et un remplissage karstique; ce dyke est coïncé entre deux failles N 135 et N 145.

L'intrusif circonscrit affleurant au C° Yanaogo s'est mis en place après le chevauchement des quartzites berriaso-valanginiennes; il affleure sur un kilomètre carré. Sa nature chimique (28 j) est similaire à celle de la moyenne des rhyolites des autres parties du monde (Tableaux 2 et 4).

2.2.2. Au Sud de Uchucchacua

Au SE des lacs Paton et Anilcocha, le long d'une faille majeure affleurent des rhyolites hyperquartzesuses elles-mêmes légèrement cisillées. Un sill de porphyre blanc suit un chevauchement majeur à l'Ouest du Lac Pomacochoa. Un neck rhyolitique, constituant le C° Chacua, coupe entre autres, un hypoabyssal dacitique; cet intrusif acide peut être en relation avec des minéralisations à gangue quartzeuse.

3 . PETROGRAPHIE ET MINERALOGIE DE LA SERIE PORPHYRIQUE

3.1. INTRODUCTION

Dans le cas présent où nous avons à faire à des roches altérées, l'emploi des classifications chimico-minéralogiques est mal aisé à cause de la mobilité des alcalins et du calcium. De même, l'utilisation d'une classification modale (A.L.STRECKEISEN, 1967) est inconcevable dans ce type de roche porphyrique. Mais dans le but de classer et de donner un nom aux roches étudiées, deux classifications seront utilisées:

- celle proposée par A. PECERILLO et S.R. TAYLOR (1976), basée sur la teneur en SiO₂, est établie pour les séries volcaniques;
- celle de C.I.P.W. LACROIX, donnant une norme en pourcentage volume, est reportée sur le triangle QAP (A. RITTMANN, 1973). D'autre part, nous raisonnerons sur magma sec comme le font de nombreux auteurs. Les déterminations microscopiques sont en accord avec le nom donné aux roches par les classifications précédemment citées.

3.2. LES PORPHYRES GRIS-VIOLACE OU VERTS

Toutes les roches étudiées sont porphyriques, à part la banakite et la diorite d'Anamaray qui possèdent une structure grenue. Dans la plupart des cas, elles ont une texture fluidale pour les laves et isotrope pour les tufs, les sills ou les dykes; certains intrusifs présentent une structure microgrenue; la mésostase est constituée d'une pâte en "snow-flakes".

Tableau 2 Analyses chimiques des andésites basaltiques et de la banakite
Zone Uchucchacua

	18A	20D	25J	G *
SiO ₂	54.60	54.10	53.40	55.90
Al ₂ O ₃	17.50	18.30	17.30	15.80
Fe ₂ O ₃	8.27	8.27	7.42	5.12
MnO	0.12	0.05	0.10	0.16
MgO	4.64	4.20	3.92	4.03
CaO	4.85	5.33	5.81	5.74
Na ₂ O	2.80	3.40	3.10	1.20
K ₂ O	1.40	1.00	2.20	7.70
TiO ₂	0.81	0.90	1.20	1.10
P ₂ O ₅	.70	0.70	0.70	0.70
P.F.	4.85	5.15	5.40	1.85
Total	100.54	101.40	100.55	99.30

ANALYSES SANS P.F. ↓				
SiO ₂	57.38	56.52	56.36	57.67
Al ₂ O ₃	18.45	19.12	18.26	16.30
Fe ₂ O ₃	1.01	1.01	0.92	0.62
FeO	6.76	6.72	6.10	4.11
MnO	0.13	0.05	0.11	0.17
MgO	4.89	4.39	4.14	4.16
CaO	5.11	5.57	6.13	5.92
Na ₂ O	2.95	3.55	3.27	1.24
K ₂ O	1.48	1.04	2.32	7.94
TiO ₂	0.85	0.94	1.27	1.13
P ₂ O ₅	0.74	0.73	0.74	0.72

NORME C.I.P.W. en pourcentage poids				
Qtz	19.86	10.89	7.34	2.70
Or	8.74	6.14	13.70	46.91
An	20.52	22.86	25.58	16.46
Ab	24.96	30.03	27.66	10.49
Corin	4.47	3.77	0.99	
Diops				7.46
Hyperst	22.59	20.97	18.85	12.22
Magnét	1.46	1.46	1.33	0.89
Ilménit	1.61	1.78	2.41	2.14
Rutile				
Apatite	1.75	1.72	1.75	1.70
D.I.	47.57	47.08	48.73	60.12
S.I.	28.61	26.27	24.72	23.02

K-Na-Ca				
-I54.9	-191.8	-165.6	22.9	
Fe+Mg+Ti	240.5	227.6	216.5	184.7
Si/3-x	132.1	110.7	85.02	40.97

x=K+Na+2/3Ca

NORME C.I.P.W. en pourcentage volume				
Qtz	16.26	12.82	8.53	3.07
Or	9.65	6.81	14.99	50.23
An+Ab	47.47	55.42	55.07	26.27
Corin	2.97	2.51	0.65	
Diops				6.24
Hyperst	19.49	18.16	16.11	10.22
Magnét	1.15	1.15	1.03	0.68
Ilménit	1.29	1.43	1.91	1.66
Apatite	1.72	1.70	1.70	1.62

Moyennes d'analyses chimiques d'andésites, de dacite de rhyolites et de shoshonites prises dans la littérature

	p_m	p_{ca}	d_m	a	d_{Am}	
	Rhyolites mondiales (Le Maître, 1976)	Rhyolites calco-alcalines (Lefèvre, 1979)	Dacites mondiales (Le Maître, 1976)	Andésites calco-alcalines (Chayes, 1969)	Andésites d'Amérique du Sud (Lefèvre, 1974)	Shoshonites du Pérou (Lefèvre, 1974)
SiO ₂	74.00	71.35	66.36	59.27	60.62	57.88
Al ₂ O ₃	13.53	15.06	16.12	17.59	17.02	15.77
FeO	2.48	2.09	4.56	7.06	5.86	5.87
MgO	0.41	0.32	1.74	3.29	3.33	2.84
CaO	1.16	1.78	4.29	7.06	5.81	5.11
Na ₂ O	3.62	3.93	3.89	3.27	3.89	4.26
K ₂ O	4.38	4.92	2.22	1.64	2.57	3.56
TiO ₂	0.27	0.31	0.58	0.81	0.90	1.30
P.F.	1.49	1.11	1.25	1.24		
Nombre d'Analyses	116	2	80	17	75	

NORME C.I.P.W. en pourcentage poids						
Qtz	32.87	25.44	22.62	13.61	11.79	7.73
Or	24.44	28.65	12.82	9.51	14.89	21.03
An	4.76	7.68	19.99	27.93	20.97	13.39
Ab	30.07	32.83	32.06	27.16	32.32	36.04
Corin	1.02	0.61				
Diops			0.36	4.15	4.28	6.22
Hyperst	1.34	0.79	5.68	9.83	7.72	4.19
Magnét	2.14	0.42	3.52	4.45	4.49	
Hématit		1.59				5.35
Ilménit	0.54	0.58	1.10	1.51	1.67	2.46
Apatite	.17	0.37	0.35	0.47	0.68	1.44
D.I.	88.38	86.92	67.50	50.28	59.00	64.82

NORME C.I.P.W. en pourcentage volume						
Qtz	36.37	27.92	25.46	15.77	13.59	
Or	25.45	25.60	13.58	10.38	16.15	
An+Ab	34.29	39.56	52.13	56.83	54.65	
Corin	0.64	0.38				
Diops			0.30	3.54	3.63	
Hyperst	1.09	0.64	4.70	8.38	6.54	
Magnét	1.59	0.31	2.65	3.45	3.47	
Ilménit	0.41	0.44	0.84	1.19	1.31	
Hématit		1.15				

Nota bene :Partage du fer d'après Brooks 1976.

A partir du coefficient d'oxydation du fer Fe₂O₃/FeO=0.15on aboutit à FeO=0.9 Fe₂O₃ Analyse/1.15Nouvelle perte au feu P.F.=P.F.Analyse+a avec a=Fe₂O₃ Analyse -FeO

Les analyses sont ensuite recalculées à 100% sans la nouvelle perte au feu.

3.2.1. Pétrographie et minéralogie des roches éruptives

Elles possèdent une texture fluidale pour les laves et les coulées à blocs. La structure est microlitique, la mésostase riche en verre présente des microlites de feldspath, de mica et parfois des petits cristaux xénomorphes de quartz. La proportion d'opaques est élevée et peut atteindre plusieurs pour-cents. Les phénocristaux, tous millimétriques, sont par ordre d'importance, représentés par:

- des plagioclases en cristaux automorphes, rarement zonés, constitués essentiellement de labrador; on observe dans certaines laves homogènes, des intercroissances de cristaux ou syneusis;
- des augites trapues, souvent très altérées en calcite micro-sparitique; leur proportion atteint 20% dans les andésites basiques à intermédiaires (échantillons 18A, 25J, 20D; d'après la norme en pourcentage volume) (Tableau 2);
- des hornblendes vertes dans les dacites.

Dans la mésostase, et inclus dans les phénocristaux, on rencontre de l'apatite et du sphène. Il apparaît un autométamorphisme dans la base de la série volcanique au Nord de la mine Uchucchacua signalé par des zéolites occupant des miaroles.

3.2.2. Pétrographie et minéralogie des roches intrusives

Les sills andésitiques, localisés entre les vallons Jachacancha et Pampahuay, présentent des minéralogies similaires de celles des roches éruptives précédemment décrites. La description suivante concerne les dacites ou rhyodacites de couleur verte à mauve-clair.

3.2.2.1. Les roches intrusives intermédiaires microlitiques

Les structures sont donc microlitiques, souvent dévitrifiées, parfois microgrenues. La texture est équante, rarement fluidale; les phénocristaux millimétriques sont, par ordre d'importance, représentés par:

- des plagioclases automorphes souvent zonés;
- des ferromagnésiens difficilement identifiables à cause d'une épigénie en calcite;
- des feldspaths potassiques toujours altérés;

Tableau 3 Analyses chimiques des andésites et des dacites

Zone Uchucchacua Hacienda Otuto.

	23B	I21	I64A	I5U	I44A	I50	I43B	I5F	25L	I43
SiO ₂	66.60	66.10	64.98	64.70	63.64	60.80	60.66	57.20	57.40	57.95
Al ₂ O ₃	14.90	15.80	15.66	15.80	16.55	16.30	17.56	17.10	16.20	17.44
Fe ₂ O ₃	2.66	3.61	3.81	3.61	3.71	6.57	6.46	8.40	7.00	6.95
MnO	0.11	0.04	0.07	0.06	0.08	0.15	0.11	0.16	0.09	0.21
MgO	0.33		1.74	1.01	1.13	1.64	2.42	2.88	3.41	3.84
CaO	3.08	1.06	3.20	3.17	4.00	2.19	4.53	4.27	5.97	4.61
Na ₂ O	3.00	1.41	3.37	3.70	3.12	3.40	3.42	2.80	2.70	3.51
K ₂ O	4.20	4.10	3.14	2.90	2.67	2.50	2.37	2.10	1.80	1.69
TiO ₂	0.46	2.90	0.52	0.33	0.49	0.49	0.80	0.84	1.11	0.95
P ₂ O ₅	0.70	0.32	0.15	0.70	0.19	0.60	0.25		0.70	0.30
P.F.	4.75	2.40	4.36	4.05	4.08	4.80	1.52	5.80	4.70	3.21
Total	100.80	97.74	100.33	100.04	99.69	99.44	100.04	101.55	101.03	100.77

ANALYSES SANS P.F. †	23B	I21	I64A	I5U	I44A	I50	I43B	I5F	25L	I43
SiO ₂	69.53	69.48	67.88	67.67	66.84	64.72	61.99	60.05	60.00	59.87
Al ₂ O ₃	15.56	16.61	15.66	16.53	17.38	17.35	17.94	17.95	16.93	18.02
FeO	0.33	0.44	0.47	0.44	0.46	0.81	0.76	1.03	0.85	0.83
FeO	2.17	2.97	3.11	2.94	3.06	5.43	5.09	6.87	5.68	5.56
MnO	0.11	0.04	0.07	0.06	0.08	0.16	0.11	0.17	0.09	0.22
MgO	0.34		1.82	1.06	1.19	1.75	2.47	3.02	3.56	3.97
CaO	3.22	1.11	3.34	3.32	4.20	2.33	4.63	4.48	6.24	4.81
Na ₂ O	3.13	1.48	3.52	3.87	3.28	3.62	3.49	2.94	2.82	3.61
K ₂ O	4.39	4.31	3.28	3.03	2.80	2.66	2.42	2.20	1.88	1.75
TiO ₂	0.48	3.05	0.54	0.34	0.51	0.52	0.82	0.88	1.16	1.01
P ₂ O ₅	0.73	0.34	0.16	0.73	0.20	0.64	0.26		0.73	0.31

NORME C.I.P.W. en pourcentage poids

	23B	I21	I64A	I5U	I44A	I50	I43B	I5F	25L	I43
Qtz	27.75	25.81	23.35	24.83	24.76	23.70	16.11	15.58	16.14	12.95
Or	25.94	18.02	19.38	17.90	16.54	15.71	14.30	13.00	11.10	10.34
An	10.20	7.34	15.52	11.70	19.53	7.38	21.27	22.22	26.19	21.95
Ab	26.48	36.47	29.78	32.74	27.75	30.63	29.53	24.87	23.86	30.63
Corin	1.55	3.52	0.62	2.59	1.79	5.81	1.78	2.58	0.65	2.12
Diops										
Hyperst	3.97	7.37	9.09	7.23	7.50	13.09	13.72	18.14	16.84	18.13
Magnét	0.47	0.63	0.68	0.63	0.66	1.17	1.10	1.49	1.23	1.20
Ilméni	0.91	0.64	1.02	0.64	0.96	0.98	1.55	1.67	2.20	1.93
Rutile										
Apatite	1.72		0.37	1.72	0.47	1.51	0.61		1.72	0.71
D.I.	80.18	80.31	72.52	75.49	69.07	70.06	59.94	53.47	51.12	53.93
S.I.	3.28	9.34	14.92	9.35	11.03	12.26	17.36	18.80	24.07	25.24
K-Na-Ca	-64.9	-100.7	-103.5	-119.7	-121.3	-101.9	-37.5	111.7	73.1	-12.1
Fe+Mg+Ti	50.3	79.2	102.1	77.8	85.4	137.9	10.3	12.8	11.0	22.7
Si/3-x	153.5	164.0	153.6	146.7	155.6	158.1	308.7	329.4	298.7	268.6

x=K+Na+2/3Ca

NORME C.I.P.W. en pourcentage volume

	23B	I21	I64A	I5U	I44A	I50	I43B	I5F	25L	I43
Qtz	30.20	28.67	25.83	27.50	27.38	26.95	18.27	17.98	18.42	14.93
Or	26.52	18.84	20.18	18.66	17.22	16.81	15.26	14.12	11.92	11.21
An+Ab	36.50	43.37	44.59	43.79	46.53	38.46	51.27	48.36	50.81	53.95
Corin	0.95	2.21	0.59	1.62	1.12	3.74	1.14	1.69	0.04	1.58
Diops										
Hyperst	3.18	6.02	7.39	5.89	6.10	10.95	11.44	15.39	14.13	15.35
Magnét	0.34	0.47	0.50	0.46	0.49	0.89	0.33	1.15	0.94	0.91
Ilméni	0.68	0.49	0.77	0.48	0.72	0.76	1.20	1.32	1.72	1.54
Apatite	1.57		0.34	1.60	0.44	1.44	0.58		1.64	0.61

- des biotites saines ou chloritisées; leur forme, parfois flexueuse et longue est due à l'action des gaz;
- des quartz arrondis dans les rhyodacites présentent quelquefois des golfes de corrosion; certains possèdent des structures typiques d'hypovolcanique semi-explosif (quartz triangulaire);
- des hornblendes associées en glomérophyres avec des plagioclases;
- des minéraux d'altération: calcite, séricite, épidote, pennine, affectent les feldspaths et surtout les ferromagnésiens;
- des grenats d'origine profonde, rouge en lumière naturelle, très corrodés; un blindage chimique (12.i), représenté par des épidotes et des plagioclases, protège parfois ces grenats; des microgermes de plagioclases, vraisemblablement albitiques (macles polysynthétiques associées karlsbad) sont d'aspect "fumeux"; ils ont cristallisé en profondeur et sont inclus dans ces grenats (15 u);
- des andradites dans certaines dacites minéralisées.

Dans la mésostase et inclus dans les phénocristaux, on rencontre: apatite, sphène, zircon et opaques.

3.2.2.2. Les roches intrusives grenues

3.2.2.2.1. L'intrusif du Lac Laccha (Anamaray)

Cette roche verte possède des plagioclases légèrement altérés en calcite et en pistachite, des augites, des feldspaths potassiques secondaires et des opaques; un skarn minéralisé lui est associé.

3.2.2.2.2. Le dyke de banakite (G) au Sud du C° Anamaray

C'est une roche verte, grenue, à texture équante, dont les cristaux millimétriques, par ordre d'importance, sont représentés par des:

- plagioclases zonés: calcique, sodique; calcique, sodique; faisant ainsi apparaître deux albitisations;
- amphiboles vertes, intimement altérées en trémolite par pneumatolyse;
- orthoses plurimillimétriques automorphes, à structure perthitique d'altération pneumatolytique, et des orthoses de deuxième génération;
- biotites chloritisées ou décolorées;
- épidotes pistachite et clinozoïsite;
- quartz xénomorphes en petits cristaux inframillimétriques;
- apatites.

Tableau 4 : Analyses chimiques des rhyolites de la zone Uchucchacua

	A	B	C	4A	F	E	D	25N	IO3I	28J
SiO ₂	77.20	76.10	75.90	76.30	76.30	74.40	73.60	75.60	74.19	71.50
Al ₂ O ₃	10.90	12.30	11.40	12.80	12.80	12.40	12.40	12.00	13.76	13.30
Fe ₂ O ₃	0.28	0.52	0.40	0.76	0.54	0.52		3.18	1.35	1.73
MnO	0.02	0.03	0.12	0.11	0.06	0.09	0.02	0.04	0.00	0.05
MgO	0.21	0.15	0.13	0.42	0.70	0.19	0.29	0.37	0.61	0.50
CaO	2.03	0.12	1.80	0.25	0.31	1.93	0.22	1.33	0.72	1.55
Na ₂ O	1.70		0.20	2.60	1.70	0.70		3.00	2.61	3.40
K ₂ O	2.60	5.10	5.10	3.60	4.70	4.70	7.70	3.20	4.47	4.00
TiO ₂	0.08	0.12	0.07	0.07	0.08	0.06	0.05	0.41	0.19	0.21
P ₂ O ₅	0.30		0.30			0.30			0.07	
P.F.	3.60	2.85	3.90	2.40	2.40	4.15	1.80	1.80	2.16	3.05
Total	98.93	97.80	99.32	99.32	99.70	99.45	96.09	101.14	100.13	99.30
ANALYSES SANS P.F. ↓										
SiO ₂	81.00	80.20	79.58	78.79	78.50	78.11	78.06	76.55	75.84	74.42
Al ₂ O ₃	11.44	13.49	11.95	13.22	13.16	13.00	13.15	12.12	14.07	13.84
Fe ₂ O ₃	0.03	0.06	0.05	0.09	0.08	0.06		0.38	0.16	0.21
FeO	0.23	0.43	0.33	0.61	0.51	0.43		2.51	1.08	1.41
MnO	0.02	0.03	0.13	0.11	0.06	0.09	0.02	0.04		0.05
MgO	0.22	0.16	0.14	0.43	0.72	0.20	0.31	0.37	0.62	0.52
CaO	2.13	0.13	1.89	0.26	0.32	2.03	0.23	1.34	0.74	1.61
Na ₂ O	1.78		0.21	2.68	1.75	0.73		3.03	2.67	3.54
K ₂ O	2.73	5.37	5.35	3.72	4.84	4.93	8.16	3.23	4.57	4.16
TiO ₂	0.08	0.13	0.07	0.07	0.08	0.06	0.05	0.41	0.19	0.22
P ₂ O ₅	0.31		0.31			0.31			0.07	
NORME C.I.P.W. en pourcentage poids.										
Qtz	56.04	58.86	54.19	47.25	47.65	48.17	45.87	41.46	39.80	32.70
Or	16.13	31.73	31.61	21.98	28.60	29.13	48.21	19.09	27.00	24.58
An	8.54	0.64	7.35	1.28	1.58	8.04	1.14	6.64	3.21	7.98
Ab	15.06		1.77	22.67	14.80	6.17		25.63	22.59	29.95
Corin	2.42	7.44	3.11	4.31	4.46	3.53	3.89	1.20	3.55	0.58
Diops										
Hyperst	.85	0.97	1.02	2.20	2.64	5.78	0.77	4.61	3.08	3.44
Magnét	0.04	0.08	0.07	0.13	0.11	0.08		0.55	0.23	0.30
Ilméni	0.15	0.24	0.13	0.13	0.15	0.11	0.04	0.77	0.36	0.41
Rutile							0.02			
Apatite	.73		0.73			0.73			0.16	
D.I.	87.24	90.6	87.6	91.91	91.06	83.48	94.10	86.19	89.41	87.24
S.I.	4.41	2.6	2.2	5.71	9.11	24.54	3.66	3.89	6.81	5.28
K-Na-Ca	-37.46	111.7	73.1	-12.1	40.58	44.90	162.1	-53.1	-2.33	-54.6
Fe+g+Ti	10.3	12.8	11.0	22.7	27.8	58.4	8.6	54.6	34.8	38.6
Si/3-x	308.6	329.4	298.7	268.6	272.5	281.0	257.1	242.4	228.8	191.0
x=K+Na+2/3Ca										
NORME C.I.P.W. en pourcentage volume										
Qtz	59.02	62.33	56.86	50.54	50.80	50.58	48.25	44.53	42.81	35.19
Or	15.99	31.62	31.22	22.19	28.70	28.79	47.73	19.29	27.33	24.89
An+Ab	22.12	0.60	8.51	22.80	15.55	13.29	1.07	30.35	24.69	36.33
Corin	1.44	4.46	1.84	2.61	2.69	2.10	2.32	0.73	2.16	0.36
Diops										
Hyperst	0.66	0.75	0.79	1.73	2.07	4.46	0.80	3.64	2.43	2.72
Magnét	0.03	0.05	0.05	0.09	0.08	0.05	0.03	0.39	0.17	0.21
Ilménite	0.11	0.17	0.09	0.09	0.11	0.08	0.03	0.57	0.26	0.30
Apatite	0.64		0.64			0.64	0.02		0.14	

L'ordre de cristallisation pour les principaux minéraux est le suivant:

1. Amphiboles.
2. Orthoses plurimillétriques automorphes.
3. Plagioclases.
4. Quartz et orthoses de deuxième génération.
5. Liseré d'albite autour des plagioclases, l'albite est engrenée avec le quartz - Saussuritisation des plagioclases en pistachite et clinozoïsite - Perthite d'altération pneumatolytique dans les orthoses automorphes - Pneumatolyse des amphiboles vertes en actinotes.
6. Phyllitisation sous forme de séricite.

Cette roche appartient à la série shoshonitique en général parce qu'elle possède de grands phénocristaux d'orthose de première génération, et une forte proportion de ferromagnésiens. Malgré des apports pneumatolytiques, son chimisme confirme cette appartenance.

3.2.3 Caractérisation et nomenclature

Selon la classification de A. PECERILLO et S.R. TAYLOR (1976) (fig.24), les porphyres verts se distribuent en deux groupes:

(1) les roches à composition dacitique (63 % < SiO₂ < 70 %) sont représentées par les porphyres vert-clair ou mauve-clair qui se situent dans les dacites sur le triangle QAP d'après la norme C.I.P.W. en pourcentage volume;

(2) les roches comprises dans l'intervalle (56 % < SiO₂ < 63 %) sont des porphyres gris-violacé ou vert-foncé. Sur le diagramme QAP, on les rencontre dans les trachyandésites. Mais les moyennes des analyses chimiques des andésites trouvées dans la littérature tombent dans l'aire de dispersion des échantillons récoltés. Aussi garderons nous l'appellation andésite par souci d'homogénéité.

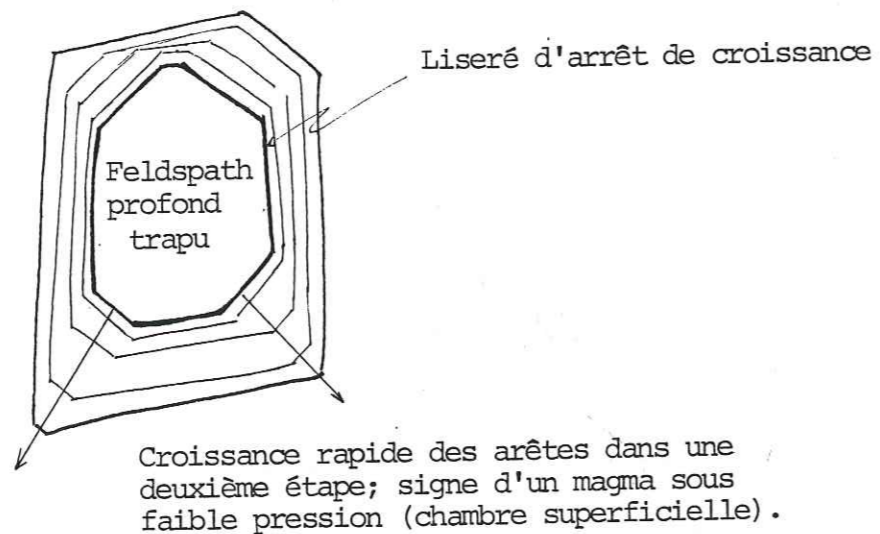
Les andésites légèrement basiques (18A-25J-20D) qui possèdent moins de 56 % de silice en analyse brute, tombent dans le même domaine que les andésites à part la roche (G), appartenant à une série shoshonitique, qui est dans QAP une syénite, et une banakite dans la classification de A. PECERILLO et S.R. TAYLOR.

3.2.4. Deux exemples d'évolution magmatique

Au sommet de la série intermédiaire, au Nord de la mine Uchucchacua, une lave andésitique 143 A, présente des enclaves dacitiques plus claires à

feldspaths zonés dans une pâte légèrement plus basique:

0 0,1 m.m



La cristallisation initiale d'un feldspath tabulaire se distingue par un liseré d'arrêt de croissance qui lui donne une forme originelle trapue. Entre ces deux cristallisations, la croissance des arêtes fut rapide suite à une ascension accélérée depuis une chambre profonde vers une chambre plus superficielle. Ensuite, ce matériel a été repris par un magma plus basique, (plus sombre) pour atteindre la surface.

Les dykes dacitiques recoupant le synclinal entre les vallons Jachacancha et Pampahuay comptent des grenats rouges. Certains, fracturés par une montée très rapide, renferment des plagioclases "fumés" profonds (15 μ); un autre grenat est blindé chimiquement. Dans l'hypothèse où l'origine du magma calco-alcalin est due à la fusion partielle de quartz-éclogite à haute pression (T.G. GREEN et A.E. RINGWOOD, 1968), le grenat est le premier à cristalliser à 27 k.bars (75 km); il peut encore apparaître à 18 k.bars (50 km). Sa composition chimique placée dans un diagramme triangulaire grenats magnésiens, ferro-manganeux et calciques donnerait une idée de sa profondeur de cristallisation (T.H. GREEN, 1977) donc, dans le cas étudié, prouverait son origine mantellique ou crustale. En effet, en fonction de la distance à la fosse

(300 km) et de la pente du plan de subduction (environ 13°), on connaît l'épaisseur de la croûte continentale sous Uchucchacua qui est puissante d'environ 70 km ($300 \times \text{tg } 13^\circ \approx 70$).

3.3. LES PORPHYRES BLANCS (Rhyolites pour l'essentiel)

3.3.1. Pétrographie et minéralogie des porphyres blancs

Ces roches, d'apparence très homogène sur le terrain, révèlent sous le microscope et à l'analyse chimique des différences. La texture généralement équante présente parfois une fluidalité donnant une foliation à l'affleurement. La mésostase est généralement dévitrifiée; seulement deux échantillons présentent une structure microgrenue faisant apparaître dans la pâte des quartz et des feldspaths. Les phénocristaux peu nombreux, tous millimétriques, sont par ordre d'importance représentés par:

- des quartz rhyolitiques, ronds ou cassés, présentant éventuellement des golfes de corrosion;
- des feldspaths potassiques en cristaux automorphes, séricitisés ou calcitisés;
- des plagioclases moins altérés et plus petits que les orthoses;
- des anciens ferromagnésiens entièrement calcitisés;
- des opaques;
- des micas riches en opaques.

Une silicification remplit des mioles dans les échantillons A B et F. Les fantômes de minéraux ferromagnésiens constituent un marqueur des liens génétiques qui existent entre les porphyres blancs et les porphyres verts. Une ignimbrite rouge (25 N) incluse par son chimisme dans ce groupe, est caractérisée par sa texture eutaxitique donnant des axiolites.

3.3.2. Caractérisation et nomenclature (Tableau 4)

Selon la classification de A. PECERILLO et S.R. TAYLOR (1976), les porphyres blancs se situent dans le domaine des rhyolites à $\text{SiO}_2 > 70\%$ et atteignent exceptionnellement, dans la zone cartée, plus de 80 %.

Le rapport de la norme, en pourcentage volume, sur le diagramme QAP (fig 25, p. 92) nous situe sur les domaines rhyolite-rhyolite alcaline-rhyolite

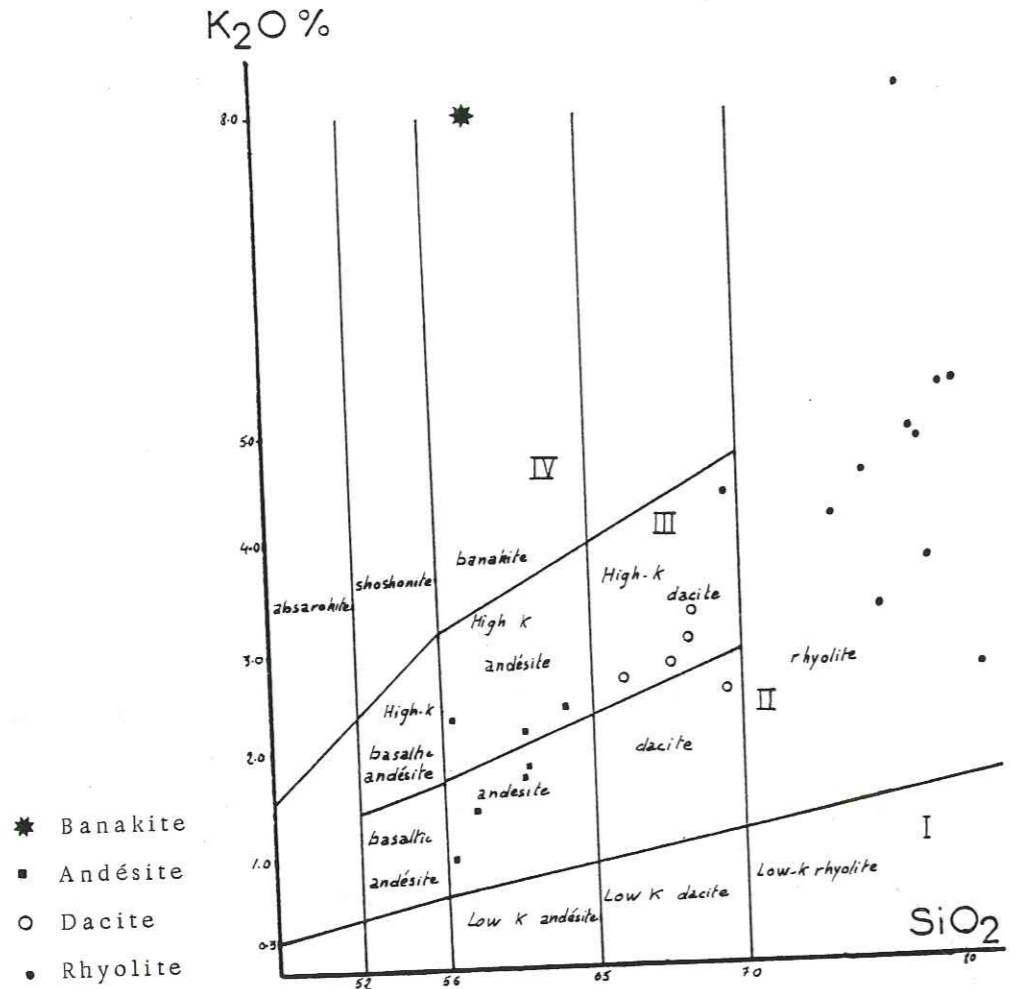
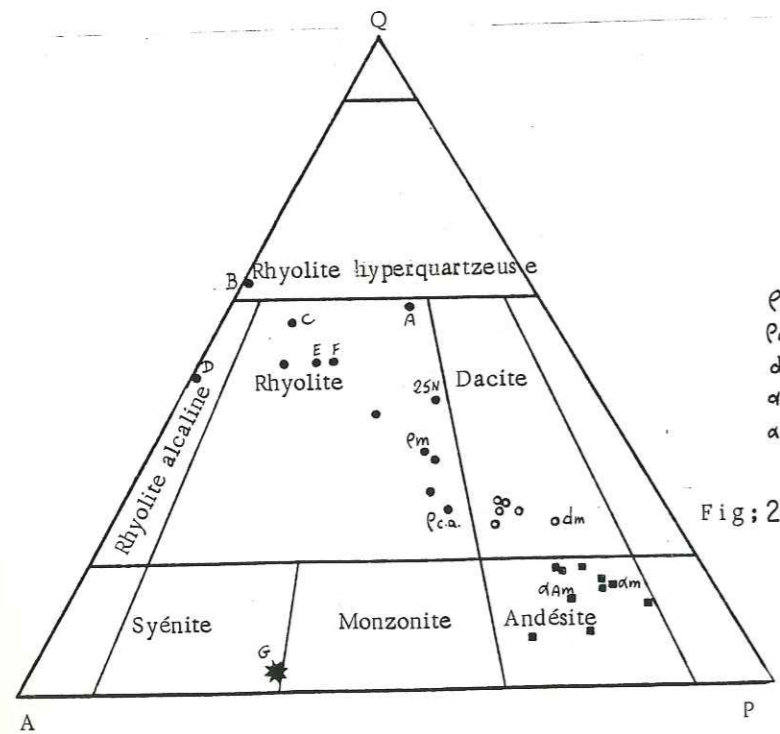


Fig. 24 Schéma de classification pour les roches I tholéitiques, II. alco-alcalines, III. alco-alcalines potassiques, IV. hoshonitiques., proposée par Pécérillo et Taylor 1976, Analyses en % poids du magma sec.



P_m-Rhyolites mondiales (Le Maitre 1976)
 P_{ca}-Rhyolites calco-alcalines (Lefèvre 1979)
 d_m-Dacites mondiales (Le Maitre 1976)
 a_m-Andésites calco-alcaline (Chayes 1969)
 a_{Am}-Andésites d'Amérique du sud (Lefèvre 1974)

Fig. 25 Triangle Q A P calculé à partir des normes en % volume du magma sec (Rittmann 1971)
 $Q = 100Q / (Q + Ab + An + Or)$ Q = Quartz
 $A = 100 Or / (Q + Ab + An + Or)$ Ab = Albite
 $P = 100 (Ab + An) / (Q + Ab + An + Or)$ An = Anorthite
 Or = Orthose

hyperquartzéuses. Il apparaît donc une grande dispersion due à l'altération potassique et à la silicification.

La rhyolite alcaline (D), saine, massive, très blanche, ne possède pas de fer ni de sodium; la norme donne du quartz et de l'orthose pour l'essentiel; il s'agit donc d'une rhyolite potassique correspondant à un dernier jus de différenciation.

Les rhyolites (A.B.C.F.) se localisent dans des accidents qui ont légèrement rejoué dans une phase postérieure; elles ont subi une silicification se matérialisant par des remplissages de quartz dans des microlites; une altération potassique (B.C.F.) provoque le départ du sodium par muscovitisation. La rhyolite E eut la même histoire; elle provient du contact entre l'intrusif circulaire Yanaogo et la série gréseuse d'âge crétacé inférieur; des microfractures remplies de silice sont observables au microscope.

Ces observations expliquent la répartition anarchique des rhyolites dans les diagrammes géochimiques.

4. GEOCHIMIE DES ELEMENTS MAJEURS DE LA SERIE PORPHYRES BLANCS, PORPHYRES VERTS DE LA HAUTE CORDILLERE OCCIDENTALE ENTRE 10°35 ET 10°45 S.

4.1. GEOCHIMIE ET ALTERATION

Ce paragraphe a pour but de cerner le comportement des éléments en fonction de l'altération. La perte au feu (fig.26) est un critère très sensible d'altération, proportionnelle à la basicité des roches. Ceci est dû à la nature originelle des roches qui sont d'autant plus sujettes à la phyllitisation et à la calcitisation, qu'elles sont plus riches en CaO, MgO et FeO. Aussi, pour atténuer les fluctuations des échantillons dans les diagrammes, nous raisonnerons avec des magmas secs.

Le diagramme CaO/Corindon normatif (fig.27), reflète bien le déficit en calcium des roches intermédiaires. Nous pouvons étendre le raisonnement aux roches acides avec une répartition des points sur le graphique encore plus aléatoire.

Le diagramme des alcalins en fonction de la silice (SiO₂/Na₂O; SiO₂/K₂O, fig.28) montre peu de fluctuations pour les roches intermédiaires, par rapport aux moyennes mondiales, à part pour la banakite (G) qui a subi

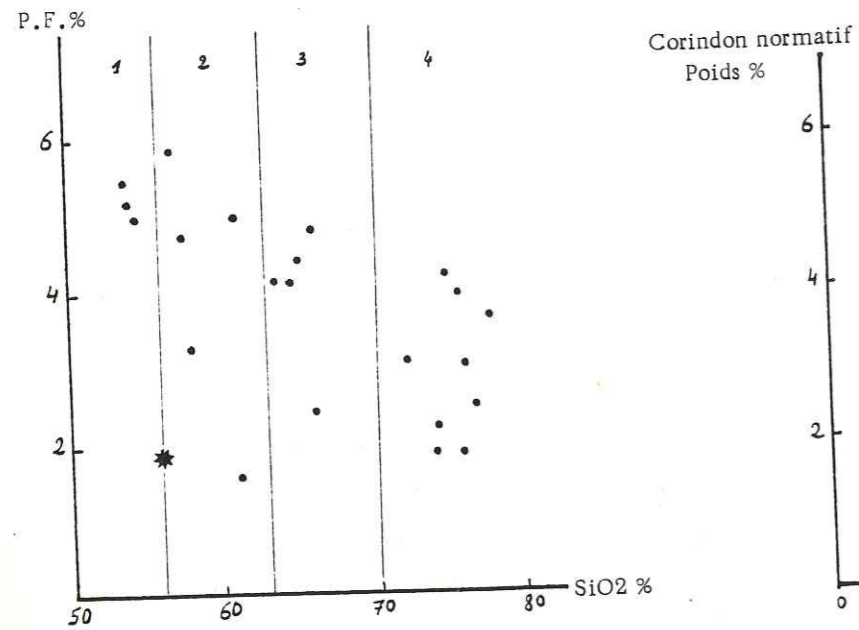


Fig. 26 Diagramme P.F./SiO₂ (Poids %) pour les différents types de roches intrusives ou effusives. 1-Andésite basaltique
2-Andésite
3-Dacite
4-Rhyolite

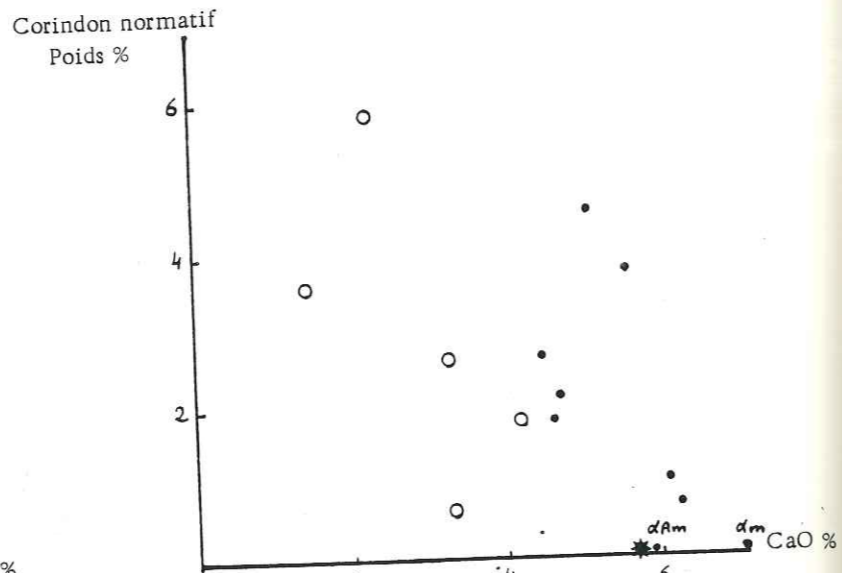


Fig. 27 Diagramme corindon normatif / CaO % (Poids % magma sec)

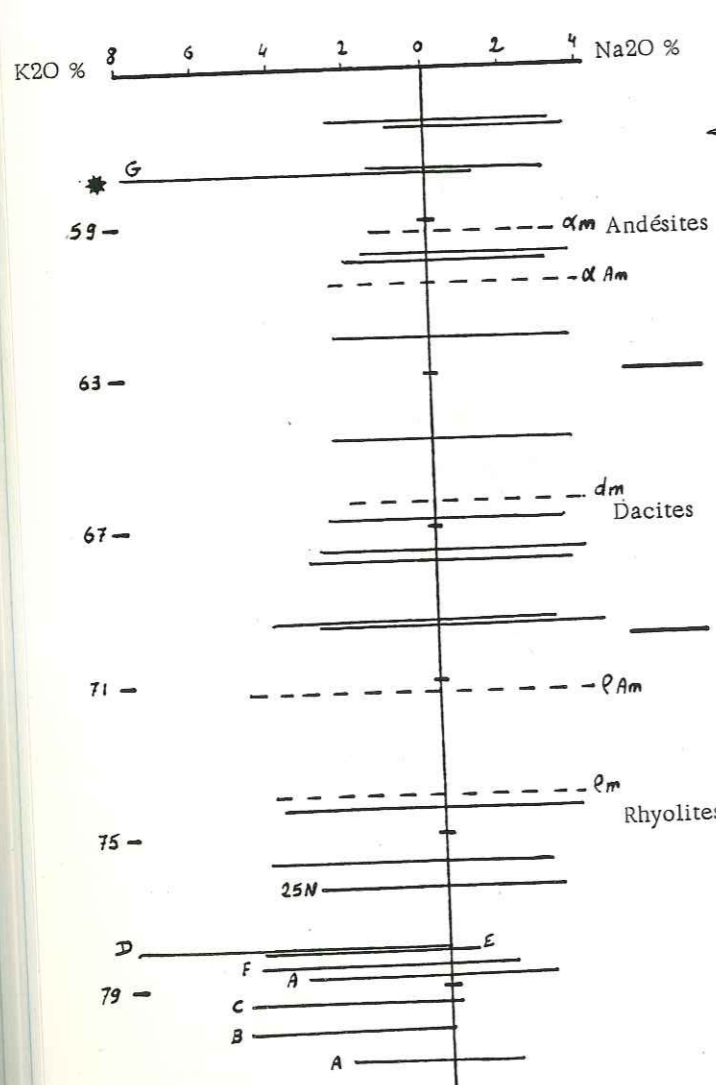


Fig. 28 Diagramme K₂O/SiO₂ et Na₂O/SiO₂ Poids % magma sec + quelques moyennes mondiales.

NB. Les coupures données sur les figures sont inspirées de la classification proposée par E. Pecerillo et S.R. Taylor 1976.

une métasomatose, ainsi qu'une altération potassique pour atteindre 8% de K₂O. Il en est de même pour les bas pourcentages de sodium compensés par l'excès en potassium dans les rhyolites (B.C.F.); ces dernières occupent des fractures ayant rejoué, ce qui facilite l'altération potassique et le lessivage du sodium.

4.2. CARACTERISATION DU MAGMATISME

Cette étude confirme l'appartenance des roches à la série calco-alcaline et étaye l'hypothèse de plusieurs épisodes magmatiques différents.

Les diagrammes faisant intervenir la somme des alcalins seront utilisés avec quelques réserves étant donné les fluctuations observées précédemment pour ces éléments. L'effet de dilution produit par la perte au feu est négligé car sa suppression ne fait que peu transgresser, par les points représentatifs, les domaines établis dans la littérature sauf dans les cas limites.

4.2.1. Diagramme alcalins/SiO₂ (fig.29)

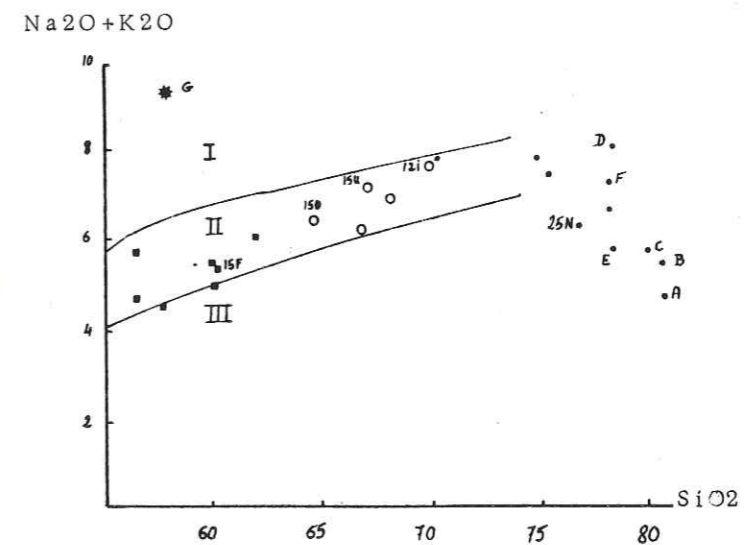


Diagramme alcalins/SiO₂ Poids % (magma sec)

- I Série alcaline
- II Série à hypersthène
- III Série pigeonitique

Noter l'alignement des points 15F, 15O, 15U, 12i représentatifs du volcanisme central entre les vallons Pampahuay et Jachacancha.

La majorité des points se situe dans la série à hypersthène à part les rhyolites qui ont perdu leur sodium et la banakite qui tombe dans la lignée alcaline. Sa position dans ce diagramme, marquée par un excès de potassium est dûe pour l'essentiel à une phyllitisation importante. De ce fait dans le diagramme QAP cette banakite n'est pas une vraie syénite, mais une monzonite déplacée vers le pôle A. On notera l'alignement des points 15 F, 15 O, 15 U et 12 I légèrement oblique au domaine 2.

4.2.2. Diagrammes triangulaires AFM et A'FM (fig.30)

A = Na₂O + K₂O; A' = Al₂O₃; M = MgO; F = Fe₂O₃ analysé.

Ces paramètres sont calculés en pourcentage poids de l'analyse brute pour conserver le fer mesuré expérimentalement: Fe₂O₃ analysé \approx FeO + 0.9 Fe₂O₃. Ces diagrammes sont par le principe même de leur calcul, parfaitement adaptés aux roches altérées, car ils annulent la dilution due à la perte au feu. AFM affiche une dispersion des points dans la série à hypersthène, liée aux fluctuations des alcalins. Il apparaît quand même une divergence des points depuis les dacites, car les échantillons 12 I, 15 U, 15 O et 15 F se rapprochent de la limite entre les deux domaines 1 et 2, alors que le nuage des autres roches intermédiaires borde l'aire de la suite calco-alcaline des roches du Pérou (C. LEFEVRE et al. 1974). Cette séparation en deux lignées de différenciation est visible sur A'FM. L'ignimbrite (25 N) pauvre en MgO (élément peu mobile) et riche en éléments volatils est hors des lignées de différenciation, à cause de l'accumulation des gaz dans les parties supérieures des réservoirs magmatiques.

4.2.3. Diagramme chimico-minéralogique de DE LA ROCHE

Ce diagramme (fig.31) bien que peu usité, fait la liaison entre le chimisme et la minéralogie; il représente aussi les évolutions magmatiques. Les paramètres sont calculés en milliatomes (magma sec)

$\frac{Si}{3} - (Na + K + \frac{2}{3} Ca) \approx 0$ pour tous les minéraux autres que le quartz.

$K - (Na + Ca)$ est fonction de la différence entre les feldspaths potassiques et les plagioclases.

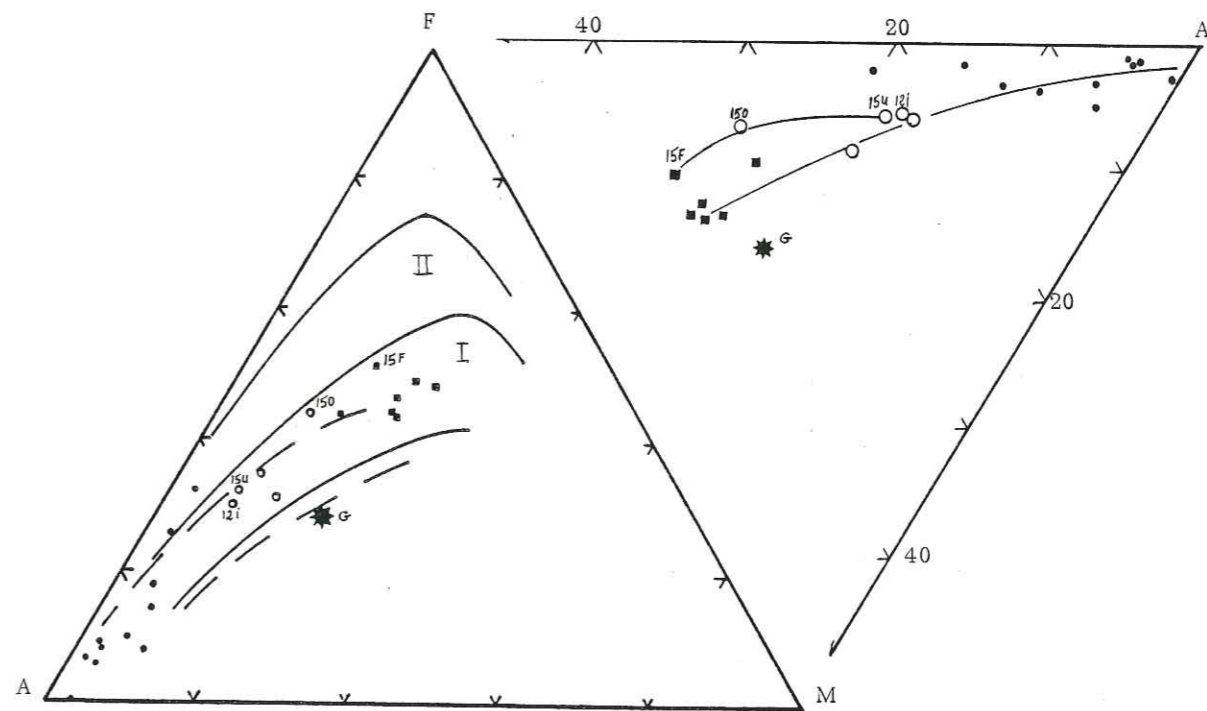


Fig 30 Diagramme A F M A' F M

A=Na₂O+K₂O F=FeO+Fe₂O₃ = Fe₂O₃ Analyse, M=MgO, A'=Al₂O₃.

Les domaines I et II correspondent respectivement à la série à hypersthène et à la série pigeonitique de Kuno. Les lignes en grands tiretés délimitent le champs de la suite calco-alcaline des roches du Pérou. (Lefèvre, Dupuy, Coulon 1974).

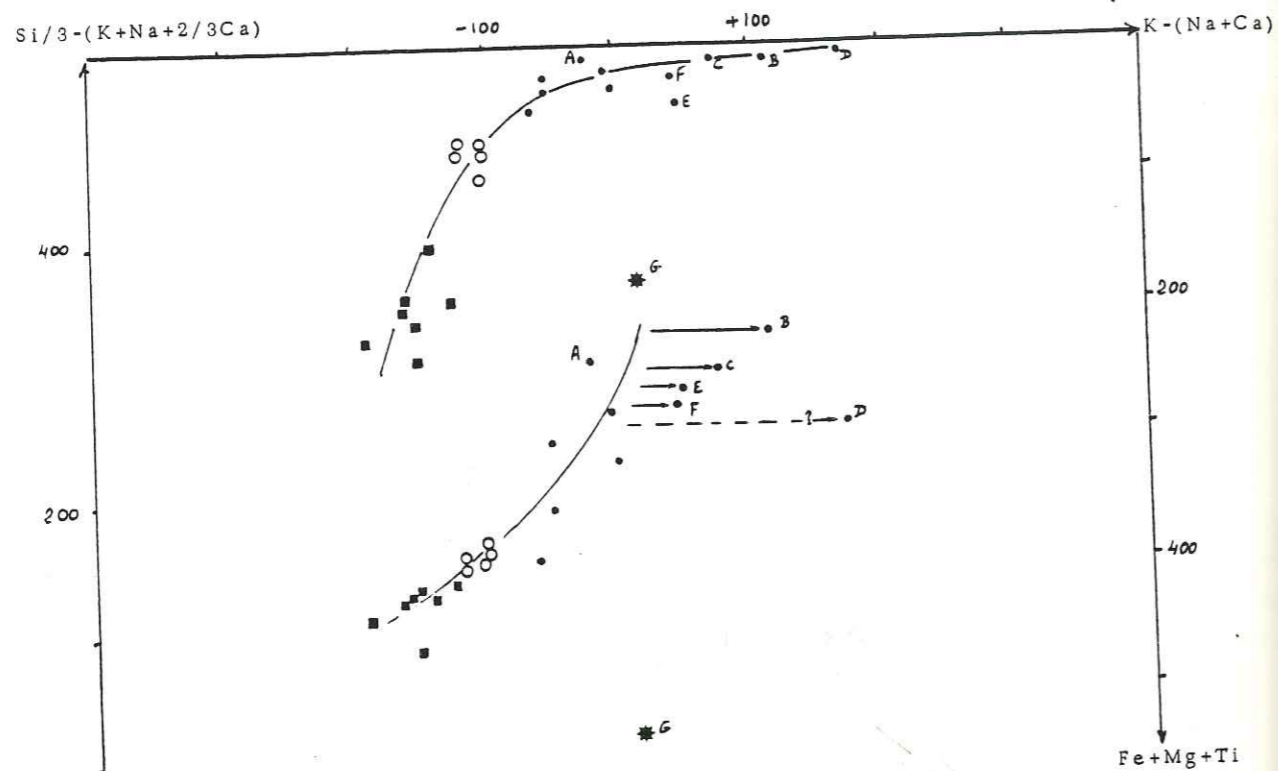


Fig. 31 Double diagramme chimico-minéralogique de De La Roche.
 Les paramètres sont calculées en millièmes sur les analyses du magma sec.
 $Si/3 - (K+Na+2/3Ca)$ fonction de $K - (Na+Ca)$
 $Fe+Mg+Ti$ fonction de $K - (Na+Ca)$
 La lignée continue des séries calco-alcalines apparaît ainsi que l'altération potassique

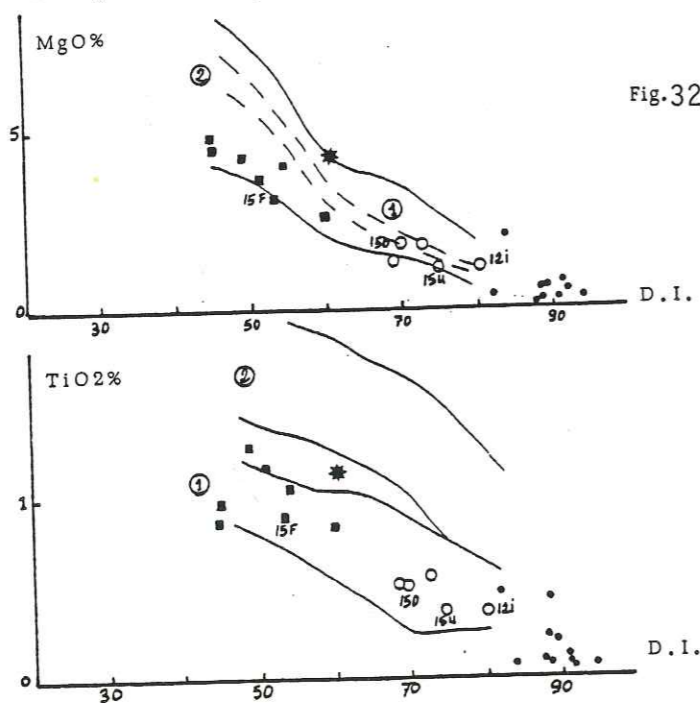
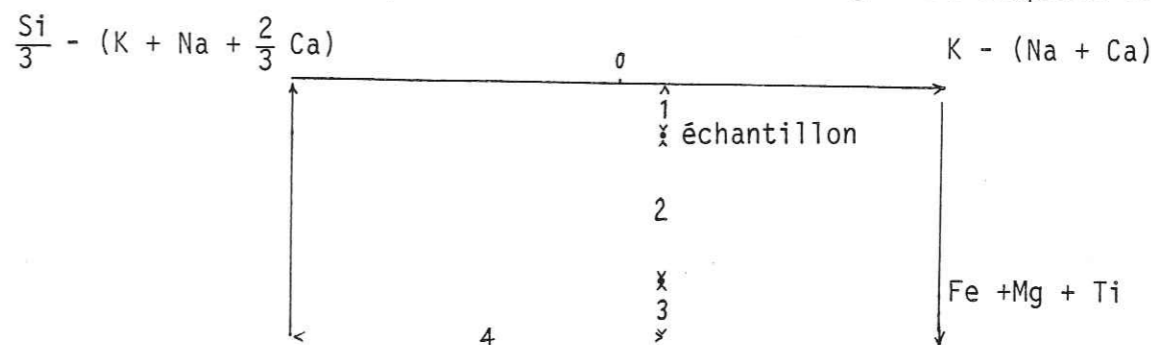


Fig. 32 Variation des oxydes peu mobiles MgO , TiO_2 en fonction de D.I.
 $D.I. = Quartz + Orthose + Albite + Néphéline + Leucite$
 (1) Domaine calco-alcalin
 (2) Domaine Shoshonitique (in Routhier 1978)
 $FeO/D.I.$ est écarté suite aux problèmes du partage du Fer.

$Fe + Mg + Ti$ est lié à la proportion en minéraux colorés. La représentation graphique de ces trois paramètres donne les deux diagrammes composés suivants



- 1 est proportionnel à la teneur en minéraux colorés
- 2 est proportionnel à la teneur en feldspaths
- 3 est proportionnel à la teneur en quartz
- 4 est fonction de la quantité relative de feldspaths potassiques et de plagioclases.

L'évolution d'ensemble du magma calco-alcalin depuis les andésites jusqu'à la rhyolite potassique (D) apparaît sur le diagramme $Si/3 - (K+Na+2/3Ca)$ en fonction de $K - (Na+Ca)$. Par contre, le diagramme $Fe + Mg + Ti$ en fonction de $K - (Na + Ca)$ signale l'altération potassique des termes les plus différenciés B.C.E.F. occupant des zones de fractures récentes.

4.2.4. Indice de différenciation (Di) en fonction des éléments invariants MgO et TiO_2 (C.P. THORNTON et O.F. TUTTLE, 1960)- fig.32.

$Di = Quartz + Ab + Néphéline$ ou $Leucite$. Oxydes en pourcentage poids du magma sec.

L'emploi de ce paramètre utilisant les alcalins est très discutable dans le cas des roches altérées car son calcul ajoute encore des dispersions à celles existantes. Malgré tout, il sera utilisé pour les oxydes peu mobiles, car des limites de référence existent dans la littérature (P. ROUTHIER et al., 1978), et permettent des comparaisons. Le diagramme Di/FeO est écarté suite aux problèmes incombés par le partage du fer.

La majorité des points se placent dans le domaine calco-alcalin, mais la dispersion est grande. Par contre, les échantillons des intrusifs du synclinal sud Jachacancha Pampahuay (12 I, 15 U, 15 O, 15 F) dans le diagramme Di/TiO_2 donne une lignée magmatique continue. La banakite (G) est proche du domaine shoshonitique; elle possède malgré une métasomatose

poussée affectant les alcalins, un chimisme proche de la moyenne des shoshonites du Pérou (C. LEFEVRE et al., 1974 et E. AUDEBAUD, communication personnelle, voir tableau 21). Sa teneur en baryum (850 ppm) est très faible, elle ne résulte donc pas de la fusion partielle du manteau (P.E. BAKER, 1980).

5. RADIOCHRONOLOGIE POTASSIUM ARGON

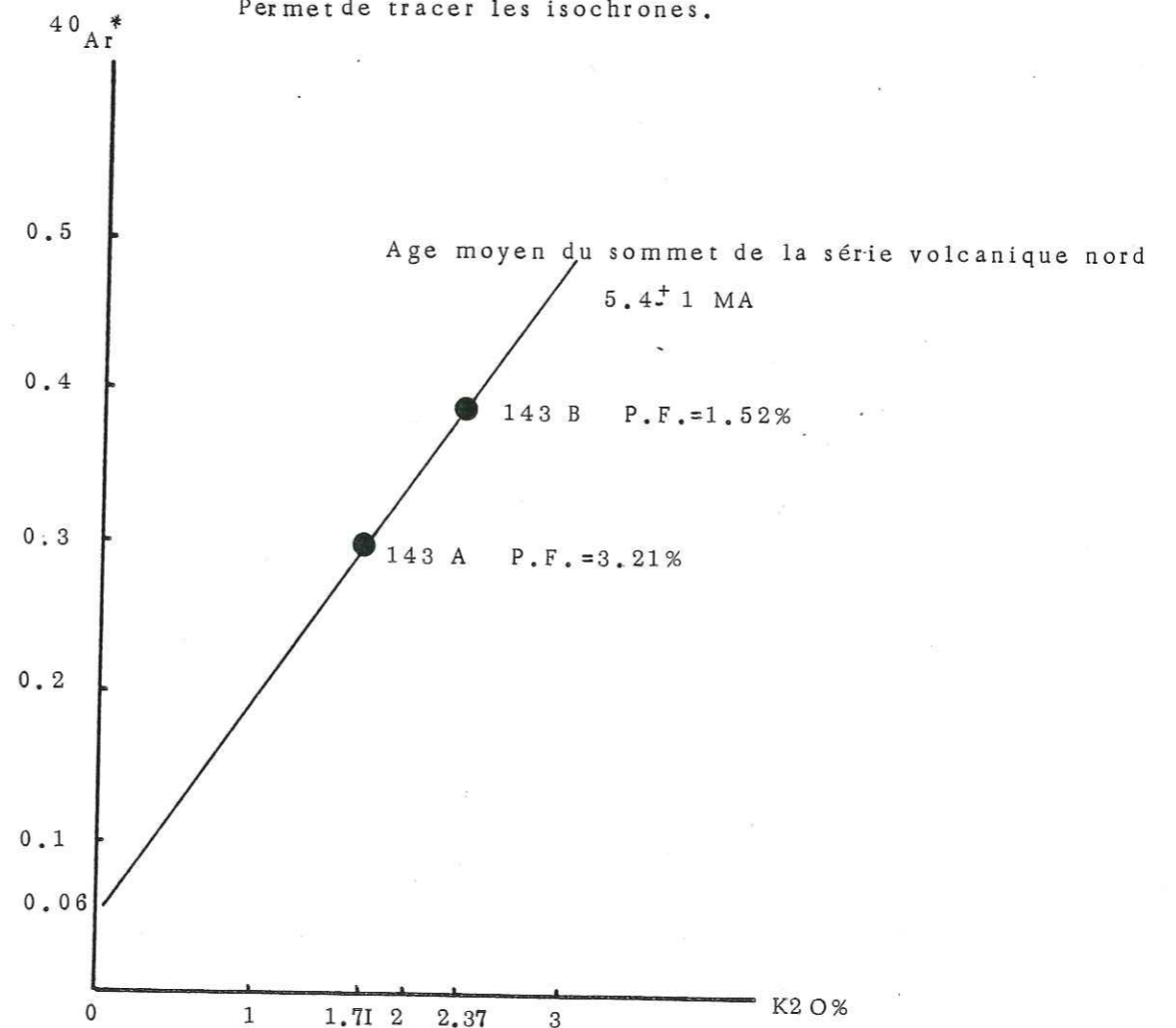
5.1. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES (D.C. NOBLE, 1980)

Une quinzaine de kilomètres au NW de Uchucchacua, aux environs de la mine Raura, trois échantillons ont été récoltés et datés par la méthode K/Ar, par D.C. NOBLE (1980).

Echantillons	Age en M.a	Minéraux datés	Roche	Inclusions fluides secondaires
RAU-2	10.16±0.30	Biotite	Granodiorite	Pyrite+Halite +Sylvite
RAU-4	7.83±0.23	Orthose	Granite porphyrique	Très abondantes sous forme de vapeur
RAU-5	10.03±0.30	Biotite	(?)Dacite à biotite	Pyrite en faible quantité

Cet auteur associe ces intrusifs aux minéralisations de la mine, légèrement plus jeunes que les dacites (RAU 2 et 5). Le granite porphyrique correspond à une dernière manifestation de ce magmatisme. D.C. NOBLE remarque aussi l'homogénéité de ces âges dans de nombreuses mines de la Cordillère Occidentale sauf Uchucchacua où la dacite minéralisée, datée sur des biotites impures, donne 25.3±0.8 Ma. L'auteur étonné par cet âge, en raison de la forte ressemblance avec les échantillons de Raura, pense qu'il serait dangereux de l'associer avec la minéralisation, et que cet âge peut être dû à un excès d'argon mobilisé dans un socle précambrien (?) en profondeur.

Fig.33 Diagramme de Harper $^{40}\text{Ar}^*$ / K2O%
Permet de tracer les isochrones.



Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES SCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail: ptalour@ujf-grenoble.fr

30 AOÛT 2003

5.2. DATATIONS EFFECTUEES A L'INSTITUT DOLOMIEU

Echantillons	Age en M.a	Datations sur	⁴⁰ Ar*%	Matériel	Lieu
16.4 A	9.32±0.57	Biotite	64.99	Dyke dacitique	C°Anamaray
14.3 A	5.56±1.68	Roche totale	13.16	Lave intermédiaire	Sommet volcanisme nord Uchucchacua
14.3 B	5.23±1.00	Roche totale	20.84	"	"

Localisation	X	Y	Z
16.4 A	S 10°34'02"50	W 76°41'51"	4830 m
14.3 A	S 10°33'22"	W 76°40'39"	4460 m
143 B	S 10°33'23"	W 76°40'39"	4470 m

Les échantillons 14 3 A et B, ont été prélevés dans une même barre rocheuse, à 10 m d'intervalle, ils sont donc contemporains. Sur le diagramme de C.T. HARPER (fig.33), l'isochrone passe légèrement au dessus de l'origine. Il semble donc qu'il n'y a pas eu de perte d'argon radiogénique ⁴⁰Ar*. Les pertes au feu de chaque échantillon confirment cette hypothèse; en effet, si l'échantillon 14 3 A (perte au feu = 3.21 %) manque d'argon, sa position initiale sur le diagramme serait plus haute ce qui semble improbable.

La datation à 9.32±0.57 M.a. du dyke du C° Anamaray est à associer avec l'épisode majeur d'intrusion dans la haute Cordillère Occidentale; tandis que la série volcanique est plus récente, et antérieure à la phase Quechua 3 datée entre 4.5 et 8 M.a. dans le Nord du Pérou (M. SEBRIER, R. MAROCCO et al., sous presse). Dans notre secteur, elle est plus jeune que 5.4±1 M.a.

6. CONCLUSION SUR LE MAGMATISME DE LA HAUTE CORDILLERE OCCIDENTALE PERUVIENNE ENTRE 10°30' ET 10°50' S.

Malgré l'altération des roches, il a été possible, grâce aux études pétrographiques et chimiques, de mettre en évidence les processus magmatiques primaires et les évolutions qui sont à l'origine des roches ignées. Ainsi peut-on avancer, à partir du comportement des éléments majeurs, que ces roches

CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS MAGMATIQUES

Ages en M.a.	Roches ou affleurements	Arguments	Localisations Fig.22
Plio-quatenaire	Intrusifs acides: Rhyolites A, B, C, D, F, 103I.	103I recoupe la série volcanique au nord de Uchucchacua. Les rhyolites ne semblent pas affectées par une phase compressive E W.	Série volcanique au nord de Uchucchacua. C° Yanaogo; C° Chacua...
Phases compressives			
QUECHUA 3 4.5-8	Laves et tufs	Datations K-Ar sur roche totale	Série volcanique au nord de Uchucchacua.
7.83±0.23	Granite porphyrique	Datation K-Ar sur orthose	Raura
9.32±0.6	Dacite à biotite	Datation K-Ar sur biotite	Anamaray
	Granodiorite	Autométamorphisme et analogie avec les intrusifs de Raura	Laccha
10.16±0.3	Granodiorite	Datation K-Ar sur biotite	Raura (15 km au NNW de Uchucchacua)
10.03±0.3	Dacite à biotite	Datation K-Ar sur biotite	
QUECHUA 2 10.5-14			
QUECHUA 1 14-21	Neck dacitique*	Datation K-Ar sur biotite	Mina Casualidad (Uchucchacua)
	Sills et dykes*	Lignée calco-alcaline propre et présence de grenats profonds	C° Anchuro au S de l'Hacienda Otuto
INCA 40			
(Avant les plissements andins)	Banakite Syénite dans QAP	-Pétrographie et minéralogie -Seule albitisation poussée rencontrée dans les échantillons récoltés. -Comparaison avec une dacite de 9.32 M.a. à structure microlitique, située à la même altitude et à 300m. de la syénite. -Distance à la fosse avant le plissement. -Chimisme similaire aux shoshonites des Hauts Plateaux du Pérou Méridional.	Au S du C° Anamaray

* Evénements probablement contemporains.

sont issues de magmas calco-alcalins différents, dans la mesure où la lignée de différenciation des échantillons 12 i, 15 F, 15 O, 15 u de la zone centrale est séparée de la lignée de la série volcanique nord.

La banakite (G) provient probablement d'une série shoshonitique antérieure au plissement. La relative proximité du plan de BENIOFF (70 km), l'impossibilité d'une origine mantellique et la position structurale de cette banakite vis à vis de la fosse, font qu'elle devrait se situer plus à l'Est dans la Cordillère Orientale. Un autre argument étaye cette hypothèse : la microstructure grenue de la banakite par rapport à la dacite (datée de 9 M.a.) voisine, implique une charge lithostatique plus importante, donc une colonne de sédiments sus-jacents épaisse lors de la venue de ce magma; par conséquent cette roche est plus vieille que la dacite de 9 M.a. Bien que ce soit la seule roche appartenant à une série shoshonitique décrite dans le Nord du Pérou, et que l'hypothèse formulée soit fragile vu l'isolement de l'échantillon, je pense que sa présence à Anamaray peut s'expliquer comme suit: le raccourcissement lié au plissement de la chaîne andine a rapproché de la fosse cette roche; des mesures effectuées à l'aide d'une roulette graduée sur une coupe au 1/25 000 (ch.2, § 3.3., p. 39) débutant sur le bord E du batholite côtier et aboutissant à la zone "imbriquée" donne un raccourcissement de 40 %; si l'on admet que le Précambrien du bourrelet côtier immergé a été moins déformé que la zone mesurée, c'est un raccourcissement moyen de 33 % que l'on peut admettre depuis la fosse jusqu'à la zone "imbriquée"; ces deux repères sont actuellement espacés de 300 km; avant le plissement, cette distance s'élevait à environ 450 km. Pour comparaison, dans le Pérou méridional, les séries shoshonitiques récentes (Miocène sur les Hauts-Plateaux) affleurent à une distance similaire de la fosse, mais le plan de subduction est actuellement incliné de 30° au Sud du Pérou, alors qu'il est incliné de 13° environ dans le Pérou central. Ainsi dans notre modèle, on peut imaginer qu'avant le plissement, le pendage du plan de subduction était plus important sur la transversale étudiée.

7. MINERALISATIONS ECONOMIQUEMENT EXPLOITABLES OU EN COURS D'EXPLOITATION DANS LE SECTEUR CARTE.

Dans la zone étudiée, de nombreux indices de minéralisation ont été rencontrés sous forme de veinules de minerai manganésifère. A part la mine Uchucchacua, le seul gisement économiquement exploitable,

découvert en 1981, se situe au nord du C° Chacua. (zone sud - carte Rapaz).

7.1. MINERALISATIONS DE UCCHUCCHACUA

Cette mine exploitée depuis une dizaine d'années, se localise dans le flanc W (incliné d'environ 10°) de l'anticlinal de Cachipampa. On y travaille des veines de minerais mésothermaux, remplissant des fractures N 050 ou N 090 qui recoupent la formation des calcaires Jumasha. Ces minéralisations sont liées, du moins pour une première étape, à un neck dacitique avec ses ramifications et son skarn. Ce neck est scindé en deux par une faille majeure cisailante à mouvement normal dextre (faille Socorro). Les corps minéralisés ont subi les effets de plusieurs phases tectoniques et les relations tectonique/minéralisation seront abordées plus loin (ch. 5, §.2.2.2.2.).

7.1.1. Travaux antérieurs

Une étude très complète (lames polies, microsonde, inclusions fluides et thermodynamique) de la veine principale Luz N 040, subparallèle à la faille Socorro postérieure, a été réalisée par C. ALPERS en 1980. Ses principales conclusions sont les suivantes.

. Cette veine possède une paragenèse minérale peu commune et variée. Parmi la trentaine de minéraux rencontrés, les plus représentatifs sont par ordre d'importance: calcite, pyrrhotite, blende, alabandite ((Mn,Fe)S); l'argent provient de sulfosels: pyrargyrite-proustite, mirargyrite, tetrahedrite-tennantite; les silicates sont aussi présents sous forme de quartz, rhodonite, bustannite, johannsenite et téphroïte.

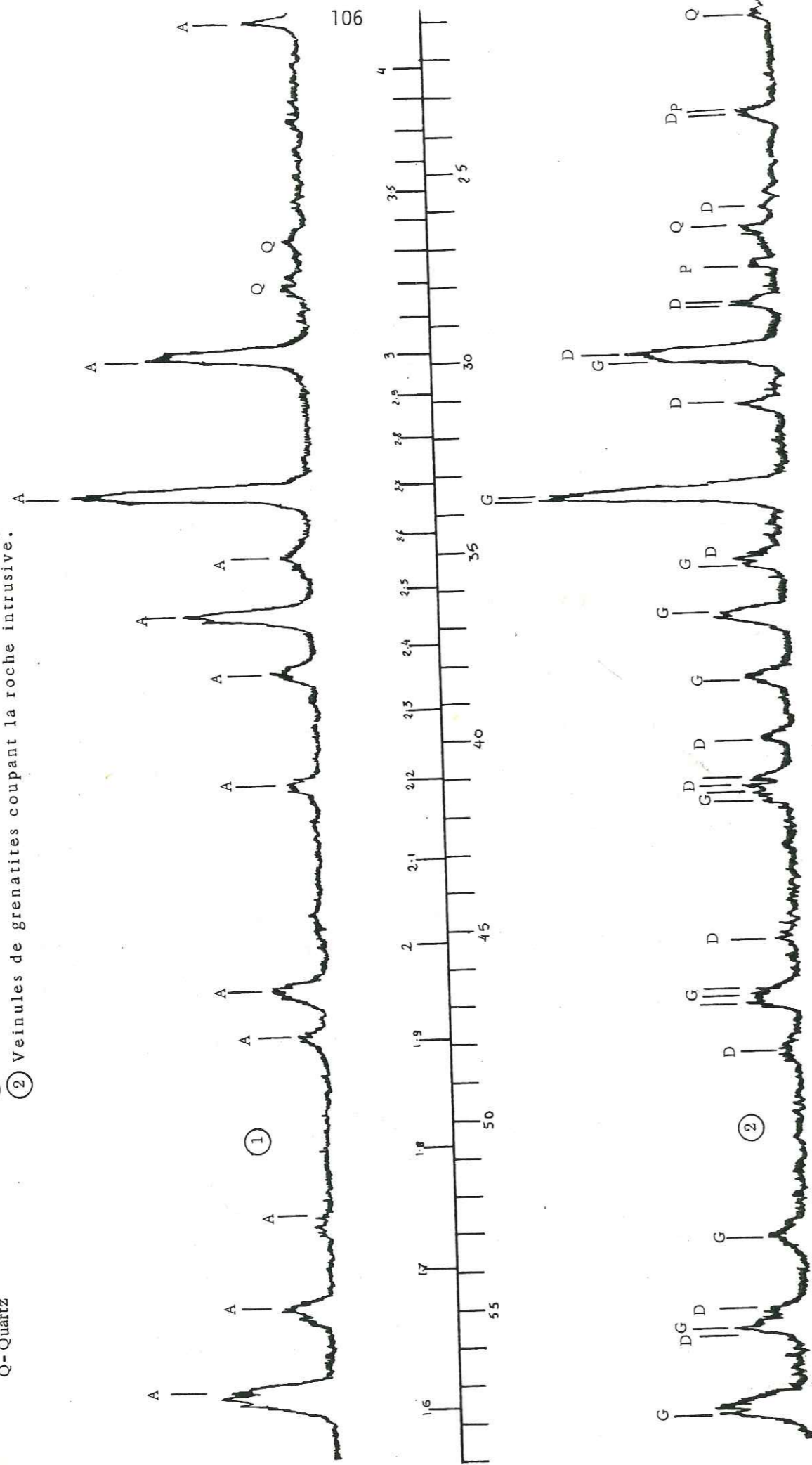
Les relations paragenétiques entre divers points de la veine ne sont pas évidentes; mais il semble que la pyrrhotite était un constituant essentiel du premier minerai; elle a été remplacée par la marcassite, la pyrite et la sidérite dans la majeure partie de la veine.

Le plomb et le zinc sont concentrés en profondeur et préférentiellement à proximité du neck dacitique. Par contre, les concentrations en argent et manganèse sont distribuées horizontalement. Ainsi, une minéralisation tardive Ag, Mn, Zn eut lieu sous des conditions hydrologiques ou, et thermo-chimiques un peu différentes d'une première venue hydrothermale à Pb, Zn, Cu.. J.J. WILSON (1971) avait aussi remarqué deux épisodes différents: un marbre coupé de veines de calcite en gros cristaux, et plus loin une

Fig. 34 Diffractogrammes de rayons X sur des fractions de dacite (310 D, mine Uchuchacua niveau 4360 m)

A - Andradite
 D - Datolite
 G - Grossulaire
 P - Plagioclase
 Q - Quartz

- ① Amas d' andradite isolé dans la roche.
 ② Veinules de grenatites coupant la roche intrusive.



brèche contenant des clastes de marbres et de veines calcitiques. Cette brèche fut ensuite minéralisée, car les cristaux sparitiques sont partiellement remplacés par des sulfures.

Les autres veines du district minier possèdent une paragenèse similaire à celle de la veine Luz. L'amplitude du skarn doit augmenter en profondeur, ainsi que les teneurs en Pb, Zn, Cu. Le manganèse diminue avec la profondeur.

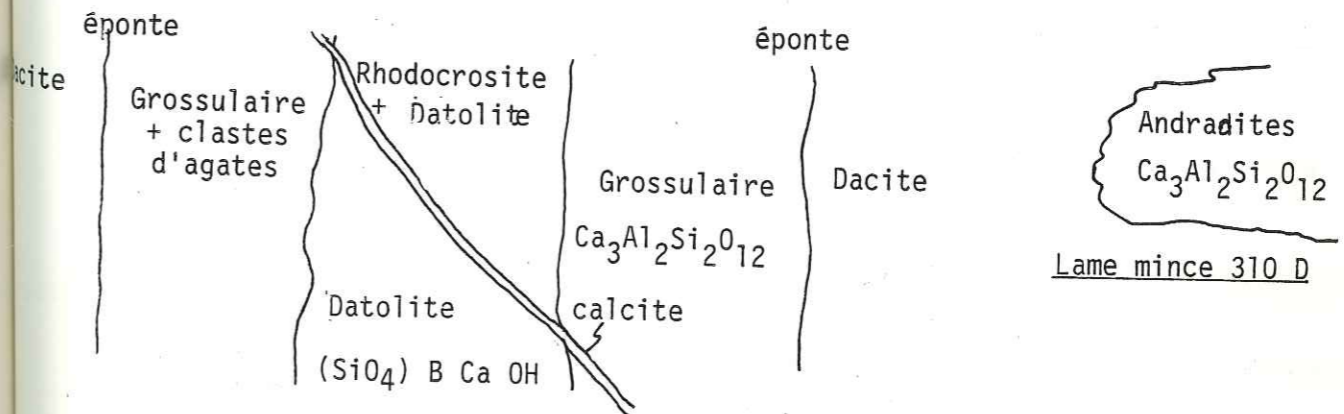
7.1.2. Pétrographie et minéralogie des grenatites vertes recoupant l'intrusif

L'intrusif est constitué d'une dacite vert-clair, équante, micro-litique. Les phénocristaux millimétriques, sont par ordre d'importance représentés par:

- des plagioclases;
- des feldspaths potassiques
- de rares ferromagnésiens
- des quartz.

Les biotites et les épidotes pistachites sont disséminées dans la pâte. Des nids centimétriques d'andradite très abondante (fig. 34 Rx) sont isolés dans la dacite; parfois des cristaux de grossulaire à faciès de pyrénéite se rencontrent en équilibre avec la mésostase.

Des veinules hydrothermales millimétriques présentent la zonalité suivante:



La datolite déterminée par J. GIRAULT possède les indices suivants: $n_p = 1.62$; $n_g = 1.66$; Biaxe - 2 V grand; cette détermination est confirmée par les rayons X (fig.34). Ce minéral secondaire présent dans les skarns, se rencontre préférentiellement aux contacts calcaire/granite ou calcaire/dolérite. Ici la datolite montre des microstructures de colloïde comme si la cristallisation s'était réalisée à partir d'un gel. Cette veinule présente la chronologie de formation suivante.

1. Silicification sous forme d'agate
2. Bréchification des agates
3. Venue de grossulaire
4. La datolite et la rhodocrosite occupant le centre de la veine
5. les veinules de calcite recoupent le tout.

Les deux étapes de minéralisation décrites par C. ALPERS expliquent l'absence de fer dans les veinules recoupant le neck dacitique. En effet, la première riche en pyrrhotite peut expliquer les nids d'andradite. La deuxième Ag, Mn, Zn, est probablement en relation avec les veinules de grenatite.

7.2. MINERALISATION AU NORD DU C° CHACUA

Un dyke N 130, subvertical, long d'un kilomètre, large de 0,5 m contient dans une gangue quartzreuse, les minéraux suivants: pyrite, chalcopryrite, galène et tétraédrite (?). Ce minerai riche en argent, 30 onces/tonnes, soit environ 0,1 % occupe une ancienne fracture cisailant les calcaires Pariahuanca. Un intrusif circonscrit rhyolitique, présent au C° Chacua, est peut-être à l'origine de cette minéralisation.

7.3. CHRONOLOGIE DES MINERALISATIONS

Une chronologie relative des venues hydrothermales peut être admise si l'âge 25.3 M.a. de la dacite de Uchucchacua est juste.

Phases comprises et âge en M.a.	Matériel	Localisation cf.fig.22
	Minéralisation Pb Ag Cu associée (?) à un plug rhyolitique	C° Chacua
Quechua III 4.5 → 8	Cisaillement intrusif dacitique de 25.3 Ma. Bréchification de toutes les minéralisations	Uchucchacua
5.4 ± 1	La série volcanique est oxydée par des circulations hydrothermales à proximité du dôme dacitique	Au Nord de Uchucchacua
9 (?)	Minerai de l'épisode Ag, Mn, Zn, probablement synchrone des minéralisations régionales	Uchucchacua
Quechua I et II 10.5 → 21	Bréchification des marbres et d'une calcite de première génération.	Uchucchacua
25.3	Dacite + skarn + minerai de l'épisode Pb, Zn, Cu réparti suivant l'intrusif	Uchucchacua

8. CONCLUSION SUR LE MAGMATISME ET LES MINERALISATIONS ASSOCIEES

Au cours de l'orogène andin, plusieurs épisodes magmatiques ont eu lieu:

- . un dyke de banakite devant appartenir à une série shoshonitique, éloignée de 400 à 500 kilomètres (?) de l'ancienne fosse s'est probablement mis en place avant le plissement andin;
- . à l'Oligocène (?) des phénomènes cryptovolcaniques donnent un matériel intermédiaire de lignée calco-alcaline, se localisant principalement au S de Otuto (fig.20). Le neck dacitique de Uchucchacua appartient probablement à cette pulsion magmatique donnant un skarn et des minéralisations Pb, Zn, Cu;

. vers 10 M.a., d'autres intrusifs sont à l'origine des principales minéralisations de la Cordillère Occidentale (Raura et Uchucchacua) (Ag, Mn, Zn);

. un volcanisme important en volume et de composition andésitique et dacitique s'installe vers 6 M.a. dans le Nord du secteur étudié, et du matériel acide plus jeune vient compléter cette lignée. La phase compressive Quechua 3 est comprise dans cet épisode, elle s'intercale entre les termes intermédiaires et acides;

NB: Les minéralisations de la ceinture d'étain bolivienne dans la Cordillère Orientale (J.N. GRANT, C. HALLS et al., 1979) se subdivisent en deux groupes: le groupe nord où l'âge des intrusifs minéralisés est compris entre 23 et 20 M.a.; le groupe sud 17 à 12 M.a.. On peut essayer d'établir un parallèle entre les pulsions intrusives accompagnées de minéralisations, entre la Cordillère Orientale bolivienne, et la Cordillère Occidentale péruvienne; puisque les deux premières venues magmatiques à chimisme intermédiaire, étudiées à Uchucchacua sont proches des fourchettes de datations données par J.N. GRANT et al .

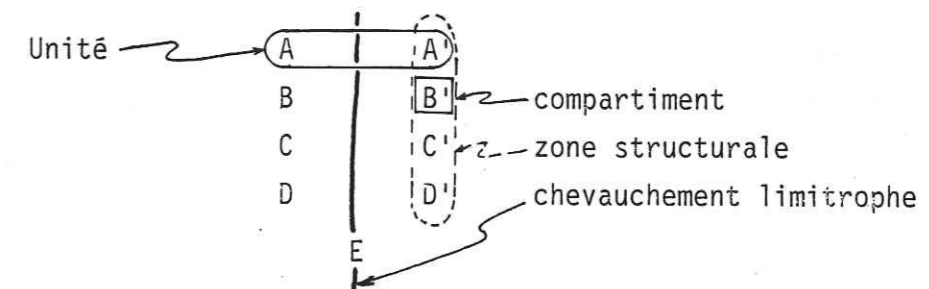
CHAPITRE 5 - ETUDE STRUCTURALE DE LA ZONE UCHUCCHACUA, HACIENDA OTUTO,

RAPAZ, CORDILLERE OCCIDENTALE

1. LES ZONES STRUCTURALES
2. CARACTERES GENERAUX ET DESCRIPTIONS DES DIVERS COMPARTIMENTS
3. ROLE ET COMPORTEMENT DES "FAILLES TRANSVERSES" MANCACUTA PATON SURA ET COCHAQUILLO
4. MESURES DE RACCOURCISSEMENT DANS LA HAUTE CORDILLERE OCCIDENTALE
5. DISCUSSION A PROPOS DES ACCIDENTS DE FAIBLE INCLINAISON DANS LA CORDILLERE OCCIDENTALE
6. CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS TECTONIQUES. RESUME SOUS FORME DE TABLEAU

La coupe du Rio Huaura situe la zone étudiée par rapport au batholite côtier. Nous sommes dans la fameuse zone "imbriquée" décrite par les précédents auteurs (J.V. HARRISON, 1951, 1953, 1956; J.V. HARRISON et J.J. WILSON, 1960; J.J. WILSON et al., 1964, 1967; F.MEGARD 1973; E.J. COBBING et J. GARAYAR, 1974) comme une bande large de 10 à 30 km faite de plis serrés témoignant d'une tectonique tangentielle importante. Les axes de plis majeurs ainsi que les accidents plats sont orientés NNW-SSE parallèlement à la fosse océanique du Pérou. Des accidents verticaux NE-SW ou E.W transverses aux structures, tronçonnent en cinq unités le secteur étudié.

Pour faciliter l'exposé nous emploierons le vocabulaire suivant (cf. fig. 36).



I - LES ZONES STRUCTURALES

I.1. PRESENTATION GENERALE

I.1.1. Les zones structurales NNW-SSE

Un chevauchement majeur occidental, qui correspond vraisemblablement à une ancienne faille listrique normale à pendage SW bordant le bassin crétacé de la Cordillère Occidentale, sert de ligne de démarcation entre deux zones structurales. Les coupes géologiques (Fig. 37 AB) et le schéma structural (Fig. 35.36) montrent que le style tectonique est différent de part et d'autre du chevauchement limitrophe (Fig. 36). Cette dissemblance, liée à la compétence du matériel affecté par les compressions andines, voit peut-être son origine dès le dépôt du matériel en bordure de bassin.

Le secteur ouest ABCD présente des plis coffrés ou droits, légèrement déversés vers le N.E. et un chevauchement récent d'amplitude limitée qui s'estompe au nord, n'existe pas en C et apparaît de nouveau en D. Par contre, le secteur est A'B'C'D' est plus intensément tectonisé avec des plis asymétriques, des

écailles, des décollements et des chevauchements se terminant en failles listriques inverses. Deux schistosités subparallèles localisées à la base de l'accident majeur limitrophe sont plus ou moins marquées suivant les compartiments. Cette subdivision n'a pas de raison d'être dans le secteur "E" ou le chevauchement limitrophe s'amortit; la déformation y est répartie de façon homogène et se traduit par des plis asymétriques et des chevauchements.

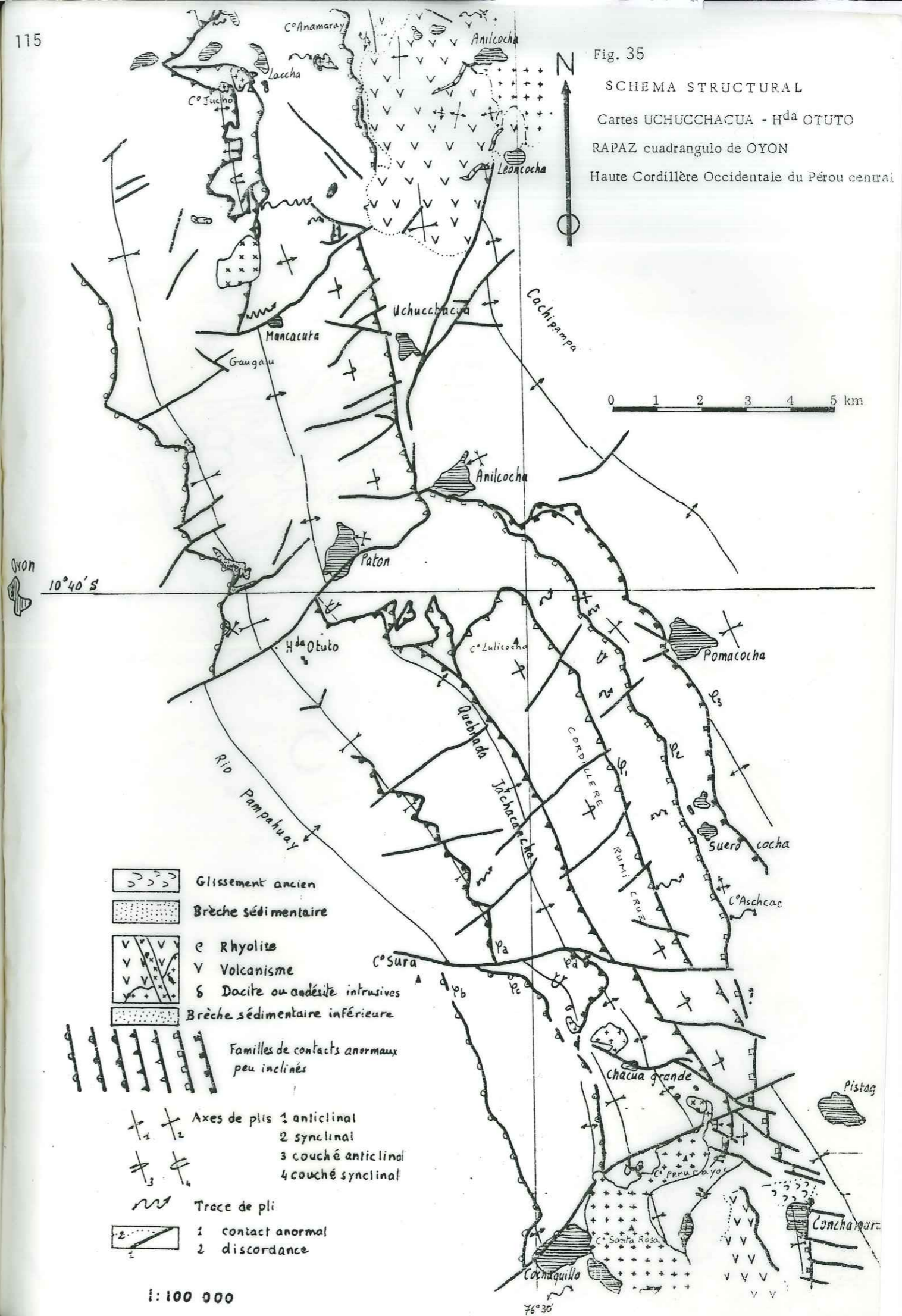
I.1.2. Subdivision NS en cinq unités

Quatre failles EW à NE-SW, transverses aux structures tronçon- nent l'aire cartographiée en cinq unités (AA', BB', CC', DD', E) elles-mêmes subdivisées en compartiments (A, A', B, B'...) par le chevauchement limitrophe. Ces failles changent le style tectonique des diverses unités (accidents transversaux décrits par F. MEGARD, 1973 dans le Pérou central). Alors qu'une unité est caractérisée par un train de plis, on trouve dans l'autre une série de chevauchements parallèles. Ces failles sont verticales, relativement superficielles (La faille Paton ne se prolonge pas au NE - Fig.35), mais se calquent probablement sur des accidents plus profonds affectant le substratum non affleurant.

2 - CARACTERES GENERAUX ET DESCRIPTION DES DIVERS COMPARTIMENTS

Pour orienter le lecteur, je rappelle la chronologie des événements tectoniques donnée dans la littérature et qui paraît bien convenir au secteur étudié.

Age en M.a. (d'après J.P.SOULAS 1977)	Phases	Directions de compression	Phases définies par
4.5 → 8	Quaternaire ***	N 130	**** J.P. SOULAS 1978
10.5 → 14	Quechua 3 ***	E W	*** J.P. SOULAS 1977
14 → 21	Quechua 2 **	N S	** F. MEGARD 1973
40	Quechua 1 *	SW-NE	* G.STEINMANN 1929
	Inca	SW-NE	



1:100 000

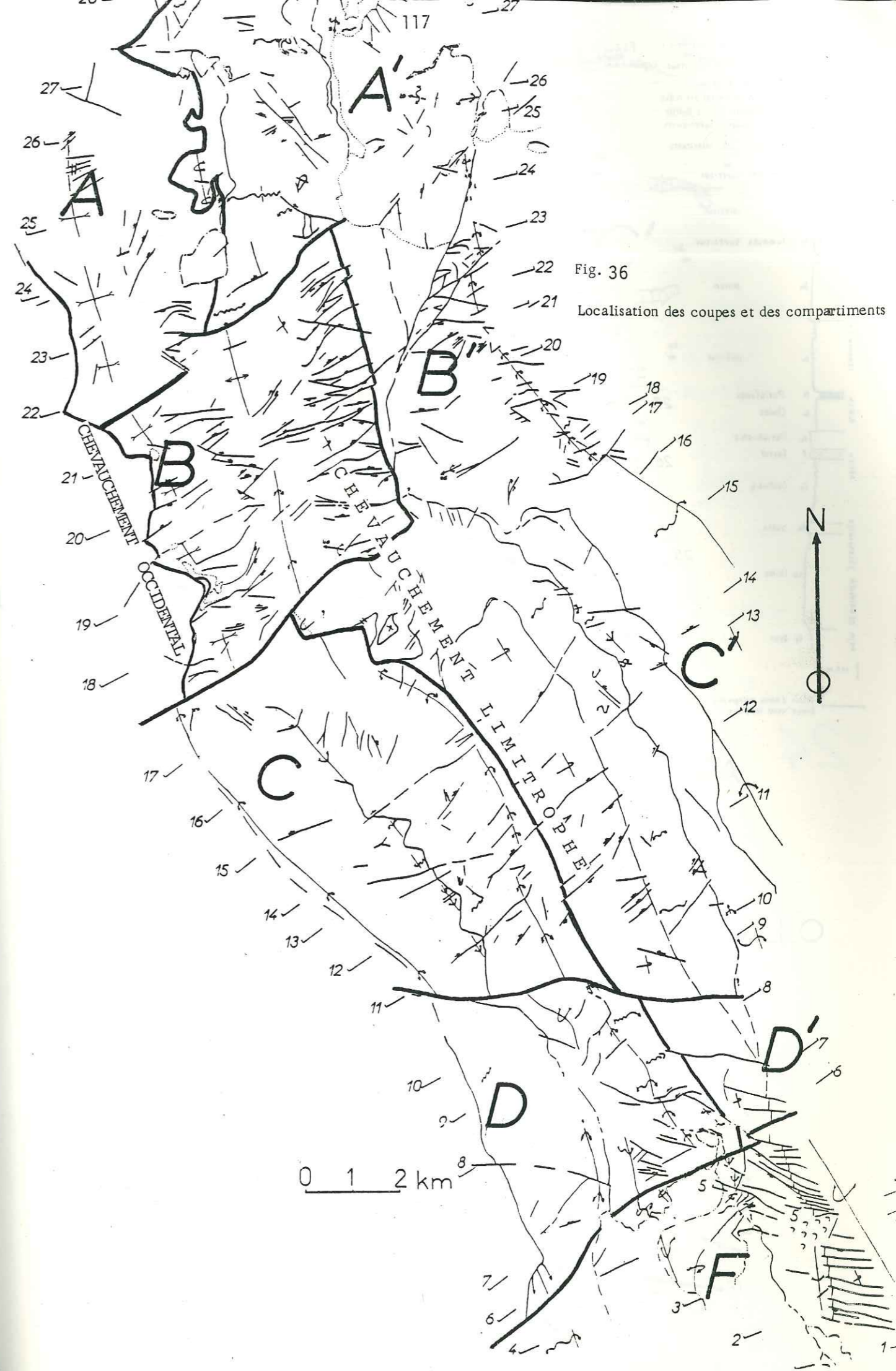


Fig. 36
Localisation des coupes et des compartiments

Fig. 37 A LOCALISATION DES DIVERS COMPARTIMENTS

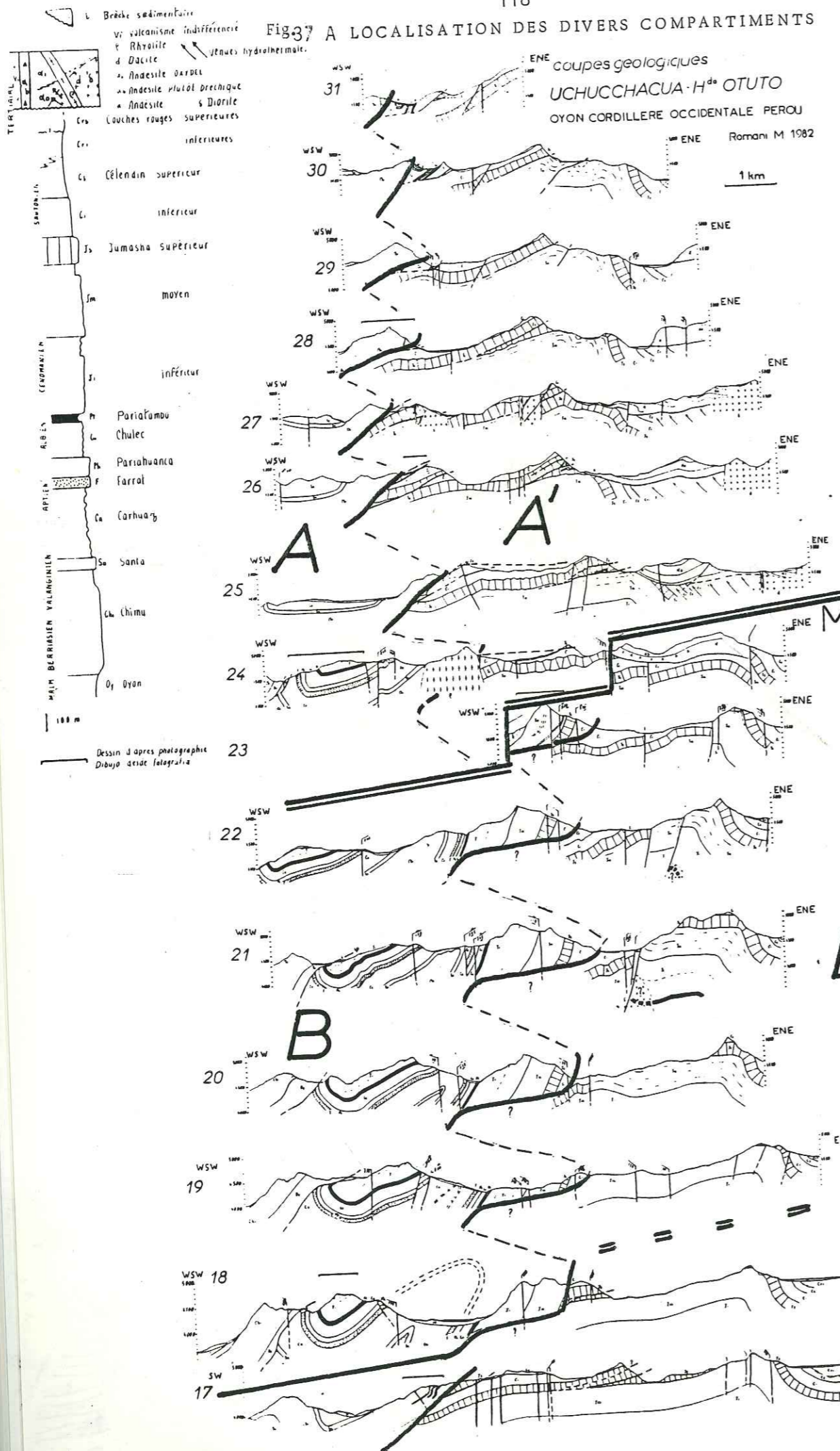
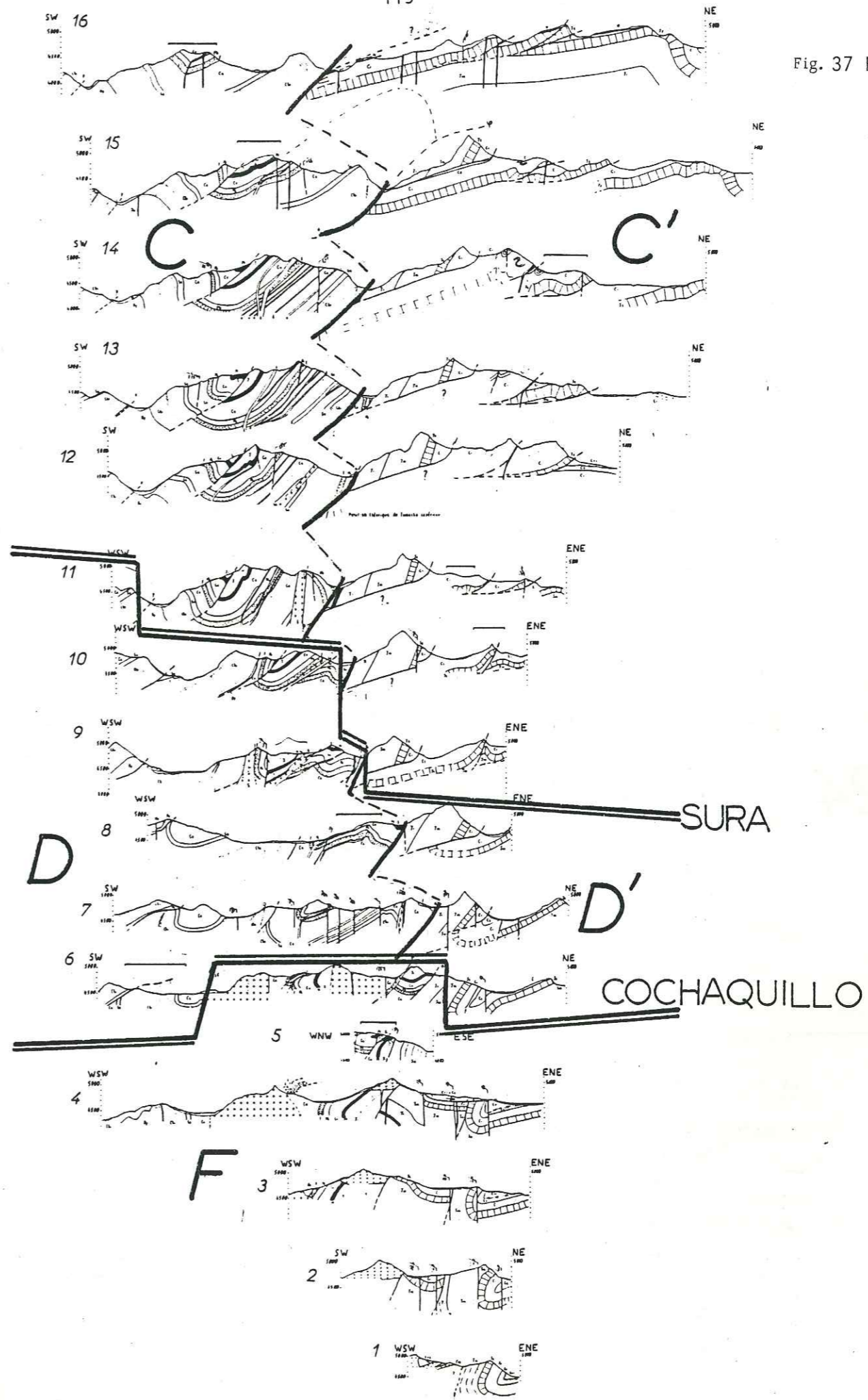


Fig. 37 B



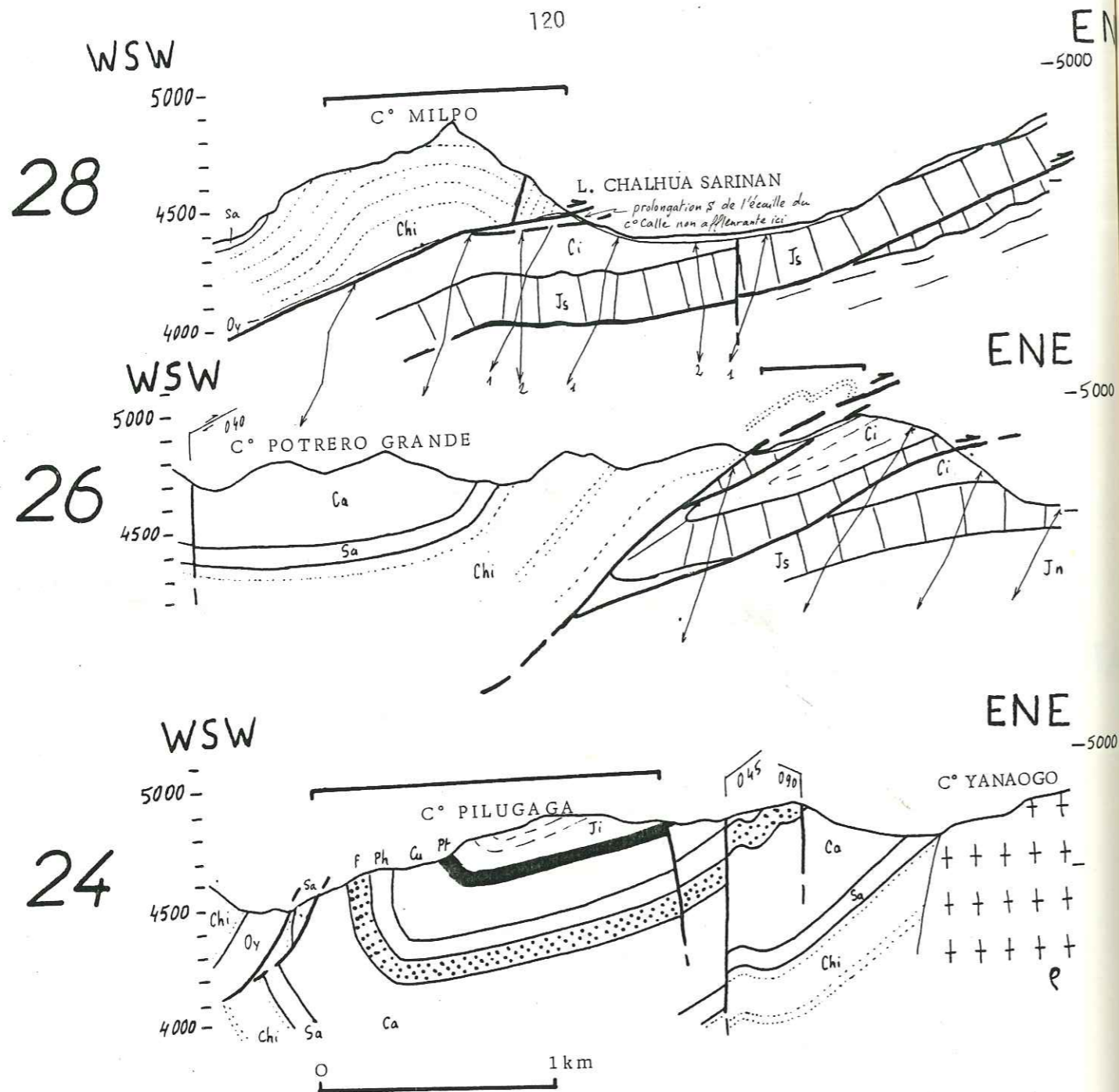
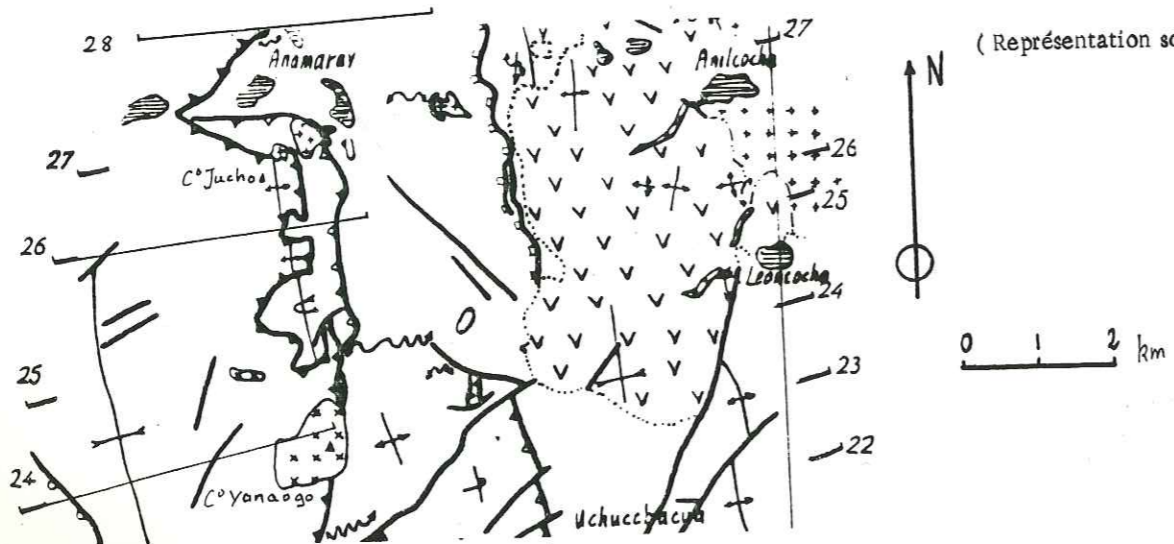


Fig. 38 Détails des coupes 24-26-28.

Dessin d'après photographie

Représentation 1 N/50
Schistosité 2 N5



2.1. UNITE AA'

2.1.1. Compartiment A

Le matériel détritique, crétacé inférieur, possède dans sa base une puissante barre de quartzite (fm. Chimu), niveau très compétent, glissant sur les couches charbonneuses sous-jacentes (fm. Oyon). La structure majeure correspond à un synclinal coffré (coupes 24-26) suivi d'un anticlinal plus ou moins déversé vers le NE chevauchant la zone imbriquée. Cet anticlinal où affleurent surtout des quartzites (coupe 28, Fig. 38, dessin d'après photo) est tronqué à la base par un accident plat sous-jacent, lui-même recoupé par les microgranodiorites du C° Jucho et par l'intrusif circonscrit rhyolitique du C° Yanaogo (coupe 24, Fig. 38).

2.1.2. Compartiment A'

La partie septentrionale de la zone "imbriquée" est caractérisée par ses décollements, ses écailles et ses klippes.

2.1.2.1. Ecailles et klippes du compartiment A'

Les intrusifs d'Anamaray ont développé un important skarn rendant difficile les observations de terrain dans l'écaille située sous le C° Jucho ; en particulier, l'attribution de ces calcaires transformés en skarn à la formation Célendin n'est pas certaine.

L'écaille du C° Calle (coupe 30, Fig. 39) est constituée d'un synclinal et d'un anticlinal couchés vers le NE. Le flanc inverse de l'anticlinal constitué par des calcaires massifs et des marnes de l'Albien Cénomaniens est charrié sur les marnes santoniennes. La faible épaisseur du matériel hauterivien à albien coincé dans ce copeau est un cas particulier dans la zone étudiée. Cette réduction importante de la série, exagérée par la tectonique pour les niveaux incompetents (Carhuaz, Chulec, Pariatambo), est probablement originelle pour la formation Pariahuanca. Cette réduction serait peut-être en relation avec une zone haute anté-crétacée (?) limitée au sud à la faille Mancacuta, puisqu'il n'existe pas de témoins de cette réduction stratigraphique dans le compartiment B.

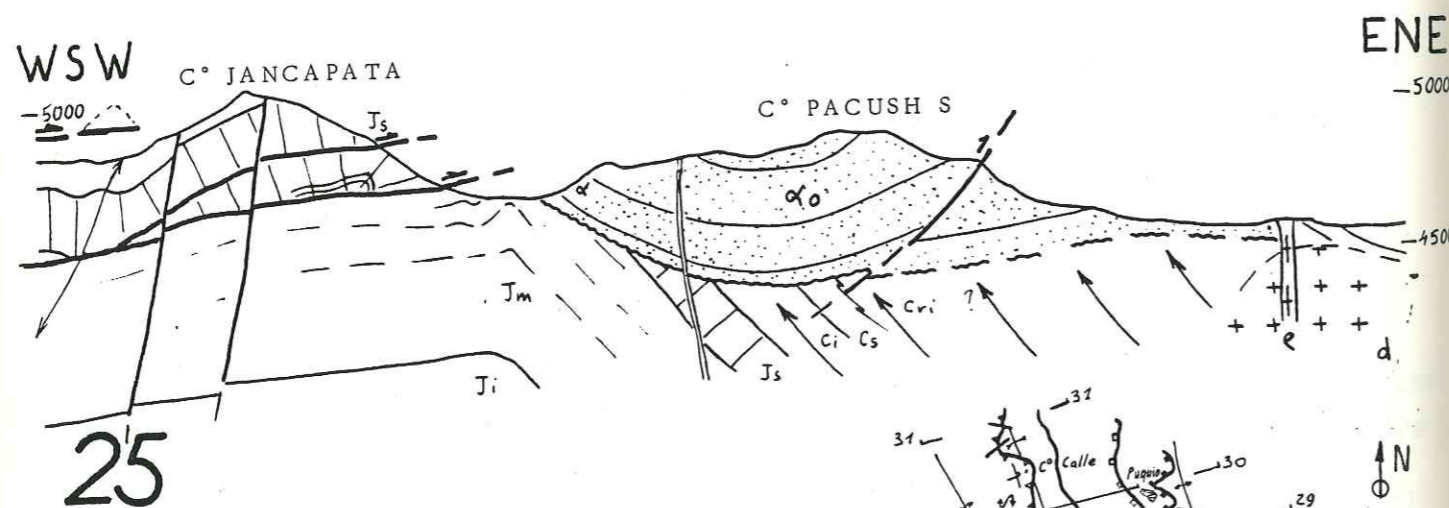
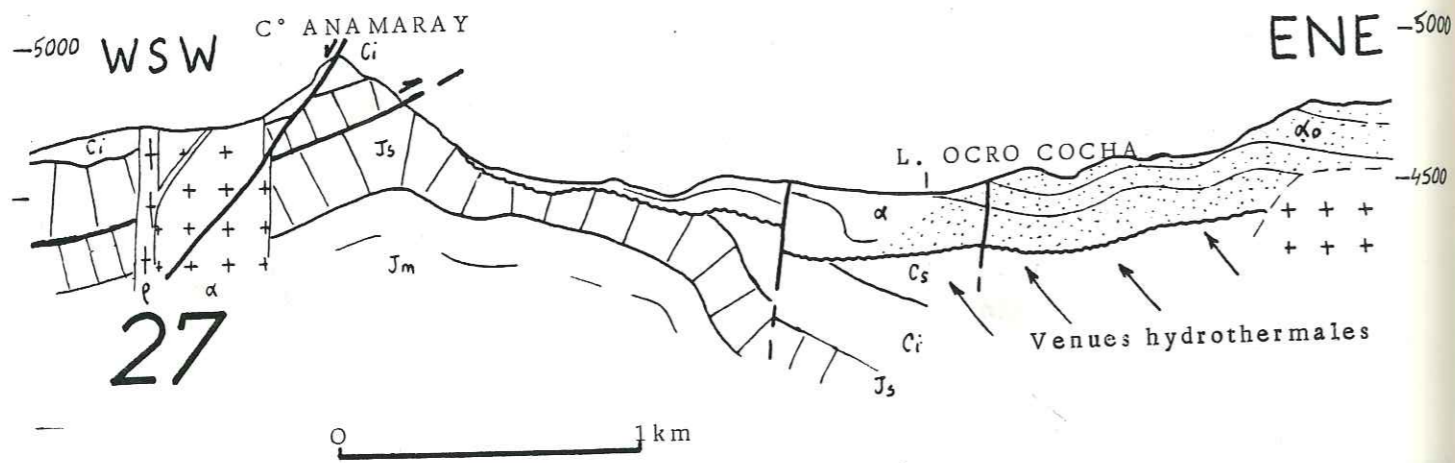
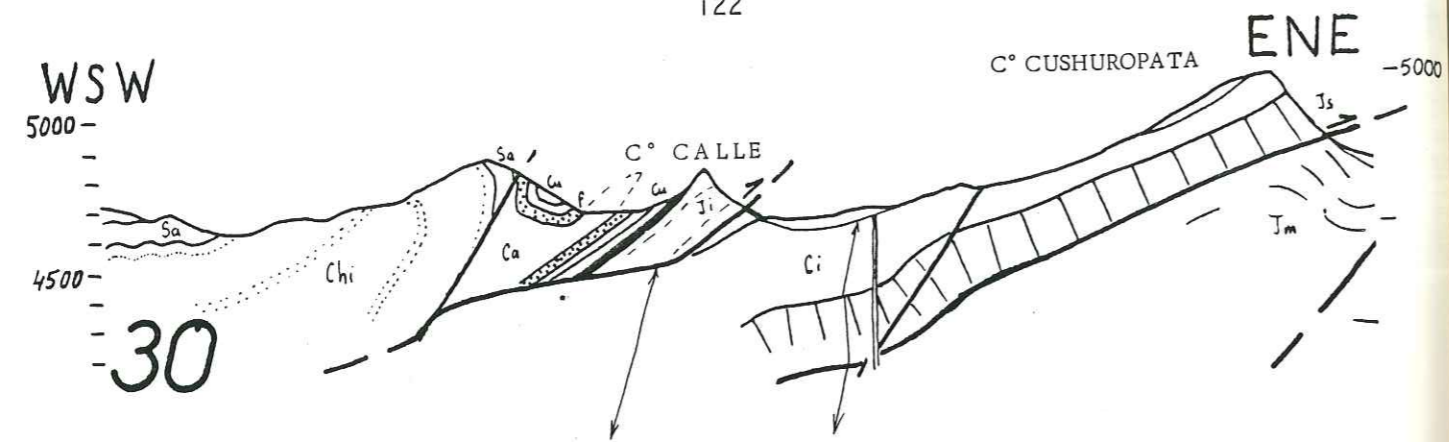
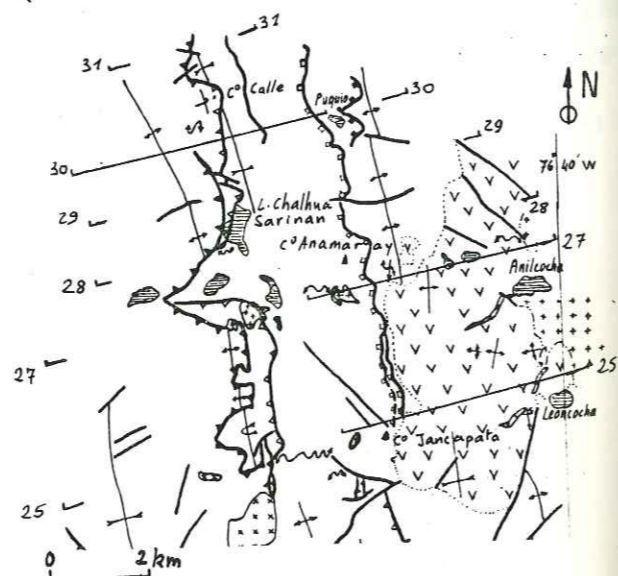


Fig. 39 Détails des coupes 25-27-30.

Dessin d'après photographie

Représentation schématique de la schistosité.

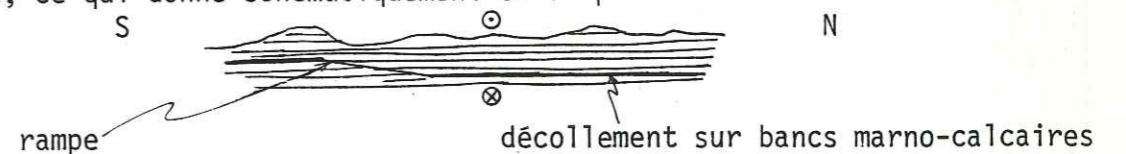


De toute manière, les quartzites du synclinal couché formant cette écaille se raccordent aisément à celles de l'anticlinal qui les chevauche à l'ouest (Fig. 39, coupe 30). Ainsi l'accident limitrophe passe-t-il probablement à la base de l'écaille et de ce fait le C° Calle appartient plutôt au compartiment A. Des accidents décrochants, conjugués et mineurs affectent cette écaille à l'ouest du lac Vetacocha. La direction de ces failles et leur sens de déplacement sont en relation avec une phase de compression E.W. tardive.

Un kilomètre plus au sud, l'écaille du C° Calle disparaît et une autre écaille de Crétacé supérieur calcaire, en position normale pour l'essentiel, prend le relais. Elle appartient aussi au compartiment A' (Fig. 39, coupe 25) et son flanc inverse affleurant dans la demi fenêtre au sud du C° Contadera est cisailé à la base. La flèche du chevauchement limitrophe est matérialisée par des klippes de calcaire Jumasha supérieur ou Célendin inférieur, arrachées au compartiment A' et situées 1,5 km à l'ENE de la trace en carte de cet accident (Fig. 40). Ces klippes montrent à leur base des phyllonites sur une trentaine de mètres d'épaisseur.

2.1.2.2. Les décollements du compartiment A' N 170-10 à 25°W de la formation Célendin

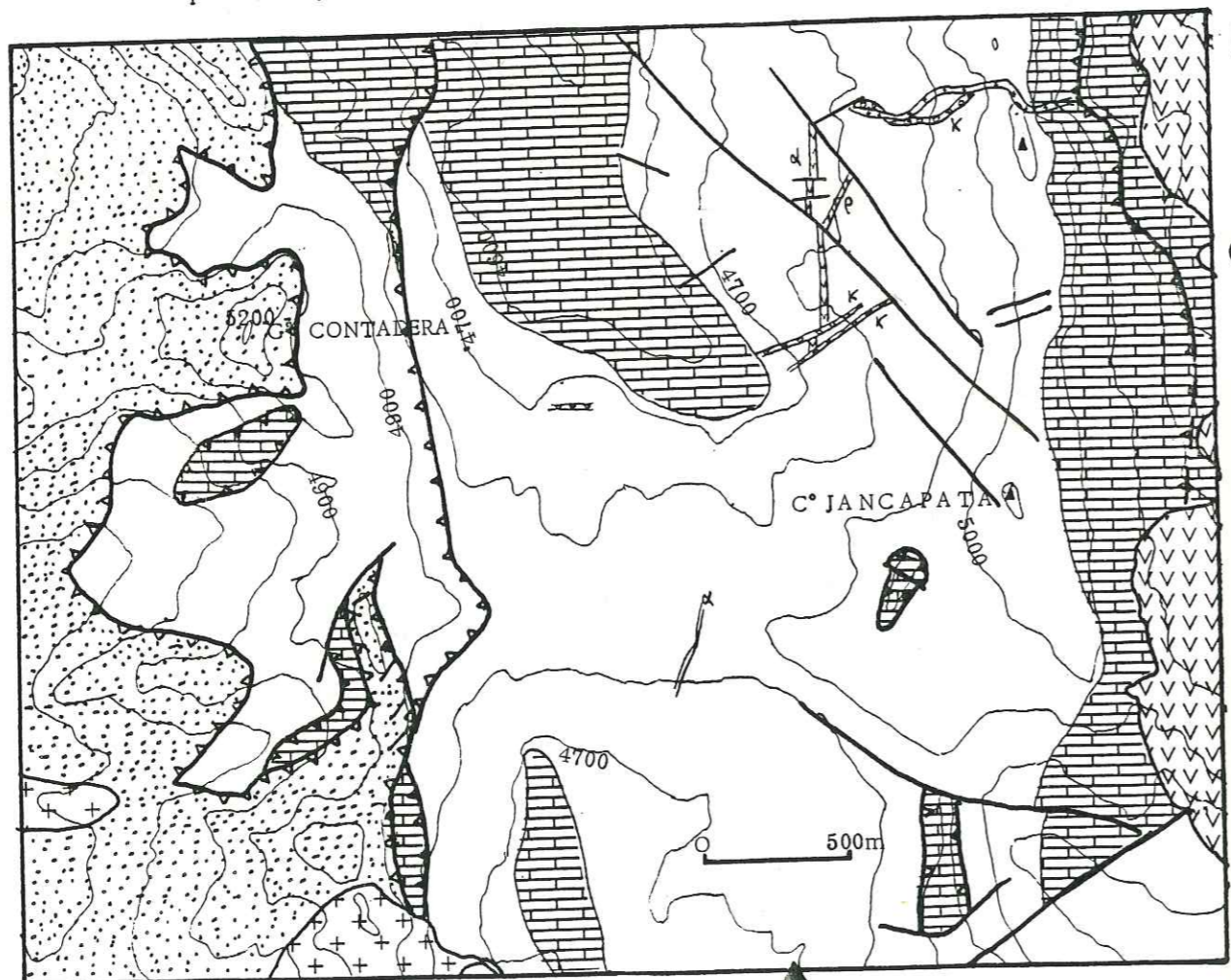
La crête du C° Anamaray, décollée sur des joints marnocalcaires chevauche vers l'ENE le flanc court de l'anticlinal asymétrique. Une observation depuis les sommets de la série volcanique fait apparaître, parallèlement aux structures, des rampes tectoniques inclinées d'une dizaine de degrés par rapport aux couches. De ce fait l'accident monte dans la série, ce qui donne schématiquement en coupe.



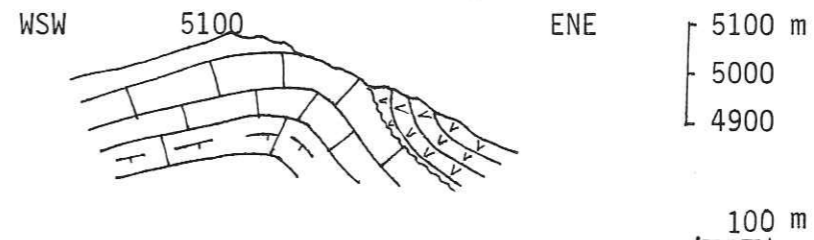
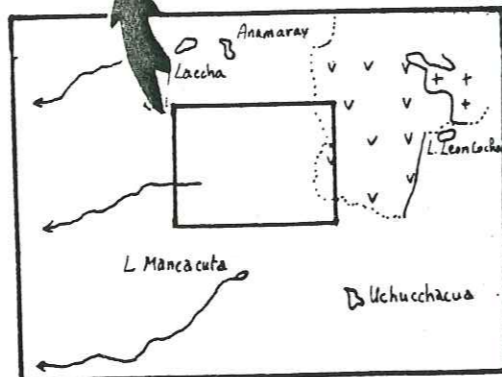
2.1.2.3. Structure du volcanisme et des intrusifs du compartiment A'

Les séries volcaniques tardi-miocènes discordantes sont déformées en plis ouverts à axe NS. Au SW, les laves en position subverticale reposent sur les calcaires Jumasha moins inclinés. Par conséquent, la phase tardive Quechua 3 (J.P. SOULAS, 1977) a plissé fortement la discordance du C° Jancapata N:

Fig. 40 Carte simplifiée du secteur CHUNPAN.
L'alignement des klippes de calcaires Jumasha sup. (ou Célendin inf.) avec les remplissages karstiques à matériel quartzitique provenant de la fm. Chimú, localise la position initiale du chevauchement limitrophe des quartzites néocomiennes (fm. Chimú) sur les calcaires turoniens.



- α Andésites ; × Remplissage karstique; e Rhyolite
- Plug rhyolitique.
- Couverture volcanique fini-miocène discordante
- Marno-calcaires de la fm. Célendin inf.
- Calcaires de la fm. Jumasha sup.
- Quartzites de la fm. Chimú
- Chevauchement ; / Faille



- Série volcanique tardi-miocène
- Célendin inférieur, Turonien
- Jumasha supérieur
- Jumasha moyen

Des venues crypto-volcaniques associées (?) se traduisent par des dykes NS dans le flanc long de l'anticlinal Jancapata. Elles sont affectées par des failles conjuguées confirmant un raccourcissement EW. Une de ces failles, affouillée par l'action des eaux météoriques puis remplie par un karst à matériel Chimú, est ensuite coupée par une rhyolite potassique (Fig. 18 p.66). Ces observations révèlent l'existence d'une phase de compression E.W entre la venue du volcanisme intermédiaire et la montée du dyke de rhyolite.

Dans un même ordre d'idée, un dyke rhyolitique cisailé en décrochement par une faille dextre N 130 lors d'une phase quaternaire compressive, recoupe la série volcanique. En conclusion, la phase compressive Quechua 3, sépare dans ce compartiment le magmatisme intermédiaire du magmatisme acide qui est lui même affecté par une phase quaternaire N 140 à NS. Au centre de l'affleurement des roches volcaniques, un train de plis d'axes EW inclinés légèrement vers l'Ouest est soit le produit de la tectonique plio-quaternaire, soit une morphologie de coulées de laves visqueuses venant de l'E et s'adaptant sur une paléotopographie de ravins et de talwegs (?).

2.1.24. Microstructures

Deux schistosités de fracture, en éventail dans les structures plissées, ont des directions subparallèles NS, NNW-SSE et sont proches de la verticale (Fig.43). On les observe depuis la base du chevauchement limitrophe, jusqu'à environ deux kilomètres plus à l'E dans la formation Célendin. Ces feuilletages sont limités vers le haut par le chevauchement limitrophe dans la mesure où le compartiment charrié, formé de quartzites, ne peut pas enregistrer ce phénomène. Sur canevas de Wulff inférieur (U), ont été reportés les pôles des plans de schistosité (Fig. 43).

Le skarn associé aux intrusifs de Laccha permet d'établir une chronologie relative des événements géologiques dans le secteur : C.ANGELES a observé 30 m au sud de l'entrée de la galerie de mine 4450 une ancienne schistosité N 147 verticale injectée de matériel siliceux (?), qui est cisailée par deux microfailles conjuguées (N 014-90° et N 063-90°) remplies postérieurement de grenatites vertes. Il apparaît ainsi une fracturation liée à un raccourcissement SW-NE, étant donné les directions des microfailles, entre les injections de silice (?) et de grenatites.

En admettant que ces venues siliceuses (?) soient contemporaines de la pulsion intrusive de 25.3 M.a. (D.C. NOBLE, 1980) à Uchucchacua (6.5 km au SE), et que les grenatites soient contemporaines de la pulsion intrusive proche de 10 M.a. (dyke de dacite à 9.32 ± 0.6 M.a. au C° Anamaray, 1,5 km à l'Est), on peut suggérer la chronologie suivante pour le secteur Laccha.

Age (M.a.)	Phases	Marqueurs
9.32 ± 0.6	Quechua 3	La schistosité NS n'est pas injectée de matériel hydrothermal Mise en place probable de la majorité des intrusifs et du skarn à grenatites
$25.3 \pm 0.8 (?)$	Quechua 1	Fracturation
	Inca	Remplissage siliceux Schistosité N 150

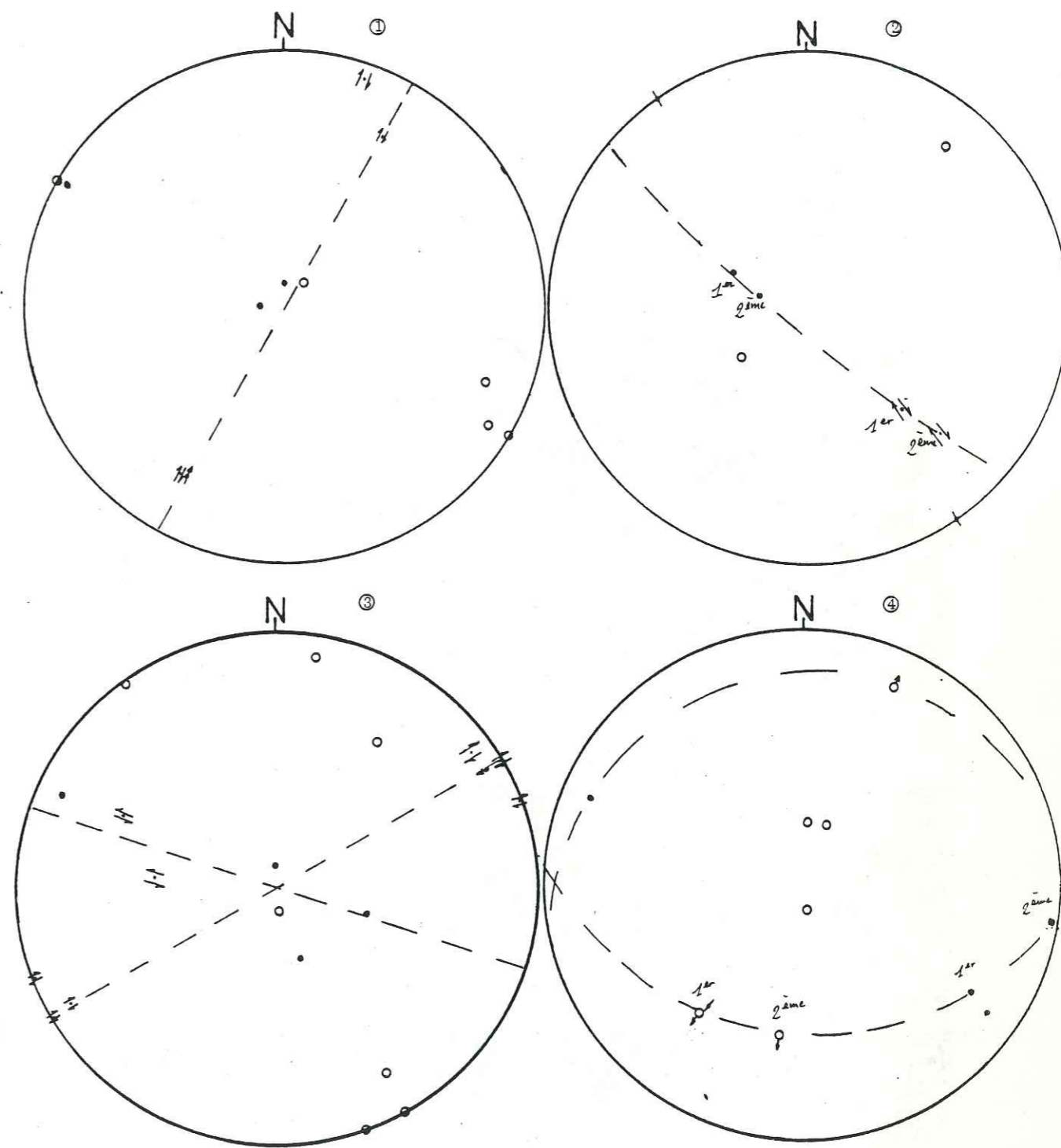
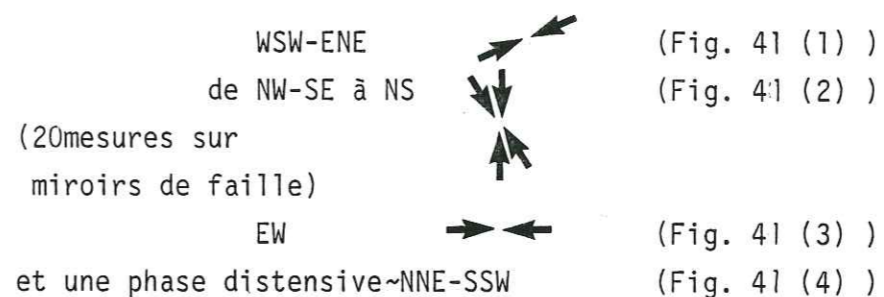


Fig.41 Stéréogramme de Wulff (hémisphère inférieur) des marqueurs des miroirs de failles associés à l'accident Lutacocho dans le compartiment A'. Les miroirs sont classés par familles à jeu contemporain : ① WSW-ENE ; ② NE-SE à N-S ; ③ E-W ; ④ Distension NS
 ○ Pôle de plan de faille ; ● Pôle de plan de mouvement ; / Strie ; // Strie dextre ; // Strie sénestre ; ○ Strie normale ; ⚡ Strie inverse.
 --- Plan de faille moyen.



PHOTOGRAPHIE N° 1. Dalle de calcaires Jumasha (1/3 X).
Les fentes de calcite s'organisent suivant des joints potentiels
dextres et sénestres conjugués N050 N130. Ces fentes N100
donnent σ_1 local.

Une étude microtectonique sur des miroirs de faille, à proximité d'un accident majeur N 040 vertical (au Nord du lac Lutacocho), fait apparaître plusieurs phases tectoniques avec les directions de raccourcissement suivantes.



Plus au Sud, près de la galerie de mine 4450, sur les dalles de calcaire de la formation Jumasha supérieur, on observe des fentes en échelons associées à des "dominos" de calcite donnant des joints potentiels conjugués (photo 1):

- N 050 à fente individuelle N 105;
- N 130 à fente individuelle N 095.

On peut en déduire une direction de raccourcissement N 100. Sur cette photo, la schistosité NS est visible; elle a subi un déplacement tardif dextre. Dans le coin inférieur gauche, des fentes N 170 sont liées probablement à un raccourcissement subméridien antérieur à la phase Quechua 3 puisque les fentes N 170 semblent recoupées par les fentes N 100.

Au Sud de la klippe W du glacier Jancapata, on retrouve sur les calcaires de la formation Célendin les deux directions principales de compression sous forme de stries inverses contenues dans des plans verticaux N 055 et N 085 sur un plan de stratification N 150-25°W.

2.1.3. Conclusion

Dans cette unité AA', nous avons apprécié les différences existant de part et d'autre du chevauchement limitrophe et justifié la subdivision de AA' en deux unités structurales. La direction des axes de plis majeurs NNW-SSE associés à la schistosité NW-SE fait apparaître une direction de raccourcissement initiale en gros NE-SW.

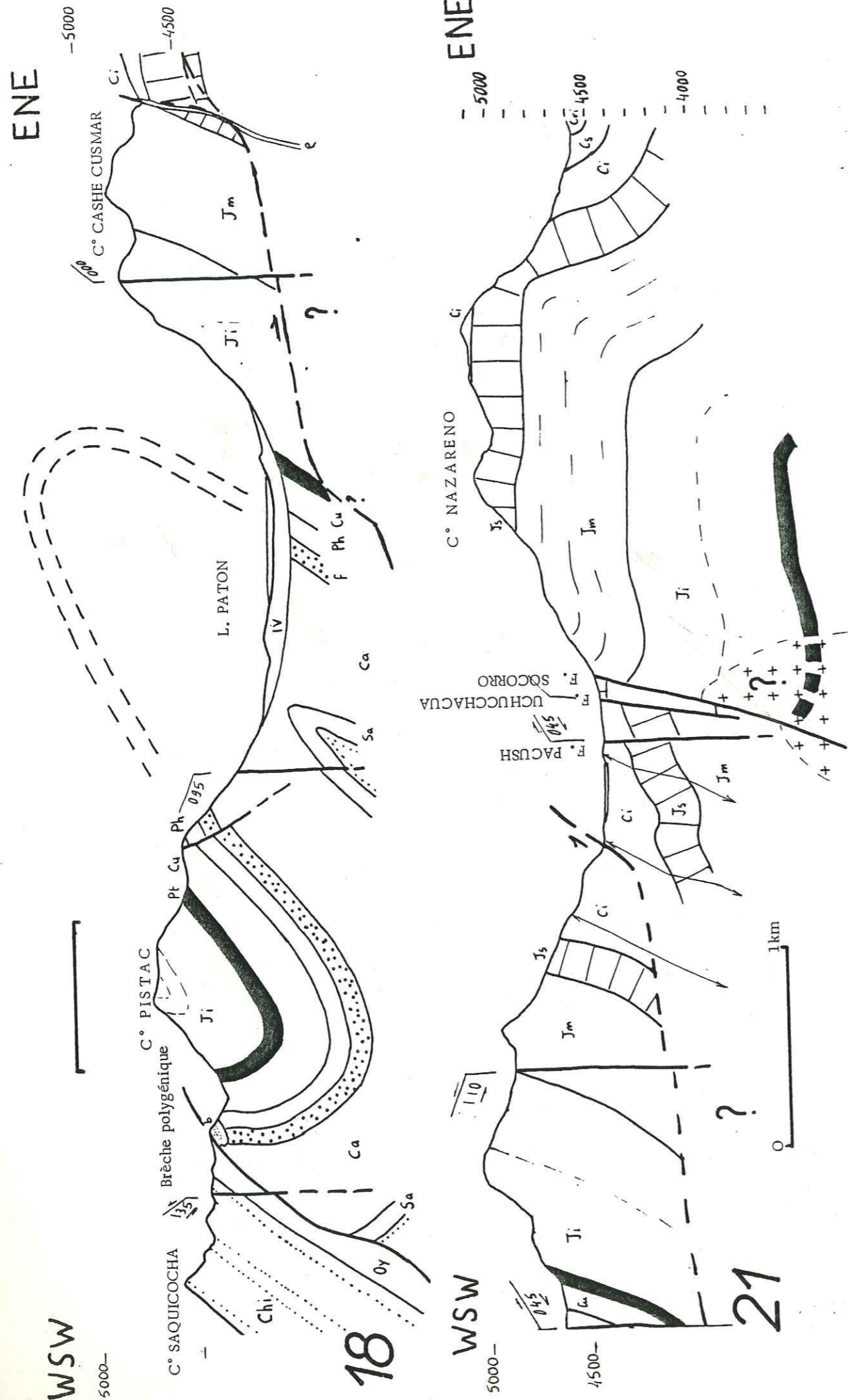


Fig. 42 Détails des coupes 18-21.
 Dessin d'après photographie
 Représentation schématique de la schistosité qui se réfracte dans bancs compétents

Le plissement d'axe NS du volcanisme fini-miocène, le dyke NS cisailé par des accidents conjugués et l'étude des microstructures révèlent une compression tardive proche de E-W et plus jeune que les laves de Ocrococha (143 A et B) âgées de 5.4 ± 1 M.a.

Une phase plio-quadernaire compressive a affecté le dyke rhyolitique qui coupe la série volcanique, et la direction de compression est comprise dans le dièdre NW-N. Nous n'avons pas assez d'éléments pour localiser dans cette chronologie relative l'épisode distensif qui se traduit par des failles normales.

2.2. UNITE BB'

2.2.1. Compartiment B

La coupe 18 (Fig. 42) résume la structure de ce compartiment. Un synclinal asymétrique est suivi à l'E par un anticlinal de grande taille déversé vers l'avant pays. Les quartzites Chimu sur leur matelas de schistes charbonneux et de grès de la formation Oyon, chevauchent le flanc court du synclinal. La base de la série calcaire de la formation Jumasha est en position inverse et est cisailée par un accident plat non observable latéralement sur le terrain car il est compris entre deux failles verticales SW-NE transverses aux structures. En effet, il existe une analogie avec les chevauchements du même type rencontrés dans les autres compartiments. De plus, cette imposante série inverse (fm Jumasha) présente une mégastructure de crochon au NE de Mancacuta (Fig.44) et ce cisaillement semble indubitable. D'autre part les mesures comparatives de quantité de raccourcissement dans les diverses unités (§ 5.4.) confirment l'hypothèse du cisaillement basal du compartiment B (entre les lacs Paton et Mancacuta). Le redressement oriental (Fig. 42) de cet accident lui donne une forme de cuillère.

De plus, il semble que la formation Jumasha, en série inverse, du C° Cashe Cusmar se soit mise en place sur un paléorelief. La non prolongation vers le NE de la faille Paton, qui a pourtant une longue histoire (§4.2.2.), étaye cette proposition d'un déplacement récent, épiglyptique mais local, de ce secteur. Local, car plus au Nord ce chevauchement est recoupé par des failles conjuguées liées aux compressions majeures NE-SW (Fig. 42) d'âge fini-éocène à oligocène.

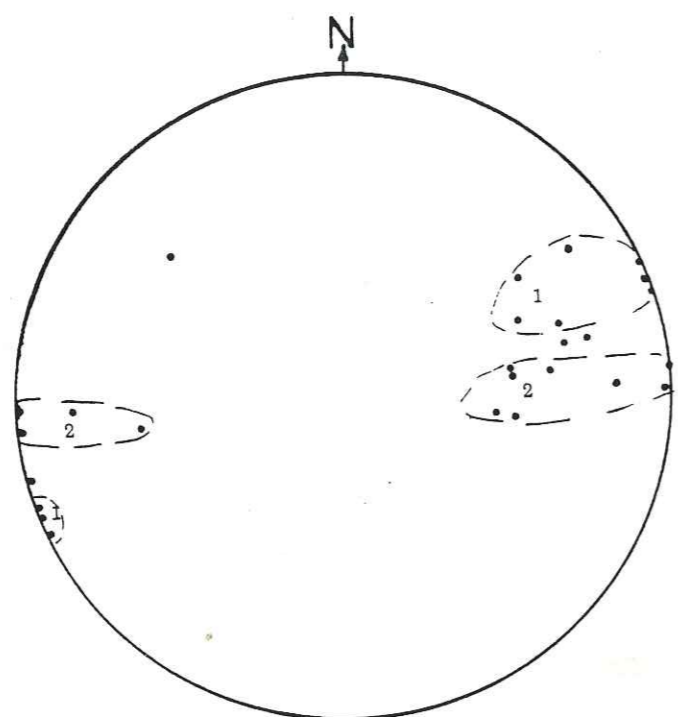


Fig. 43 Pôles des plans de schistosité dans le compartiment A'. (Stéréogramme de Wulff inférieur)
On obtient deux familles de pôle : 1 Schistosité WSW-ENE
2 Schistosité N-S

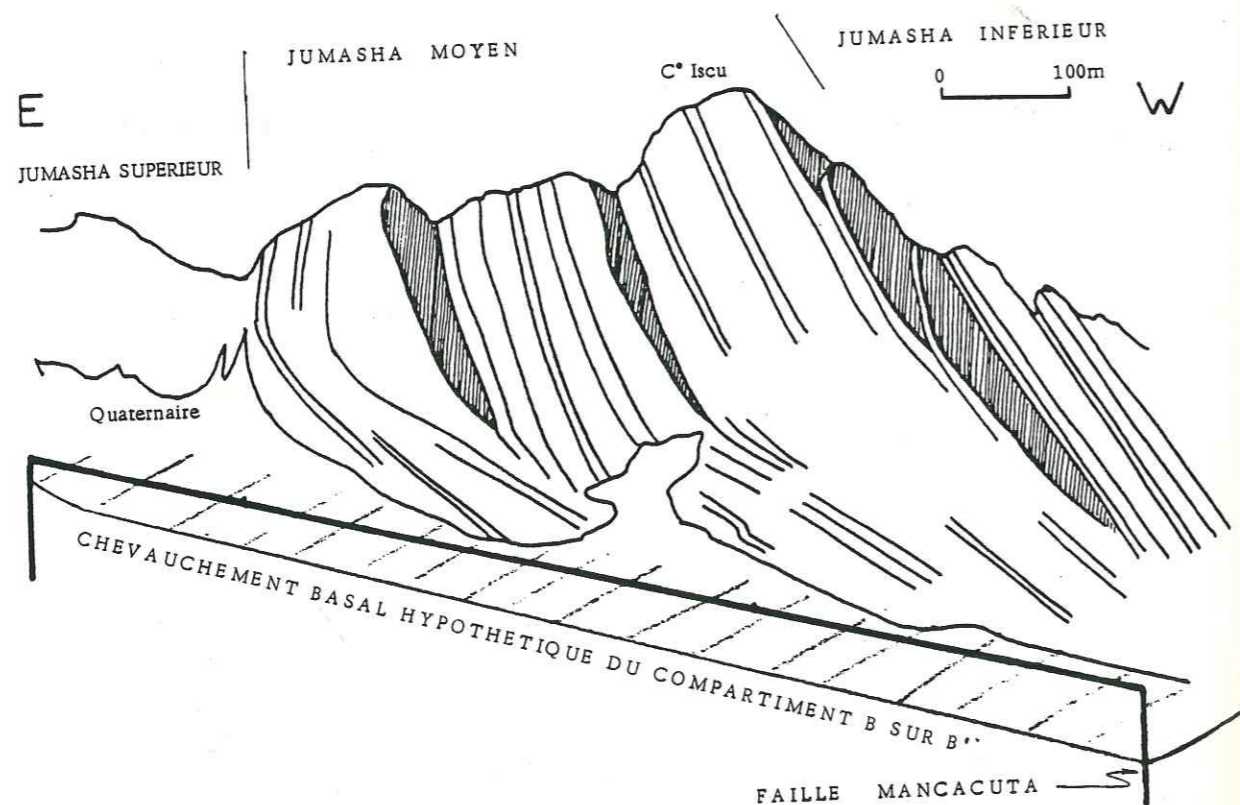


Fig. 44 Panorama du C°Iscu où l'on observe une torsion des couches liée à la mise en place de la série inverse Jumasha sur le compartiment B'. 3 km. à l'ouest de UCHUCCHACUA

Deux brèches tertiaires, décrites dans le chapitre 3 (§ 2.12), présentent des structures intéressantes. Elles se localisent sous le chevauchement occidental à l'Ouest d'Otuto (schéma structural Fig.35). La brèche inférieure à matériel torrentiel, repose en forte discordance sur le crétacé qui a déjà subi une phase tectonique majeure puisqu'il a été émergé et plissé. Cette brèche, plissée en synclinal asymétrique d'axe N 125, est finalement recouverte par le chevauchement occidental épiglyptique. Les masses soulevées du fait de ce chevauchement s'érodent et donnent des brèches de pente monogéniques qui à leur tour passeront sous le rouleau compresseur du chevauchement occidental (§ 2.4.2.1. p. 67). Le matelas plastique que constitue la formation Oyon sert de niveau de décollement ; il possède des plis d'entraînement à axe N 105 30°W qui sont probablement des plis en fourreau (de type B) où l'axe donne la direction de raccourcissement (proche de E.W.) ; en effet, on observe parfois des plis isolés où les flancs ne se prolongent pas car ils sont détachés par l'étirement (Rods en allemand). Ainsi la chronologie des événements compressifs comprend deux phases NW-SE suivies par une phase E-W récente.

2.2.2. Compartiment B'

Les limites sont arbitraires ; nous l'arrêtons au Nord sur le contact des séries volcaniques, et au Sud contre le prolongement virtuel de la faille Paton vers le NE, ceci pour séparer B' de C'.

2.2.2.1. Structure du compartiment B'

Aucun chevauchement n'affleure et la zone imbriquée proprement dite est absente. Il en résulte qu'il existe plusieurs écaillés sous le compartiment B, ou bien que le raccourcissement est concentré au long du seul chevauchement limitrophe de B sur B' ; mais dans les deux cas ce raccourcissement doit être d'à peu près douze kilomètres. En effet, le raccourcissement mesuré sur la coupe 15 dans l'unité CC' est de 56 % (25km à 11 km) et par analogie, il doit en être de même pour la coupe 18.

Une forte schistosité NW-SE sub-verticale, légèrement en éventail par rapport aux plans axiaux des plis, s'est développée dans les calcaires marneux de la formation Célendin de part et d'autre du charriage.

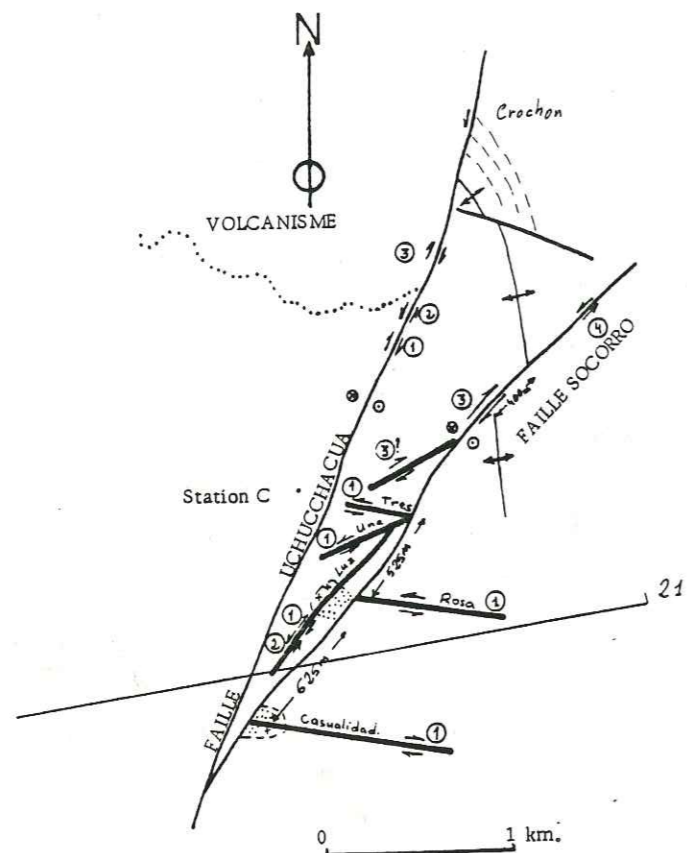


Fig.45 Schéma structural de la mine Uchucchacua.

- Faille
- Ancienne faille remplie de minéral
- ⊙ Compartiment descendu
- ⊙ Compartiment levé
- ① à ④ Chronologie des cisaillements
- Necks dacitiques
- ⊙ Non affleurants car érodés.
- ⊙ Affleurants ou cachés par le quaternaire

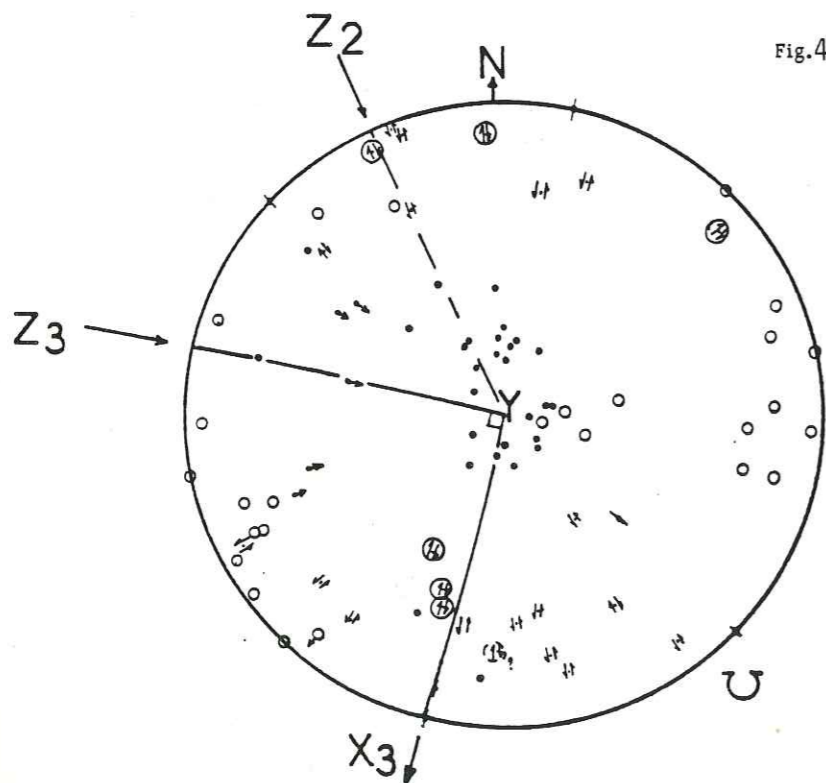


Fig.46 Stéréogramme de Wulff (hémisphère inférieur) des miroirs de faille de la station C. L'expulsion du compartiment X₃ est due à la compression locale Z₃ (N 105). Une autre compression locale Z₂ (probable) est orientée N 160 (allongement du nuage des plans de mouvement vers Z₂).

- Pôle de plan de faille
- Pôle de plan de mouvement
- ↗ Strie
- ↘ Strie dextre
- ↙ Strie sénestre
- ↖ Strie normale
- ↗ Strie inverse

Un pli coffré asymétrique, cisailé par des failles majeures décrochantes obliques à l'axe de la flexure anticlinale constitue le corps de cette structure.

2.2.2.2. Les structures dans la mine Uchucchacua et à proximité (Fig.45)

Dans le district minier, les accidents sont nommés comme l'indique la coupe 21 au 1/25 000 (Fig.42) ; on observe d'Ouest en Est :

- la faille Pacush NS, peu visible à l'affleurement ; elle remonte d'une centaine de mètres le compartiment occidental.

- la faille Uchucchacua a joué plusieurs fois depuis les premières phases andines ; les mesures effectuées sur les miroirs de faille d'un accident satellite, portées sur canevas de Wulff inférieur (Fig. 46) font apparaître la direction d'étirement X comprise dans le cadran sud (SW-SE) entre des miroirs dextres et senestres, donc la direction de raccourcissement orthogonale N 105. Cette phase est récente car bien représentée par les différents marqueurs et confirmée par des stries dextres dans le couloir de la faille Uchucchacua, à proximité de la couverture volcanique (Fig. 35). Le nuage des pôles des plans de mouvement a tendance à s'étirer vers le Nord où l'on peut localiser entre miroirs dextres et sénestres une deuxième direction de raccourcissement N 160. Cette phase est la cause du grand crochon sénestre à axe subvertical affectant la flexure anticlinale au SW du lac Léon Cocha (Fig. 45). Les failles inverses dans le cadran WSW sont peut-être les témoins de compressions plus anciennes. Le jeu normal évalué à 400 m (coupe 24, Fig. 37 A) par le décalage du niveau basal des séries volcaniques fini-miocène est évidemment très récent et semble ne pas avoir affecté la faille satellite étudiée.

La longue histoire de la faille Uchucchacua peut se résumer sur le tableau suivant.

Age en M.a.	Direction de raccourcissement	Jeu	Marqueurs autres que microtectoniques
5.4 ± 1	Distension (?) N 105	Normal Dextre	Stratigraphique
	Mise en place du sommet de la série volcanique au N et Uchucchacua N 160	Senestre	Crochon à axe subvertical des couches de la formation Célendin sur le flanc E de la flexure anticlinale de Cachi-pampa
	SW NE (?)	Dextre	

- la faille Socorro N 050-70° W et ses satellites conjugués, actuellement minéralisés : faille Tres N 100 verticale

Una N 075 60°NW

Luz N 030 70°NW

Rosa N 100 vertical

Casualidad N 100 80°N

Le schéma structural de la mine (Fig.45) montre, par les chiffres en regard des accidents (1, 2, 3...), la chronologie relative des différents jeux à partir d'une quarantaine de mesures microtectoniques sur miroirs de faille. Si l'âge de 25.3 M.a. (D.C. NOBLE, 1980) pour le neck dacitique de Casualidad est correct, la première minéralisation Pb Zn (Cu)* (C. ALPERS, 1980) est contemporaine du skarn associé à l'intrusif et se situerait entre les phases compressives Inca et Quechua 1, toutes deux à raccourcissement NE-SW, décrites dans la littérature.

La deuxième minéralisation Ag, Mn, Zn, plus tardive (C. ALPERS, 1980), serait antérieure à la phase compressive EW car elle est arrêtée par la faille Socorro. Dans le paragraphe minéralisation (Chapitre 4, § 5.1., p.100), J.J. WILSON (1971) décrit la présence d'une bréchification entre les deux venues hydrothermales. Ainsi il existe au moins une, sinon deux phases tectoniques compressives entre les minéralisations Pb, Zn, (Cu) et Ag, Mn, (Zn). Cette dernière est probablement synchrone des venues hydrothermales régionales datées 9 M.a. d'après D.C. NOBLE (1980). Cette minéralisation Ag, Mn, (Zn) s'est sans doute mise en place dans une ambiance distensive, vu que toutes les failles minéralisées orientées (N 100, N 075, N 030) sont actuellement remplies de minerai et surtout de calcite. On imagine donc mal ces fractures suborthogonales ouvertes en régime de compression.

- Antérieurement au jeu dextre normal de la faille Socorro, les veines minéralisées Tres et Rosa correspondaient à une même fracture. Plusieurs arguments appuient cette proposition.

. Ces veines possèdent une même direction et s'arrêtent contre la faille Socorro.

. Les miroirs de faille Tres et Rosa donnent un sens de déplacement sénestre.

* Economiquement non exploitable.

. Les dacites Casualidad et Luz présentent le même intrusif mais mis en place à deux profondeurs différentes ; la première avec des endoskarns est plus profonde que la deuxième qui présente des veinules de grenatite... En faisant intervenir un jeu global dextre pour rendre compte des localisations en plan et un jeu normal pour rendre compte des deux niveaux de mise en place, on explique la présence de deux affleurements pour un seul intrusif (Fig. 45).

- Sur la coupe 21 (Fig. 42) j'ai placé un intrusif hypothétique dans la mesure où les teneurs en argent baissent en profondeur dans les travaux miniers ; sa localisation et sa forme sont donc arbitraires.

2.2.3. Chronologie des événements géologiques dans l'unité BB'

Age en M.a	Direction de raccourcissement	Marqueurs du compartiment B	Marqueurs du compartiment B'
5.4 ± 1 9(?)	N 105	Plis en fourreau (?) à la base du chevauchement occidental qui recouvre les brèches	Jeu dextre des failles Uchucchacua et Socorro
	Sommet de la série volcanique au nord de Uchucchacua Minéralisation Ag, Mn, Zn régionale, liée à une distension N 160		Jeu sénestre des failles Uchucchacua, Luz... Synclinal ouvert N 060-05° W à l'Est du lac Anilcocha
25.3 ± 08	SW-NE	Brèche polygénique inférieure plissée (axe N 125)	
	SW-NE	Intrusif dacitique + minéralisations Pb, Zn, Cu + skarn Plissement des terrains mésozoïque et discordance de la brèche inférieure	Naissance (?) des failles Una, Tres, Rosa, Luz et Uchucchacua

2.3. UNITE CC' - CARTE HACIENDA OTUTO

Les structures de la coupe 15 sont aisément observables sur le terrain ; elle sera donc choisie comme coupe de référence. Le raccourcissement minimum est de 56 % (§4).

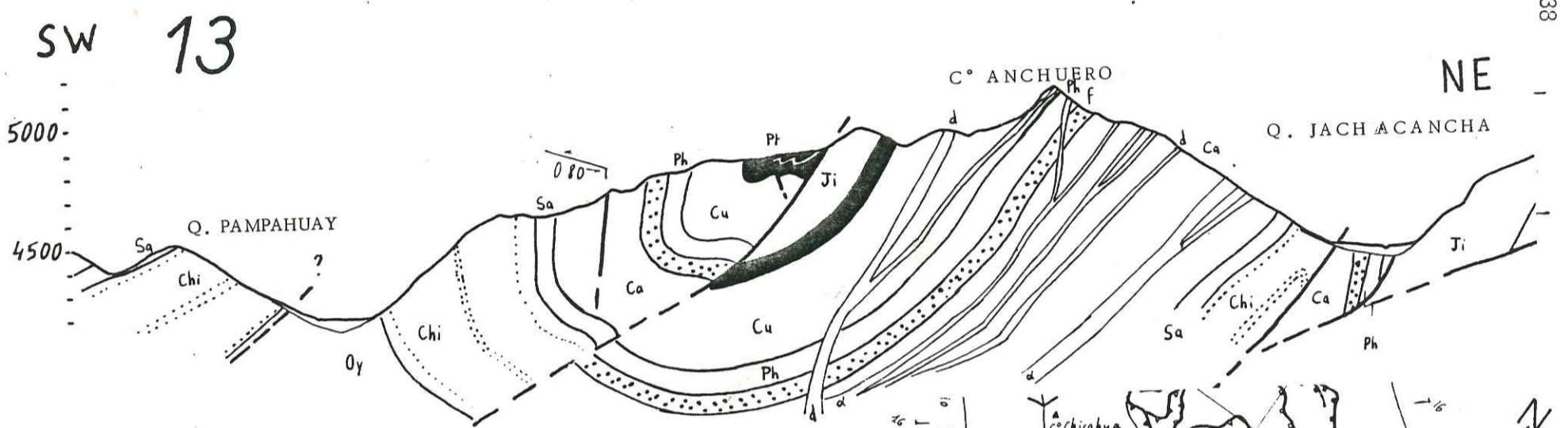
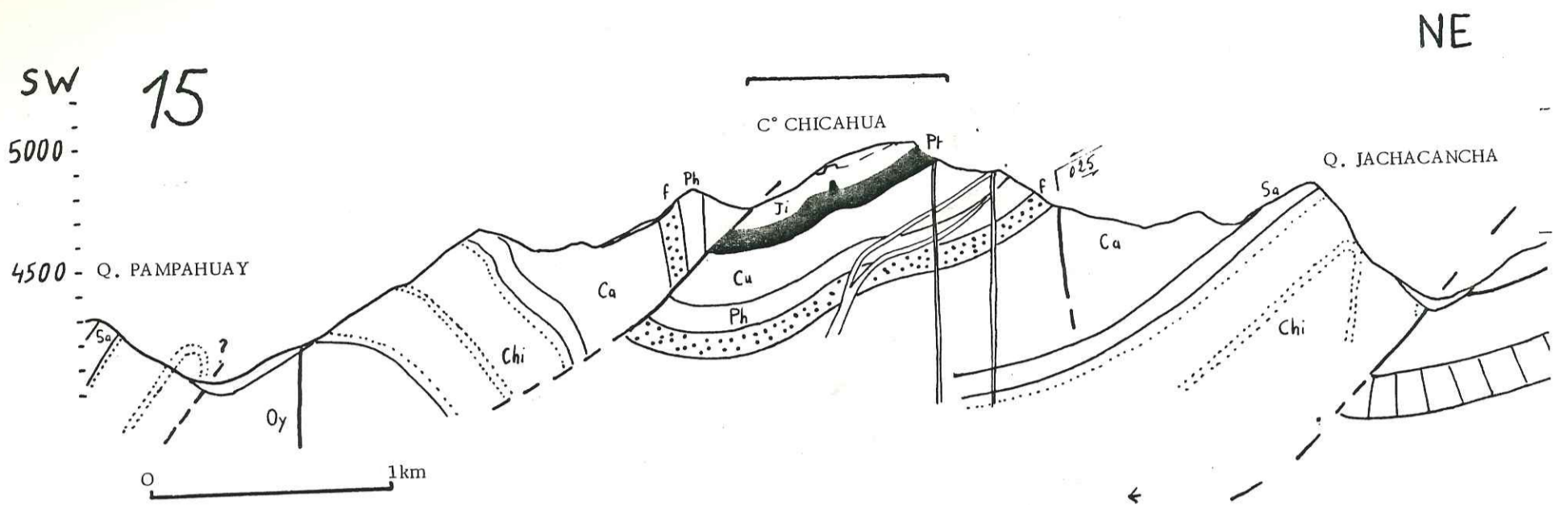


Fig. 47 Détails des coupes 13-15.

Dessin d'après photographie

NB: La suite de la coupe 15 vers le NE se trouve sur la figure 48.

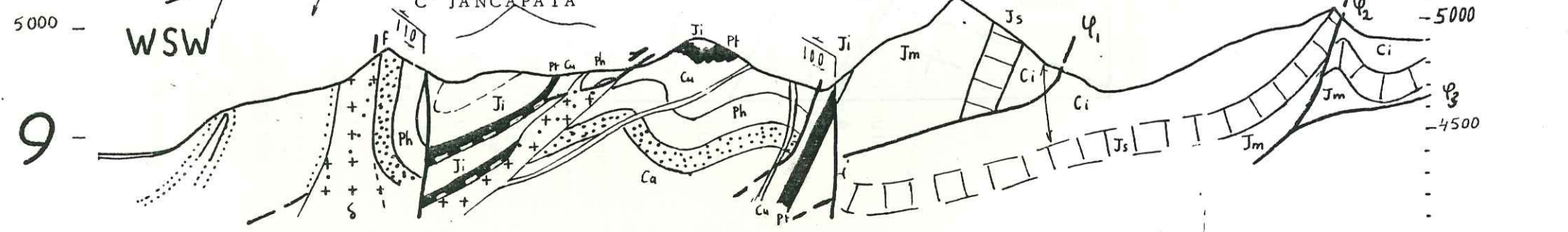
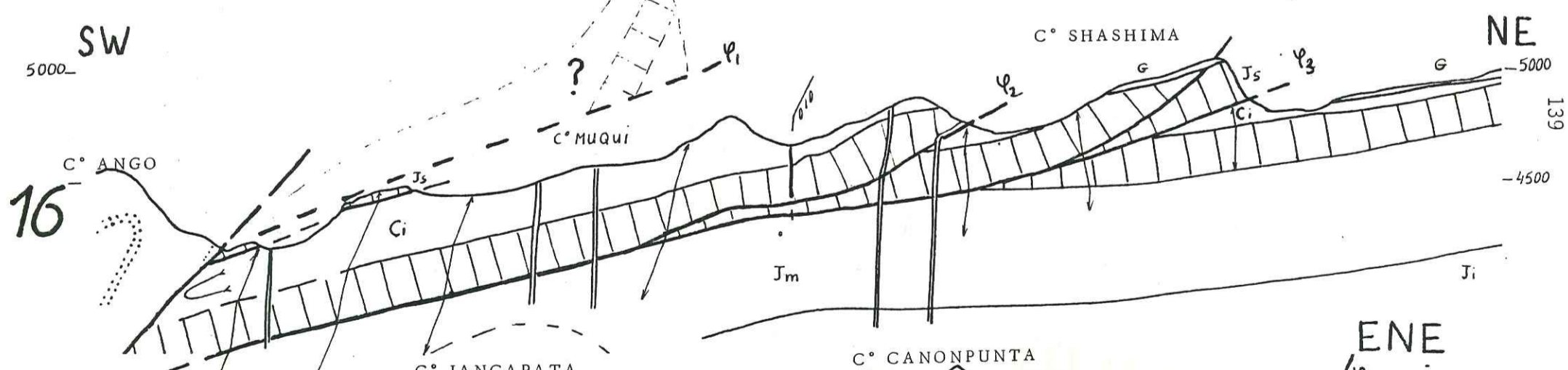
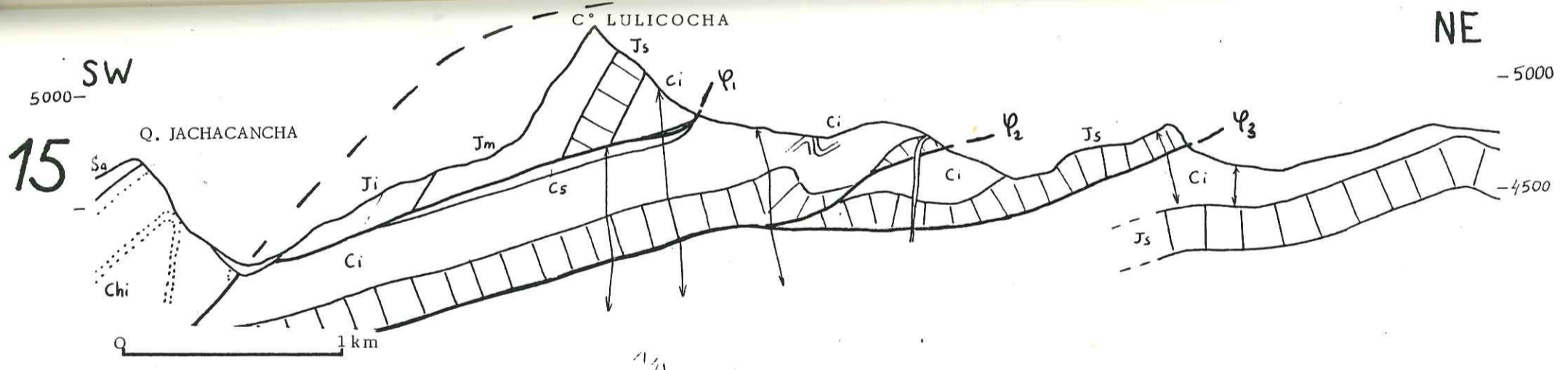


Fig. 48 Détails des coupes 9-15-16.

Représentation schématique de la schistosité

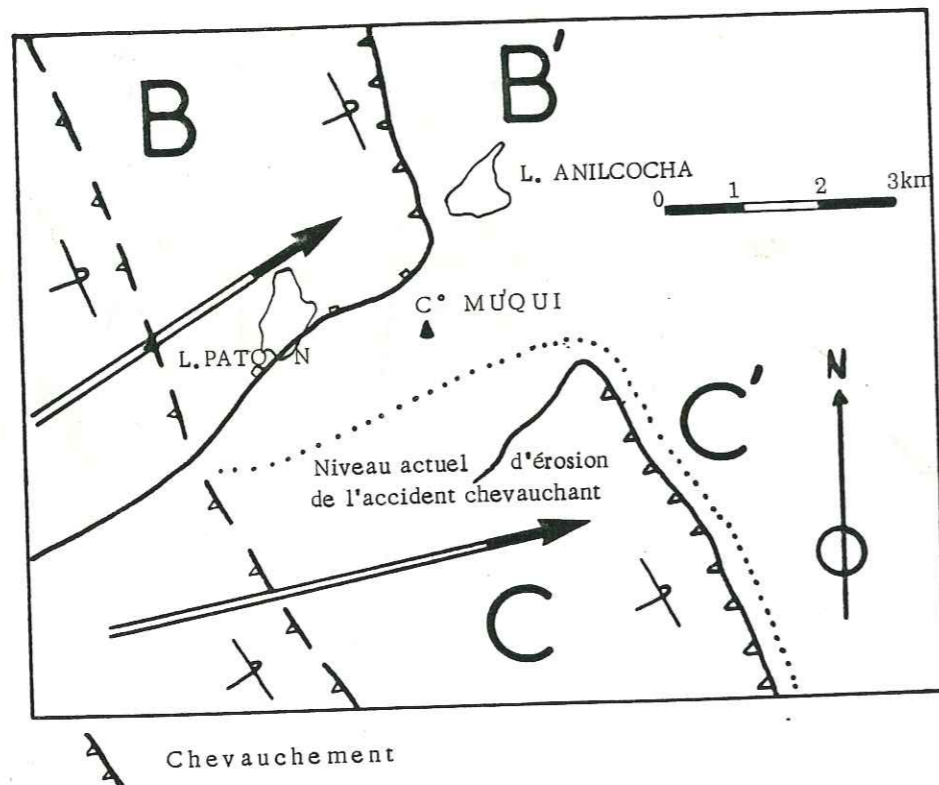


Fig. 51 Dessin tectonique schématisant le déroulement probable de la mise en place des compartiments B et C sur les compartiments B' et C'. Cette interprétation peut expliquer l'absence de la série inverse du Crétacé supérieur sur le C° Muqui.

2.3.1. Compartiment C - Coupe 13 - Fig.47

Un anticlinal et un synclinal asymétrique (Fig. 47), perturbés par des failles inverses, constituent le bâti de ce compartiment ; l'ensemble est cisailé par des failles décrochantes. Le chevauchement limitrophe entre les deux compartiments C-C' est plus raide en surface que les accidents plats de la zone "imbriquée" C' (coupe 16, fig. 48). Il s'agit probablement d'une rampe qui doit représenter une faille listrique inverse, satellite d'un des chevauchements majeurs de la zone imbriquée.

2.3.2. Compartiment C'

Sur le schéma structural (Fig. 35), on peut caractériser d'Ouest en Est trois familles de chevauchements qui sont :

- des écailles de calcaire Jumasha (membre supérieur - coupe 16 Fig. 48), arrachées au flanc inverse du synclinal couché du C° Muqui par la mise en place de l'épaisse série inverse calcaire d'âge crétacé supérieur des C° Lulicocha et Rumi Cruz ; de plus, dans le fond du vallon Jachacancha, une petite écaille appartenant à l'unité C est coincée sous le chevauchement limitrophe (Fig. 47, coupe 13) ;
- la portée du chevauchement φ_1 (fig.48, coupe 15 et 50 coupe 7) diminue vers le SE puis s'estompe dans le compartiment D' ;
- l'absence de l'imposante série inverse Jumasha sur le C° Muqui pose un problème ; ou bien l'érosion l'a enlevée, ou bien la série renversée s'est séparée en deux compartiments qui ont été transportés tectoniquement l'un vers le NE, l'autre vers l'Est, lors de la mise en place (Fig. 51) ; cet accident plat φ_1 développe une schistosité NW-SE entretenue par le chevauchement φ_2 . Ainsi dans ce secteur, la ceinture schisteuse est large de deux kilomètres environ et affecte les marno-calcaires de la formation Célendin.

Des chevauchements, φ_2 , φ_3 plats au Sud d'Anilcocha (Fig.35) s'inclinent en failles listriques inverses au front (Panorama du C° Shashima - Fig. 48, coupe 16). Le chevauchement φ_2 , plat à Anilcocha possède une forme concave vers le haut au front, et lorsqu'on se dirige vers le SE, l'accident se redresse progressivement prenant une forme concave vers le bas ; il atteint 70° au Sud de Suero Cocha sur le C° Ashcac puis la verticale (?) au lac Conchamarca.

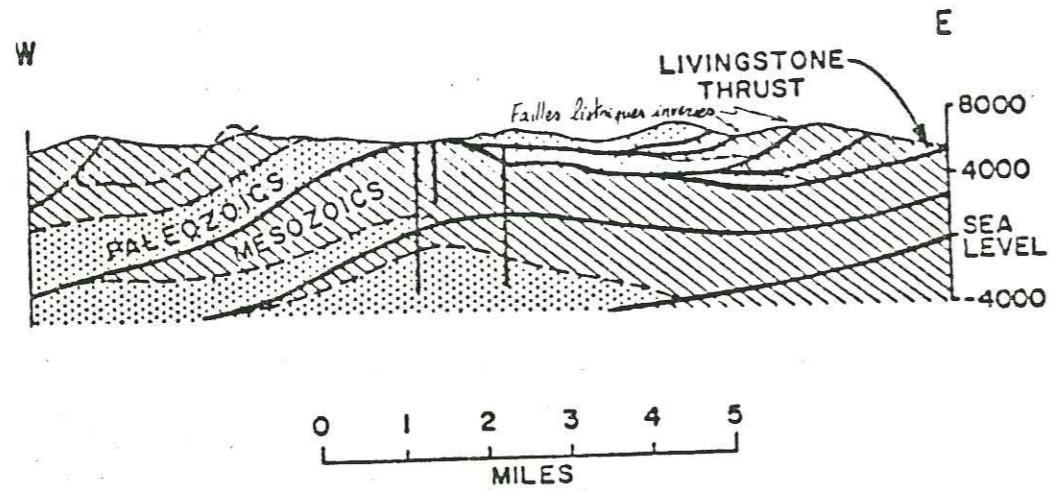


Fig. 49A Cross-section through the Savanna Creek gas field, Alberta, showing a folded sheet thrust and folded imbricates. Note the coaxial relationship between the fold in the Livingstone thrust plane and the underlying structure (after J. C. Scott, 1953 with permission of the American Association of Petroleum Geologists). in C.D.A. DAHLSTROM (1970)

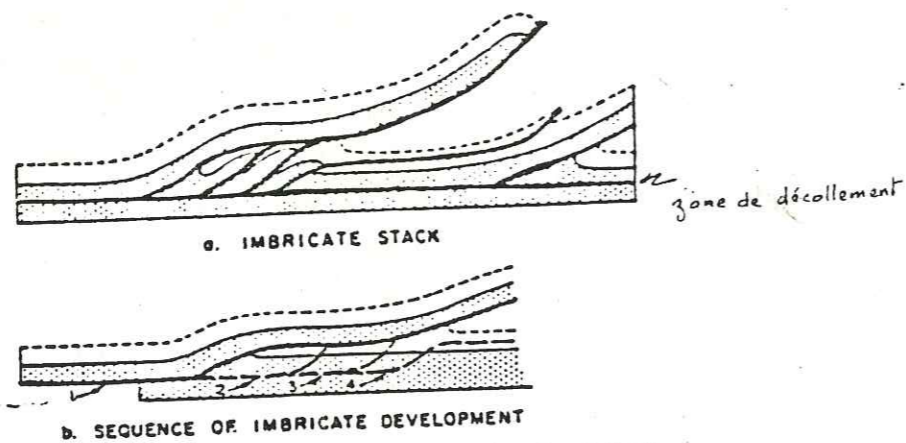


Fig 49B Imbrication at the trailing edge of a thrust sheet.

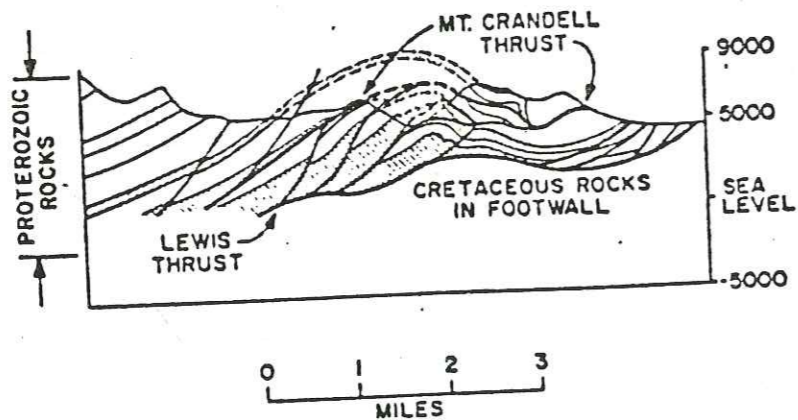


Fig. 49C. Cross-section of the Lewis-Mount Crandell thrust zone at Waterton Lakes, Alberta (after Douglas, 1952). in C.D.A. DAHLSTROM (1970)

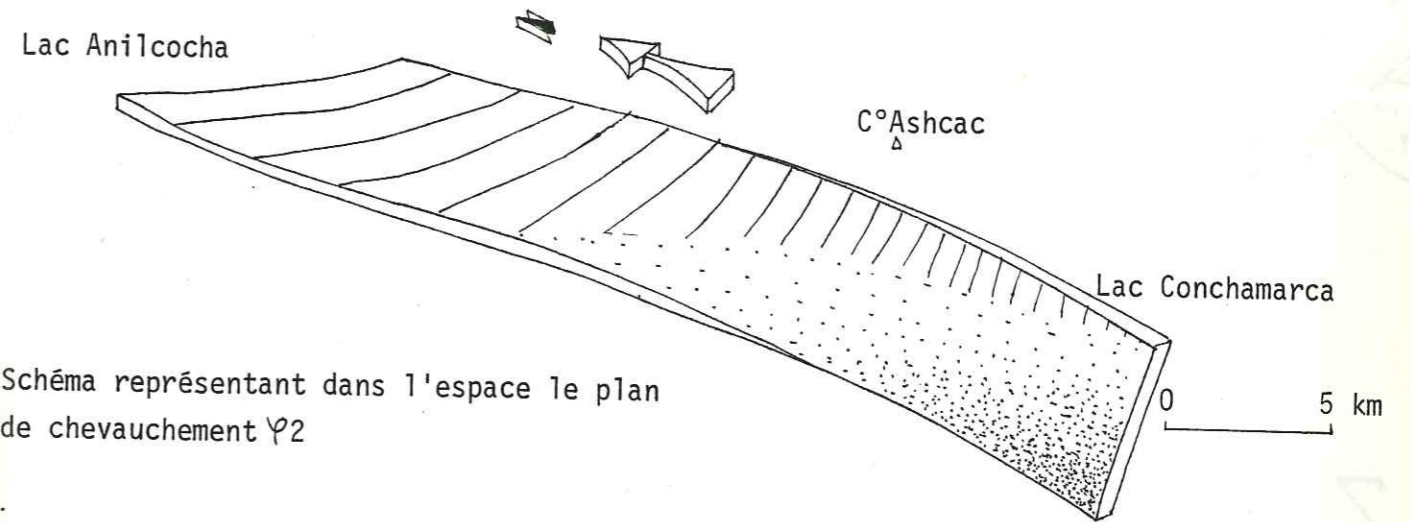
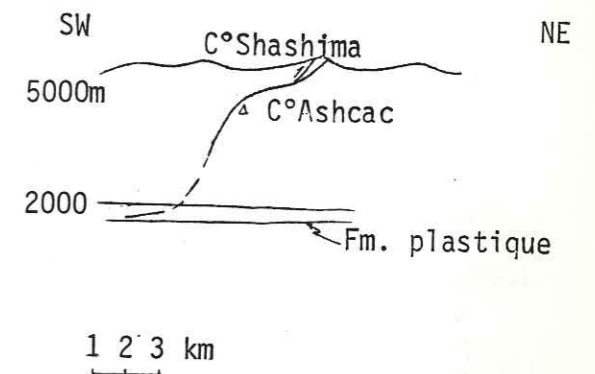


Schéma représentant dans l'espace le plan de chevauchement Ψ_2

En coupe projetée sur un plan SW-NE, on obtient la géométrie suivante pour l'accident Ψ_2 . L'accident peut se raccorder en profondeur à un des niveaux de décollement :

- soit les schistes charbonneux de la formation Oyon (fini-jurassique) ;
- soit les schistes bitumineux de la formation Pariatambo (fin de l'Albien moyen).



Cet accident Ψ_2 chevauche un anticlinal ouvert d'axe N 070 à N 080, ce qui implique un raccourcissement NNW-SSE antérieur à une compression EW. Finalement, cette unité est intéressante pour la forme des chevauchements, la quantité de raccourcissement et la chronologie relative des phases NS et EW.

Les structures de failles listiques inverses imbriquées et de rampes tectoniques, sont comparables aux accidents décrits par C.D.A. DAHLSTROM (1970) dans les Montagnes Rocheuses du Canada (Fig.49A,B,C.)

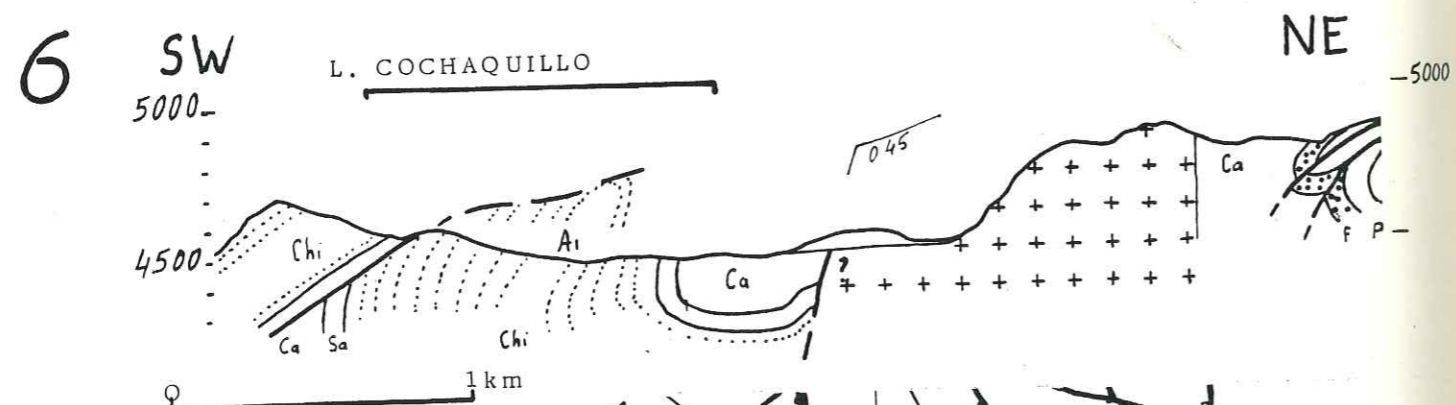
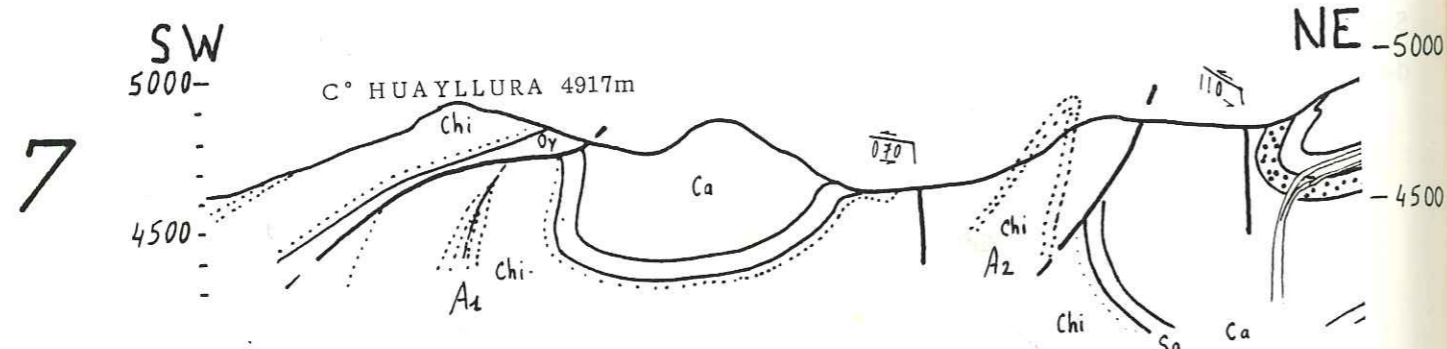
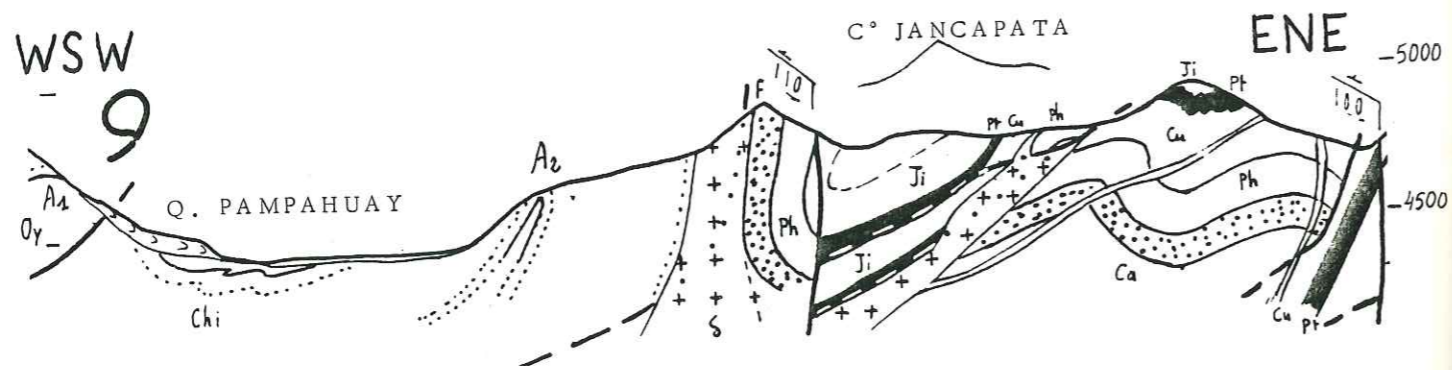
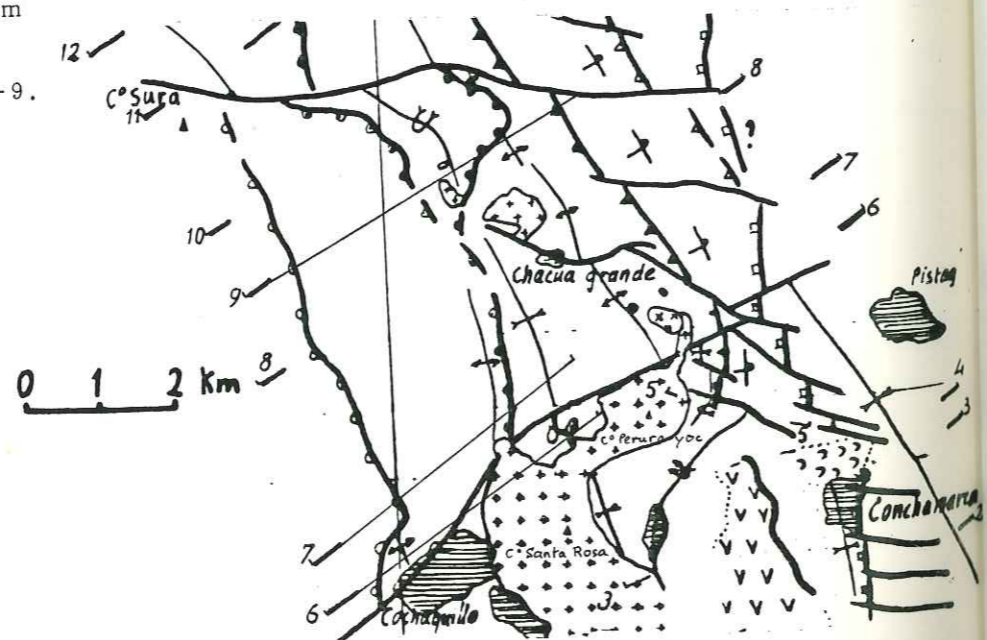


Fig. 50 Détails des coupes 6-7-9.

Dessin d'après photographie

A Anticlinal



2.4. UNITE DD'

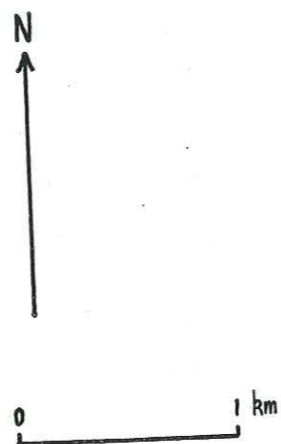
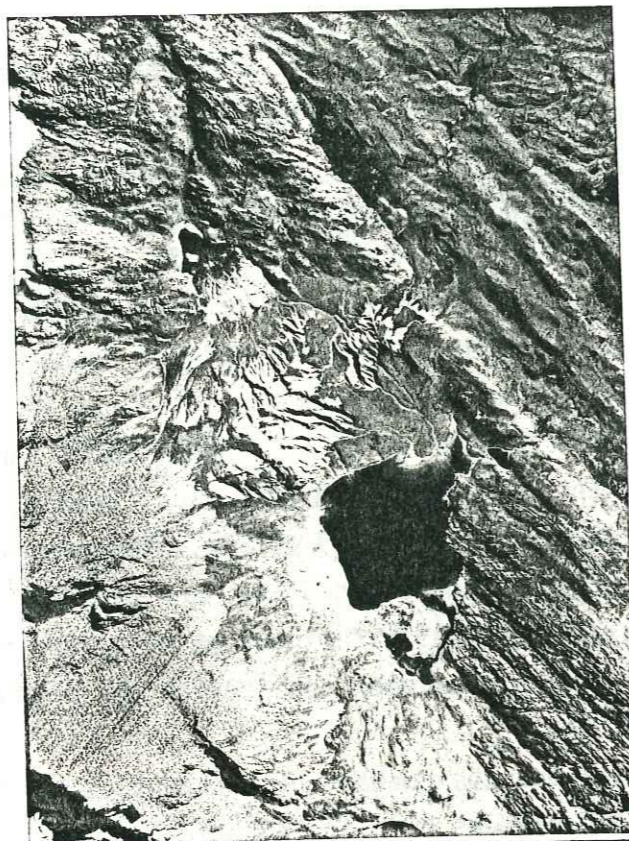
Ici l'amortissement des chevauchements dans D' semble compensé par l'apparition de structures cisailantes dans D. On observe d'Ouest en Est :

- un anticlinal "A1" dans les quartzites Chimu, décapité par un chevauchement plus tardif (coupe 6 et 7, fig. 50);
- un anticlinal "A2" affectant la formation Chimu et montant par l'intermédiaire d'une faille inverse sur le synclinal couché suivant; cette faille existait avant son jeu inverse car son tracé est légèrement oblique à l'axe de l'anticlinal A2 ; en effet, à l'Ouest du C° Jancapata, elle affecte seulement le flanc long du pli, faisant ainsi apparaître les charbons de la formation Oyon (Fig. 50 coupe 9 et Fig. 37b coupe 10).
- sous le synclinal couché Jancapata, une écaïlle provoque le redoublement de la série des schistes bitumineux et calcaires de l'Albien supérieur ; les structures sont partiellement oblitérées par d'importants sills ou plugs microdioritiques.

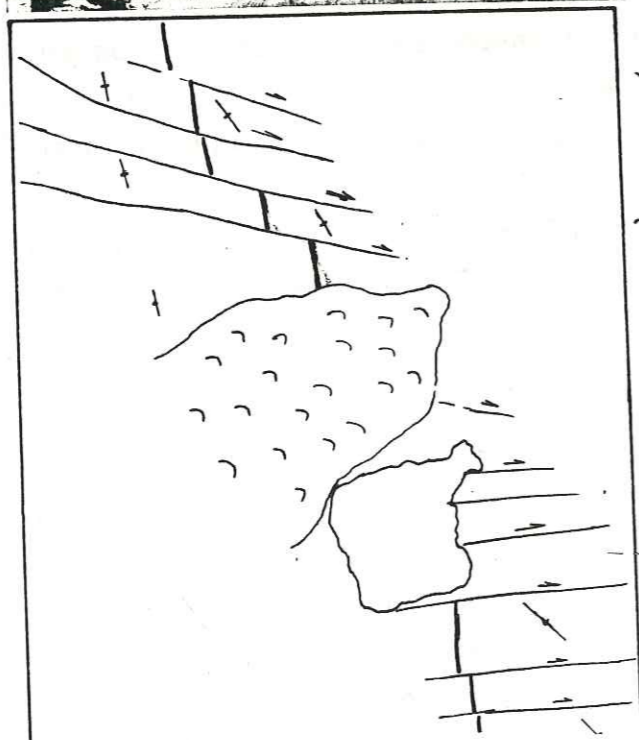
- les plis suivants chevauchent par un contact raide (chevauchement limitrophe) le compartiment D'. Finalement, malgré les intrusifs et les accidents décrochants transverses aux structures, on peut voir que l'unité DD' est caractérisée par des plis asymétriques ou couchés vers l'ENE, cisailés par des failles chevauchantes de flanc arrière (back limb trust) ou avant (fore limb trust). L'anticlinal "décapité" par un chevauchement au Nord du lac Cochaquillo démontre que la tectonique tangentielle, donnant les cisaillements majeurs, est polyphasée.




2.5. UNITE E

Les structures sont partiellement masquées par un important magmatisme où les corps hypoabyssaux des C° Santa Rosa, Perurayoc (Fig.35) jalonnent un accident satellite de la faille transverse majeure Cochaquillo. Des coulées à blocs, situées un kilomètre à l'Ouest du lac Conchamarca, oblitèrent les structures. Ce matériel volcanique s'appuie côte E sur une ancienne faille majeure pentée 35 à 50°W qui n'a probablement pas joué depuis.



PHOTOGRAPHIE N° 2



-  Failles décrochantes
-  Accident majeur antérieur aux failles décrochantes.
-  Glissement de terrain

Photographie aérienne n° 15366 montrant le glissement de terrain lié au retrait des grands glaciers quaternaires (NW CONCHAMARCA) et les orientations des couches N140 à l'Est, N170 à l'Ouest de part et d'autre d'un accident majeur orienté NS mais cisailé par des failles décrochantes N₁

Cet accident correspond vraisemblablement au chevauchement limitrophe NNW-SSE décrit dans les autres unités.

Du côté E le demi synclinal Conchamarca bute contre un accident subméridien raide penté W. Ce dernier correspond probablement à la continuation méridionale du chevauchement vers l'E, noté Ψ_3 (Fig. 36); de plus, cette faille possède des crochons ayant des pendages axiaux subverticaux, à jeu sénestre, en relation probable avec une compression NNW-SSE. Cet accident est remarquable en photo aérienne (photo 2); les couches compétentes de calcaire sont verticales des deux côtés mais ont deux directions différentes, N 170 pour le côté Ouest et N 140 pour le côté Est; une faille majeure limite donc les deux compartiments.

Au Nord du lac Conchamarca, des terrains marneux plus tendres affleurent; ce sont des alternances de marnes blanches et rouges qui caractérisent le sommet de la formation Célendin; leur position structurale est étonnante puisqu'il n'existe à leur base ni discordance, ni chevauchement. Il semble logique d'en faire un vieux glissement de terrain (coupe 4, Fig. 53) lié au retrait des glaciers; cette hypothèse est appuyée par la diversité des directions et surtout des inclinaisons de pendage.

Les plis majeurs et les chevauchements de la zone de Conchamarca ont du apparaître lors de phases compressives SW-NE. La torsion des axes de pli à proximité du C° Perurayoc, où ils passent d'une direction NS à une direction NE-SW, est liée soit à l'accident transformant Cochaquillo, soit à une compression NNW-SSE qui a donné les crochons senestres à axes verticaux de la faille Conchamarca. Le cisaillement sénestre, par de nombreuses failles verticales orientées WNW-ESE ou EW des calcaires Jumasha est plus tardif, (photo 2).

3. ROLE ET COMPORTEMENT DES FAILLES MANCACUTA PATON SURA ET COCHAQUILLO (Fig. 35)

La zone cartographiée est subdivisée en cinq unités par quatre failles majeures qui transforment les structures tectoniques du moment où l'anticlinal d'un compartiment est remplacé par un chevauchement dans l'autre. Elles sont donc contemporaines des premières phases andines ou même antérieures.

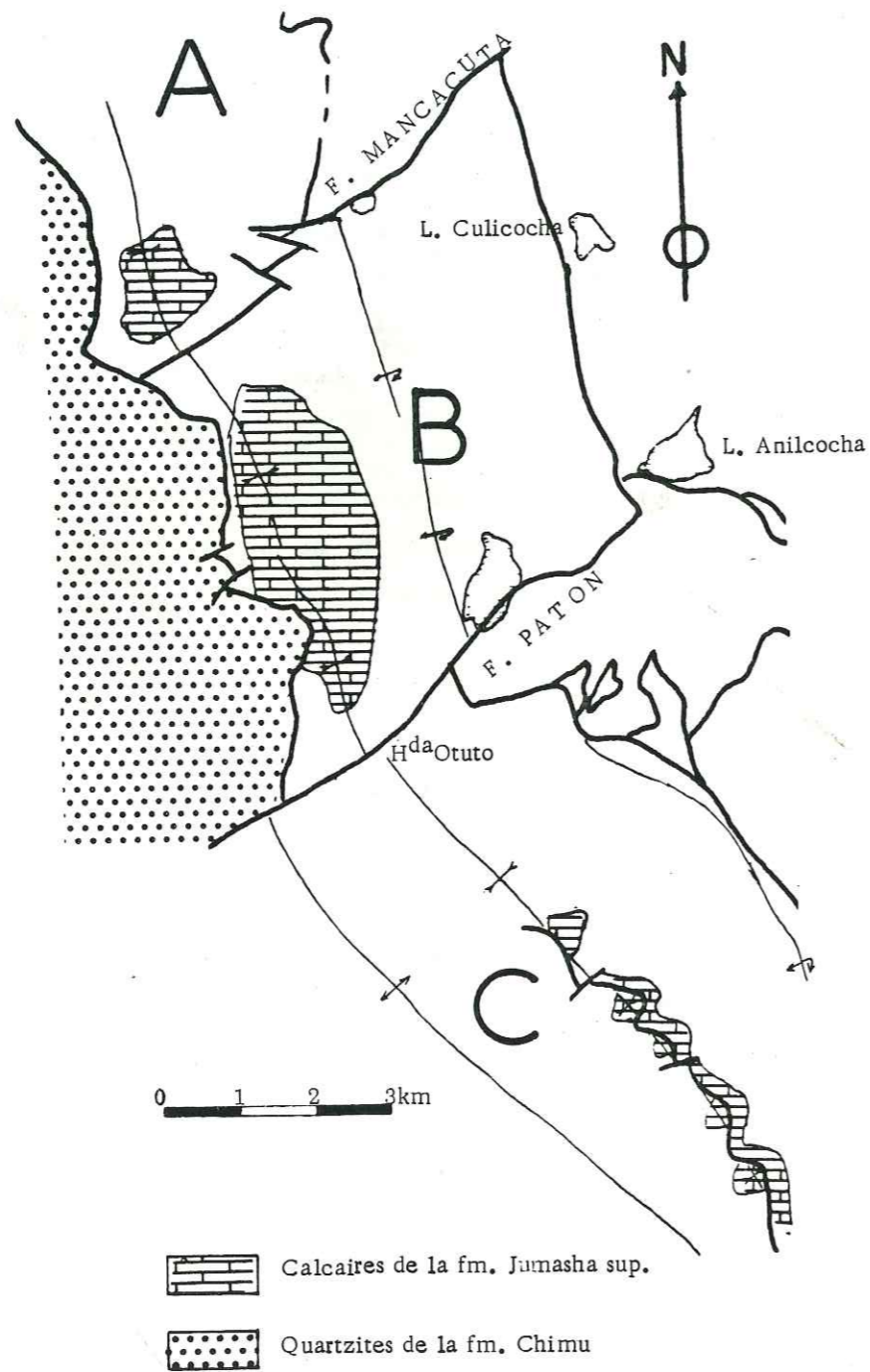


Fig. 52 Affaissement du compartiment B par rapport aux compartiments A et C, mis en évidence par une surface d'affleurement plus importante des calcaires Jumasha inf. dans le compartiment B (ces calcaires se localisent à peu près à la même altitude).

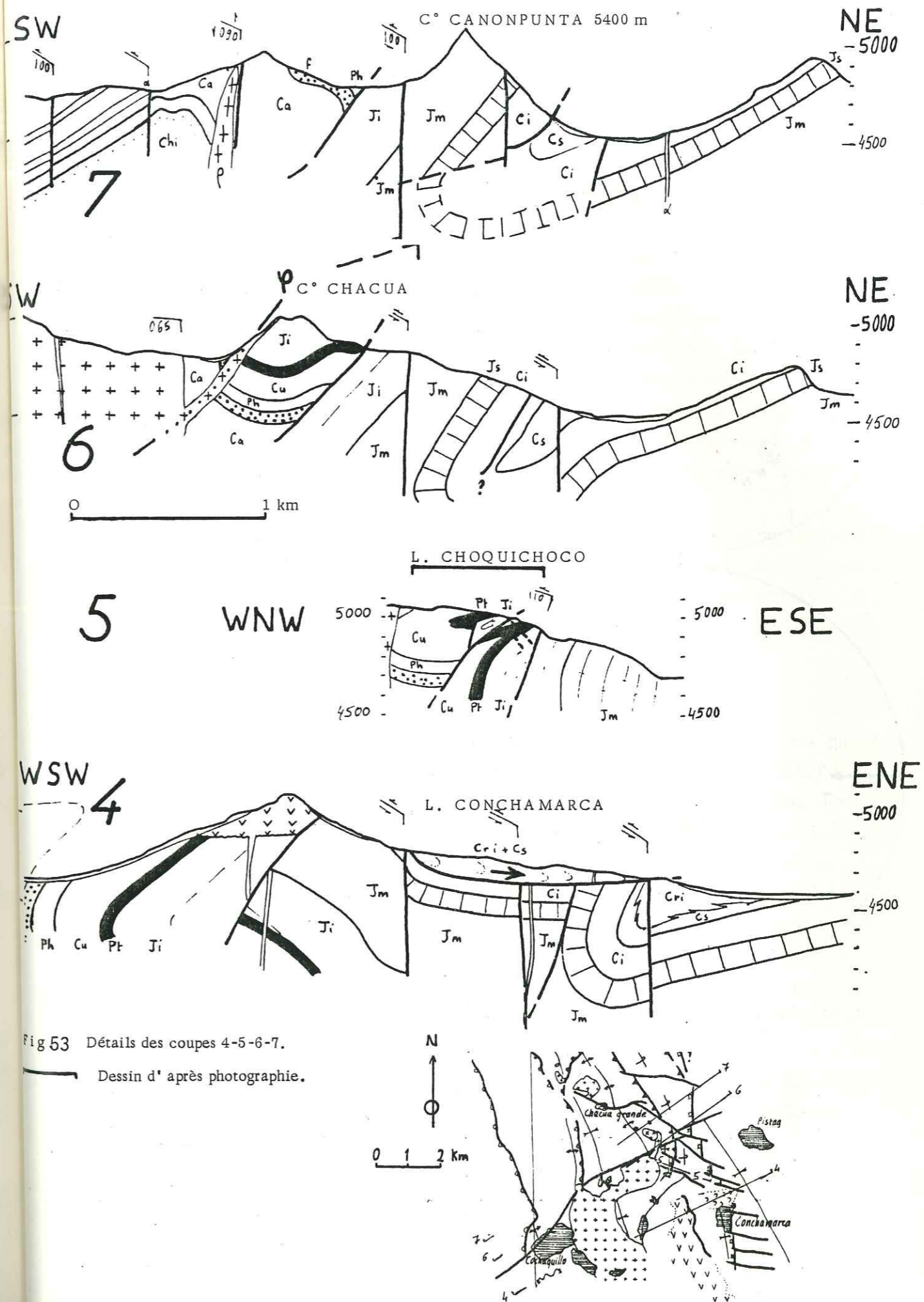


Fig 53 Détails des coupes 4-5-6-7.
Dessin d'après photographie.

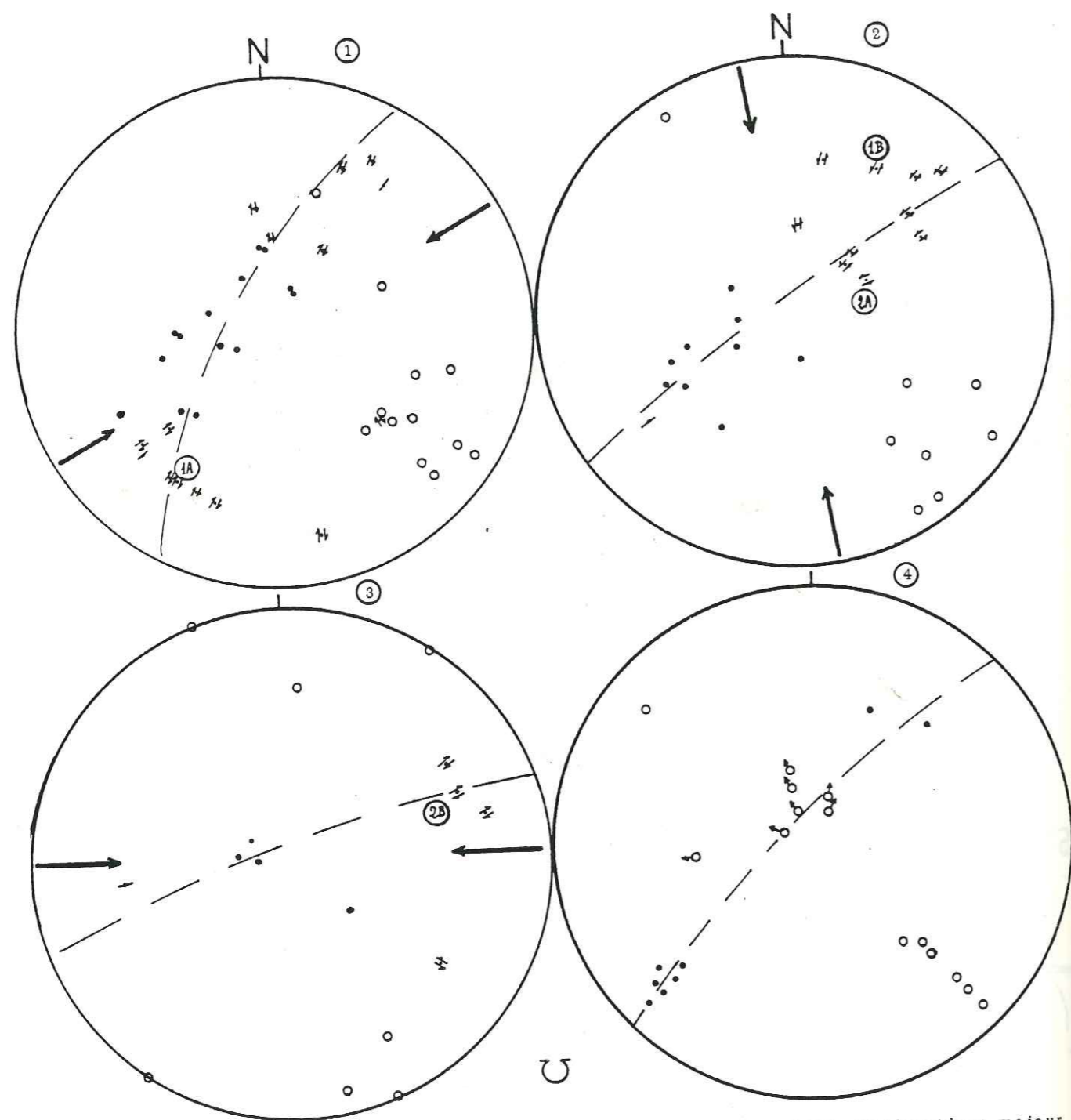


Fig. 54 Stéréogramme de Wulff (hémishère inférieure) des miroirs de faille de l'accident majeur Paton. Les miroirs sont classés par ordre chronologique pour les failles cisailantes.

- ① Failles décrochantes dextres. La strie 1A est antérieure à la strie 2A.
- ② Failles décrochantes sénestres. La strie 2A est antérieure à la strie 2B.
- ③ Failles décrochantes dextres, plus une faille conjuguée sénestre. Le raccourcissement serait E-W.

Les axes de plis sont peu déplacés par ces accidents transverses. La composante verticale par contre, n'est pas négligeable; il suffit de comparer les niveaux d'érosion dans le synclinal occidental (compartiments ABCD) qui est descendu de plusieurs centaines de mètres entre les failles Mancacuta et Paton (Fig. 52).

. La faille Mancacuta cachetée au NE par les séries volcaniques fini-miocènes et recouvert au SE par le chevauchement occidental, ne peut pas avoir joué lors de la phase EW postérieure au volcanisme (Quechua3). Son dernier jeu enregistré sur un miroir de faille sénestre, à l'exutoire du lac Mancacuta, est lié à un raccourcissement subméridien. La charnière de l'anticlinal Gaugau du compartiment B' aboutissant à la faille Mancacuta est remplacée dans l'unité A par un accident chevauchant entraînant des écaïlles à sa base. Cette faille a donc "transformé" une charnière anticlinale en accident chevauchant.

. La faille Paton, verticale à Otuto, s'incline progressivement pour atteindre un pendage de 40° NW à son extrémité NE; son histoire apparaît sur les canevas de WULFF (Fig. 54) par la chronologie des déplacements :

- 1er dextre ;
- 2ème sénestre ;
- 3ème dextre.

Les trois jeux décrochants sont liés respectivement aux phases de compression SW-NE, NS et EW, décrites dans la bibliographie (F. MEGARD, 1973, J.P. SOULAS, 1977) et dévoilent ainsi la pérennité de cet accident dans la tectonique andine. Son dernier cisaillement dextre est lié au chevauchement du C° Cashe Cusmar sur un paléorelief. La distension donnant des failles normales à stries NS n'a pu être placée dans cette chronologie; elle est peut-être contemporaine de la mise en place des rhyolites qui jalonnent ce contact anormal.

. La faille Sura affleure mal mais son rôle transformant est net puisque de C à D on passe de un à trois accidents chevauchants: $\varphi_a \rightarrow \varphi_b, \varphi_c, \varphi_d$; (Fig. 35), sa composante décrochante sénestre est importante.

. La faille Cochaquillo, partiellement oblitérée par le corps hypoabyssal Santa Rosa, Perurayoc, possède des caractéristiques semblables à celles de la faille Mancacuta. Elles ont des directions similaires et la faille Cochaquillo est également décalée par une faille tardive sénestre de direction N 100 à Chacua Grande.

Enfin, ces accidents jouent un rôle majeur dans le style tectonique régional. Ils permettent l'individualité de chaque unité, sont présents dès la première compression d'âge andin et enregistrent les phases postérieures. Ces failles sont superficielles; elles déchirent la couverture mais se superposent probablement sur d'anciens accidents de socle plus profonds; le caractère superficiel s'observe avec la faille Paton qui est orientée N 050 et ne se prolonge pas vers le NE à proximité du lac Anilcocha.

4. MESURES DE RACCOURCISSEMENT DANS LA HAUTE CORDILLERE OCCIDENTALE

Pour tenter de connaître la largeur initiale de la zone cartographiée avant plissement, nous avons mesuré la longueur des couches entre des points repères. Ceux-ci ont été choisis aux extrémités des coupes géologiques et sont représentés, coté W, par le contact penté des formations Oyon et Chimu, coté E, par la flexure de l'anticlinal de Cachipampa et sa prolongation SE jusqu'à la coupe 15. Les coupes 1 à 14 auront un autre repère matérialisé par l'affleurement du dernier chevauchement oriental puisque la carte n'est pas assez grande pour garder le repère E des coupes 15 à 31.

Les formations sédimentaires mesurées à la roulette graduée (curvimètre) sont :

- les calcaires Santa pour les compartiments ABCDE car on les rencontre dans toutes les coupes.
- les calcaires du Jumasha supérieur pour les compartiments A'B'C'D'E .

Ainsi les valeurs peuvent être comparées à la distance actuelle séparant les repères fixes dans chaque coupe. Lorsque la formation est érodée, le tracé de la forme antérieure sur les coupes permet les mesures ; les résultats obtenus donnent les raccourcissements minimums mesurés aussi objectivement que possible sur les dites coupes.

Les raccourcissements mesurés varient beaucoup mais la distance entre les deux points repères, en position actuelle, fluctue très peu ; il s'agit donc d'une sous-estimation importante des valeurs les plus faibles par rapport aux plus fortes. D'autre part, les conditions d'affleurement de la coupe 15 (Fig. 37A) étant excellentes, j'estime que dans cette zone, le raccourcissement minimum mesuré sur cette coupe peut être pris comme

type ; il est de 56 %. Le manque apparent de raccourcissement sur les autres coupes est dû à une forte sous estimation de l'ampleur de la portée des chevauchements. L'exemple le plus frappant concerne la comparaison des coupes 19 et 15 (Fig. 37A); dans la mesure où il manque 12 kilomètres pour la coupe 15, on doit cisailier la base de la série inverse à l'aide d'un charriage de portée sensiblement égale ou bien à l'aide de plusieurs accidents plats limitant des écailles non affleurantes.

TABLEAU DES RACCOURCISSEMENTS MESURES DANS LES DIVERSES UNITES

Unité	Coupe	Longueur de la formation (km)	Distance actuelle entre les repères	Rapport	Raccourcissement minimum
A	25 complétée par 24	18	9,25	1,95	49 %
B	19 si la série inverse Jumasha n'est pas cisailée	15,8	10	1,58	37 %
C	15	27,38	11,88	2,30	56 %
D	9	15,13	7,38	2,05	51 %
D	7	14,88	8,38	1,78	44 %
E	4	11,5	8,13	1,41	41 %

5. DISCUSSION A PROPOS DES ACCIDENTS DE FAIBLE INCLINAISON DANS LA CORDILLERE OCCIDENTALE

Dans les zones "imbriquées" C'D', les chevauchements se terminent à l'affleurement en failles listriques inverses relativement raides. Le chevauchement central du compartiment C', qui débute à plat au lac Anilcocha, s'incline progressivement jusqu'au C° Aschac où son pendage atteint 70° Ouest. Il se prolonge probablement par la faille inverse Conchamarca proche de la verticale. La géométrie de cet accident montre un enracinement progressif lorsqu'on se dirige vers le SE qui peut correspondre à une rampe tectonique.

Dans le compartiment A sous le C° Milpo (coupe 28, Fig.38), l'accident chevauchant présente une rampe inclinée à 30° puis une zone plus plate ; on peut se demander s'il s'agit de décollements majeurs ou bien de chevauchements limités qui s'enracinent. Dans la première hypothèse (Fig 55), le niveau de décollement principal serait les schistes charbonneux de la formation Oyon. Le comportement mécanique de la couverture étant à peu

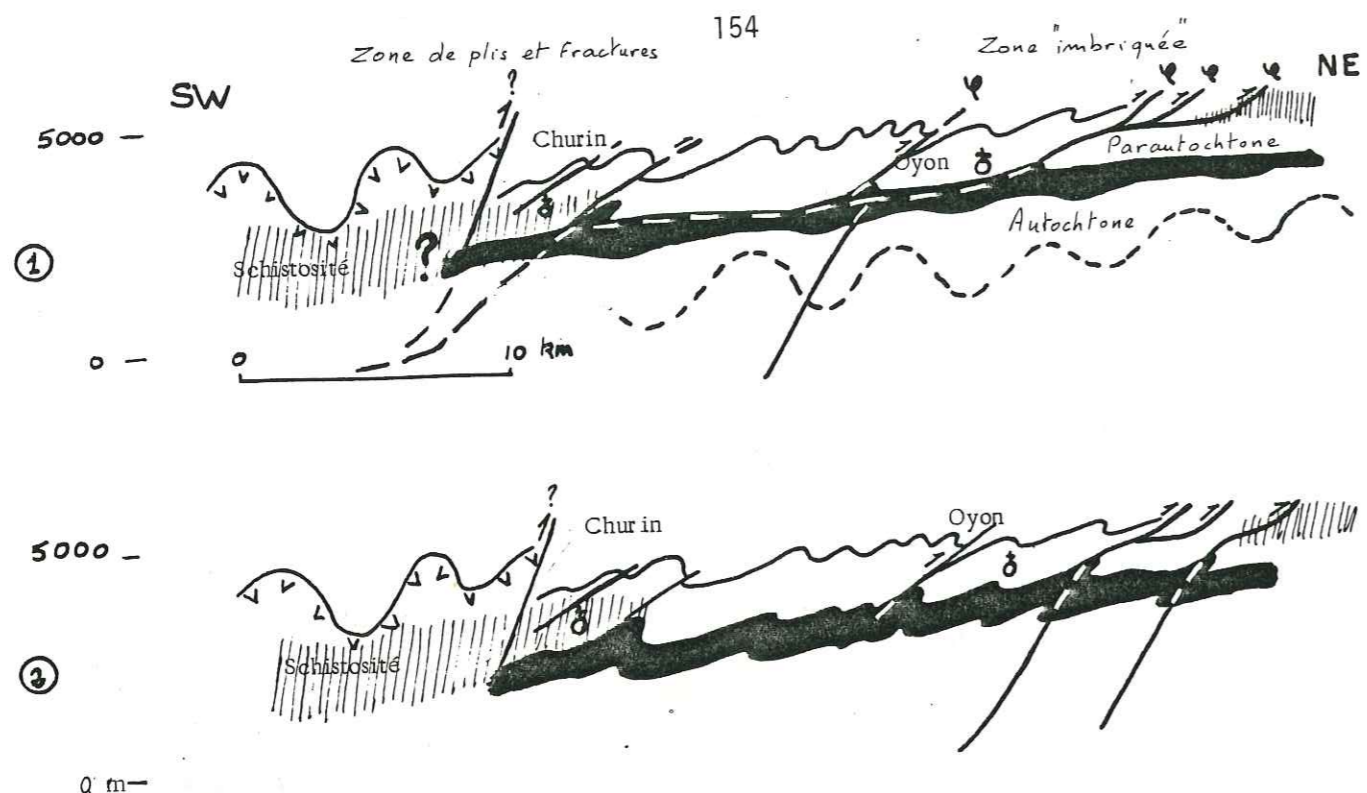


Fig. 55 Comportement des chevauchements majeurs en profondeur :

- ① La couverture Crétacé est décollée sur les charbons de la formation Oyon.
- ② Les chevauchements s'enracinant dans d'anciennes failles listriques normales de bordure de bassin.

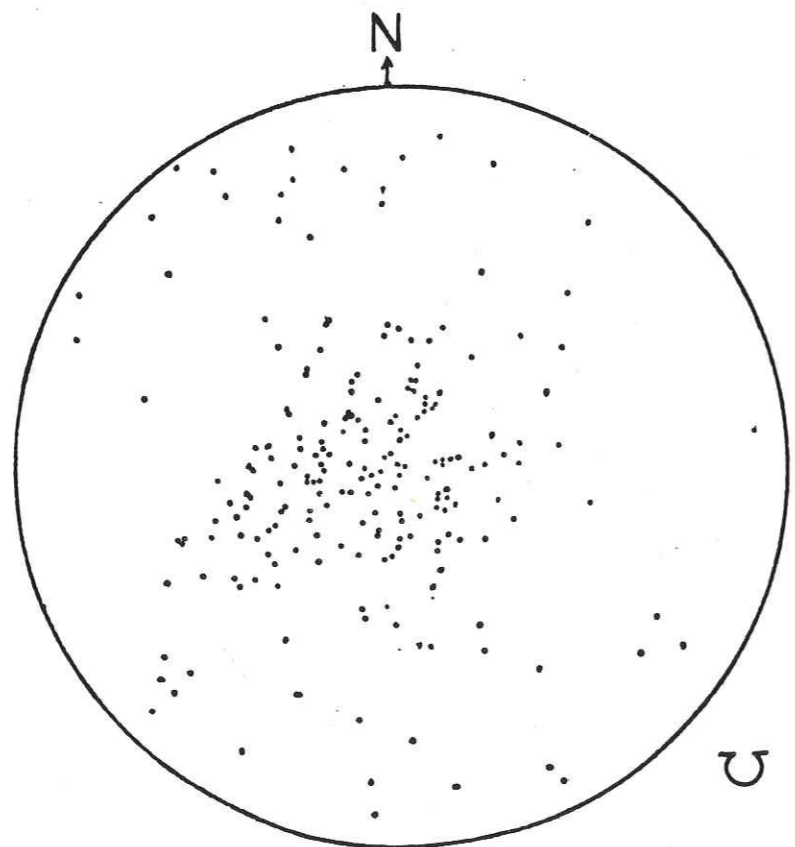


Fig. 56 Stéréogramme de Wulff faisant apparaître une répartition anarchique des pôles de plan de mouvement pour toutes les mesures de microtectonique réalisées.

près identique sur une trentaine de kilomètres plus à l'Ouest, on décolle donc l'ensemble jusqu'aux volcano détritiques Casma qui est moins ductile, plus épais et où se développe une schistosité. En profondeur entre les deux séries volcano-détritiques et sédimentaires, la présence d'une rampe tectonique est fort probable étant donné leurs comportements mécaniques très différents. Cet accident majeur, probable, matérialisant le chevauchement, correspond dans le secteur étudié, au chevauchement limitrophe au long duquel monte une masse de terrains plus profonds d'âge crétacé inférieur (ABCD); cette masse pousse et casse le Crétacé supérieur situé dans la zone "imbriquée" proprement dite A'B'C'D'. Finalement, la couverture Crétacé serait dysharmonique par rapport au Jurassique sous-jacent non affleurant; en effet, ce Jurassique n'apparaît jamais, même sous forme d'écaillés, dans la formation d'Oyon; on peut donc penser que son style tectonique est moins cassant.

Dans la deuxième hypothèse (Fig. 55 (2)), les chevauchements de la zone "imbriquée" restent solidaires de vieilles failles listriques normales de la bordure du bassin Crétacé de la Cordillère Occidentale, et ne se raccordent donc pas à une zone de décollements comme dans la première hypothèse.

Aucun forage profond a été réalisé, nous empêchant de trancher pour l'une ou l'autre hypothèse.

6. CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS TECTONIQUES

Une étude microtectonique globale a été tentée, mais la répartition anarchique des plans de mouvement sur le stéréogramme de WULFF interdit toute interprétation de portée générale (Fig. 56).

Les brèches tertiaires du compartiment B, permettent de discerner trois phases compressives subparallèles.

. Une phase SW-NE plisse, cisaille et fait émerger les structures qui, soumises à l'érosion, donnent naissance à des brèches continentales torrentielles qui reposent en discordance sur le substratum Crétacé plissé en synclinal.

. Une phase subparallèle à la précédente, amplifie les structures antérieures et plisse les brèches inférieures en synclinal d'axe N120 à N 130.




. Une phase EW crée le chevauchement épiglyptique occidental qui recouvre la brèche inférieure tout en fabriquant une brèche de pente au front. Le plissement de la série volcanique, dont le sommet est daté de 5.4 ± 1 M.a., est contemporain ainsi que de nombreux accidents verticaux conjugués. Une schistosité NS apparaît sous le chevauchement limitrophe. Les failles normales proches de EW et à stries NS sont probablement contemporaines de cette phase, du moment qu'une contrainte dans une direction se traduit par une différence $\sigma_1 - \sigma_3$ plus grande induisant une "distension" suivant σ_3

des structures locales telles que :

- le synclinal d'axe N 060-05°W à l'E du lac Anilcocha ;
- les plis NW-SE de l'unité E ;
- les décalages au long de failles sénestres affectant des

accidents majeurs N 020 à N 060 postérieurs à des jeux dextres associés à une compression SW-NE ;

- l'anticlinal ouvert de direction N 070 à N 080 situé à l'Ouest du lac Pomacocha (C') et chevauché par ρ_2 nous dévoilent une direction de compression comprise dans les cadrans NW-N antérieure aux raccourcissements E-W ou SW-NE. Une phase plioquaternaire, délimitée dans le même cadran que la précédente, cisaille le dyke rhyolitique qui recoupe la série volcanique N.

Age M.a.	Direction de raccourcissement	Phases compressives de la littérature
	Comprise dans le dièdre NW-SE;NS Environ EW 	Plioquaternaire J.P. SOULAS, 1978 Quechua III J.P. SOULAS, 1975
5.4 ± 1 9	Sommet de la série volcanique au nord de Uchucchacua Minéralisation régionale Comprise dans le dièdre NWSE;NS SW NE  SW NE 	Quechua II J.P. SOULAS, 1975 Quechua I F. MEGARD 1973 Inca G. STEINMANN, 1929

CHAPITRE 6 - CONCLUSIONS GENERALES

1. STRATIGRAPHIE

2. MAGMATISME ET MINERALISATION.

3. TECTONIQUE

4. OUVERTURE SUR D'AUTRES TRAVAUX

Au terme de ce mémoire, il convient de récapituler les principaux résultats et d'ouvrir la perspective sur d'autres recherches.

1. STRATIGRAPHIE

. Dans la vallée du Rio Huaura le matériel crétacé révèle de fortes et brusques variations latérales de faciès. Le groupe Casma essentiellement volcanique possède deux intercalations sédimentaires ; l'une à la base, calcareo-gréseuse à rudistes huîtres et foraminifères dont *Ammobaculites infracretacea* ou *subcretacea* (sous-unité Puente Colgante) Crétacé inf. *pro parte* et l'autre, au milieu du groupe qui serait l'équivalent latéral des formations Breas et Pariatambo (fm. Paccho Tingo, fin de l'Albien moy (?)).

. Dans la zone faîtière de la Cordillère Occidentale où les séries du Crétacé sont pour l'essentiel marines, le cycle mondial eustatique se retrouve avec des transgressions au Valanginien et à l'Albien, et la régression au Crétacé terminal.

. Dans cette zone faîtière, que nous avons cartographiée, la formation Jumasha (Albien supérieur à Turonien) se subdivise en trois membres séparés par des unités calcaréo-marneuses décamétriques à patine beige.

Membres	Agés	Fossiles	Equivalents latéraux probables dans le Nord du Pérou (L.R. RIVERA 1980).
Jumasha supérieur	Turonien <i>pro parte</i>	} <i>Coilopoceras</i> <i>Archaias</i> <i>perouvianella</i>	fm. Cajamarca
Jumasha moyen	Turonien <i>pro parte</i>		groupe Quilquinan
Jumasha inférieur	Turonien <i>pro parte</i> Cénomanién Albien supérieur	<i>Halimeda elliotti</i> (Turonien) <i>Merlingina Cretacea</i> (Cénomanién moy à sup)	fm. Yumagual

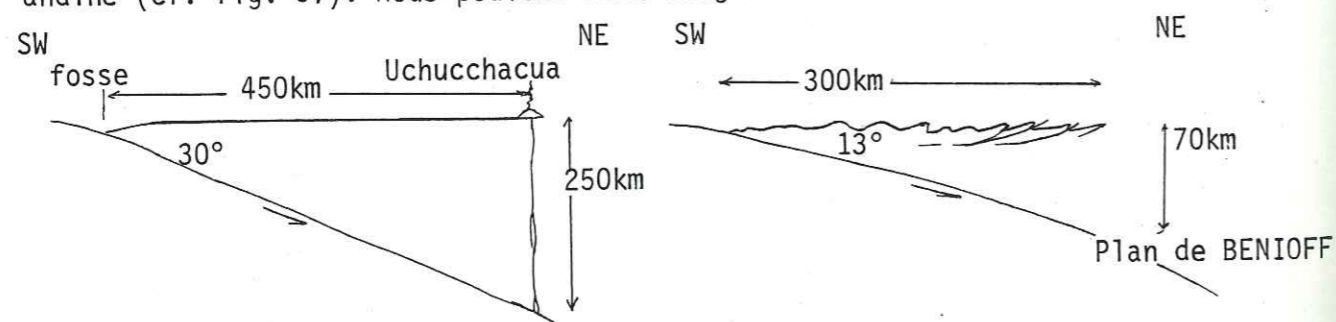
Le Coniacien débute donc avec la formation sous-jacente Célendin et le Pénéroplidé *Archaias perouvianella* apparaît au Turonien.

Les Couches rouges continentales, du sommet de la série stratigraphique sont scindées en deux membres, l'un à la base plutôt marneux, l'autre au sommet (?) terrigène. Le membre inférieur s'entremêle avec les marnes blanches du Célendin supérieur.

L'étude des remplissages karstiques d'âge relatif différents, au cours de la tectogenèse andine a permis de préciser la chronologie de certains événements géologiques comme la présence d'une phase tectonique (Quechua 3) entre les épisodes magmatiques intermédiaires et acides (fig. 18).

2. MAGMATISME ET MINERALISATIONS

Dans la zone "imbriquée" on a découvert un dyke de syénite caractérisé par un chimisme similaire aux banakites des séries shoshonitiques miocènes de l'altiplano du Pérou méridional ; la teneur en Ba (850 ppm) de cette roche est trop faible pour provenir de la fusion partielle du Manteau (P.E. BAKER). Sa position structurale actuelle est anormale puisque cet intrusif est trop proche de la fosse océanique ; il faut considérer que cette roche s'est probablement mise en place antérieurement au plissement et sa distance à la fosse s'est vue réduite de 33 % au moins par raccourcissement de la couverture et du socle lors de la tectogenèse andine (cf. fig. 57). Nous pouvons donc imaginer le modèle suivant :



Avant plissement

Après plissement

pour expliquer la présence de cette banakite éventuellement liée à une série shoshonitique.

Le magmatisme mésozoïque épais de plus de 5000 m dans la moyenne vallée du rio Huaura, est absent dans la haute Cordillère Occidentale entre 10°30' et 10°50' S à part ce seul dyke de syénite appartenant probablement à une série shoshonitique. Trois pulsions magmatiques tertiaires (25;10 et 6 M.a.) se traduisent par des phénomènes plutoniques et éruptifs. Les magmas mis en place ou leur équivalent effusif, accompagnés d'un faible volume rhyolitique, sont de composition dioritique et granodioritique. La pétrologie et la géochimie des éléments majeurs confirment l'appartenance de ces divers épisodes magmatiques tertiaires aux lignées calco-alcalines.

Sur les diagrammes, deux lignées se séparent :

- La plus ancienne, formée de sills et dykes occupe essentiellement le flanc est du synclinal entre les vallons Jachacancha et Pampahuay (fig. 22). Les roches sont des andésites et des dacites à grenats rouges d'origine profonde.

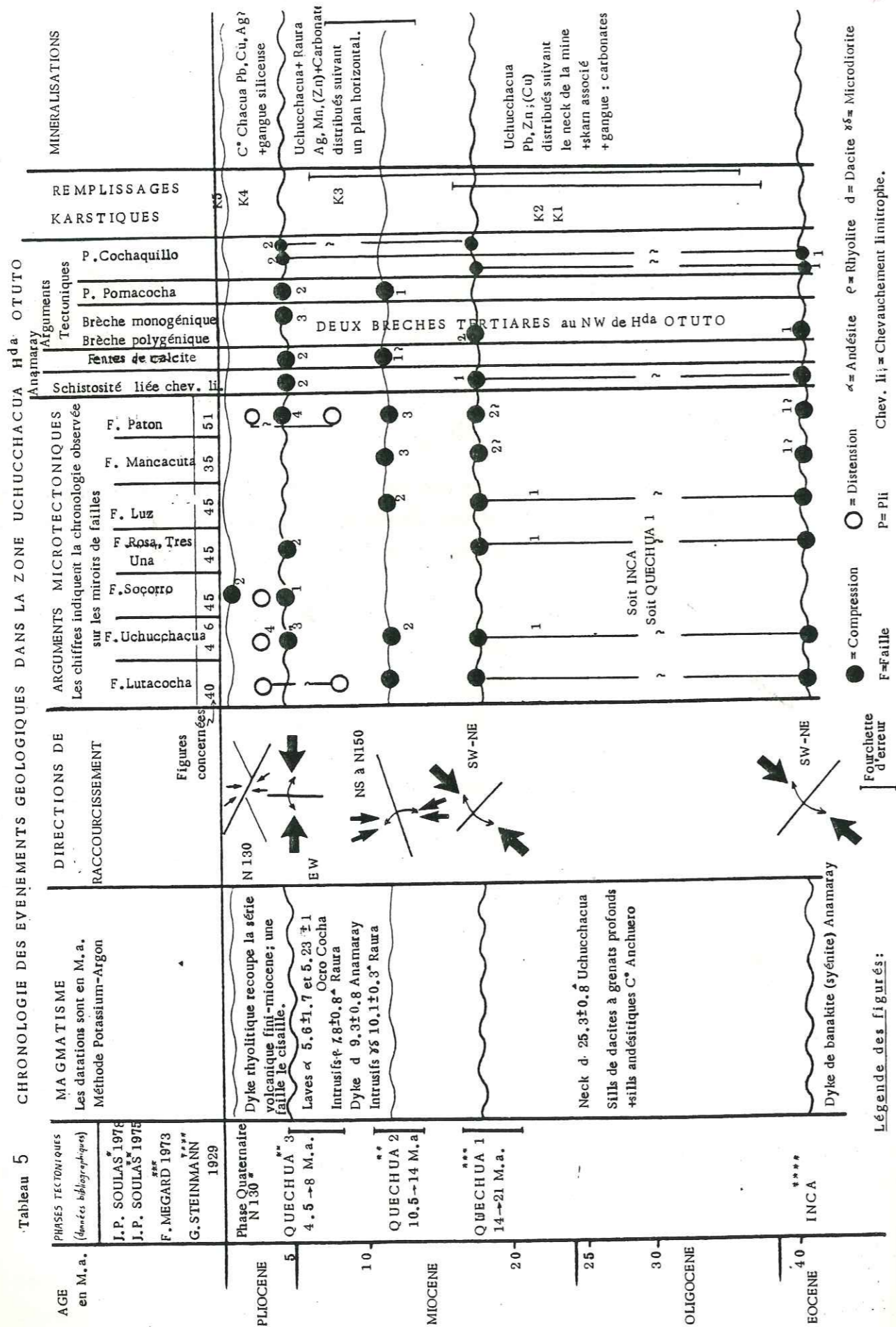
- La plus récente donne des laves datées dans le sommet de la série de 5.4 ± 1 Ma, et des coulées à blocs sur 500 m d'épaisseur (au nord de la mine Uchucchacua). Le matériel est essentiellement andésitique et dacitique mis à part un épisode ignimbritique à la base et deux dykes rhyolitiques qui recoupent cette série.

À la suite de chaque épisode magmatique, les cortèges de minéralisations se sont mis en place :

- à Uchucchacua, avec l'intrusif dacitique de 25.3 Ma (D.C. NOBLE 1980) qui développe un skarn et probablement l'épisode minéralisateur à Pb Zn Cu (C. ALPERS 1980) ;

- dans toute la région minière vers 9 MA (D.C. NOBLE 1980) avec l'épisode Ag Mn Zn (C. ALPERS 1980) pour la veine Luz de Uchucchacua ;

- à proximité du C° Chacua (carte Rapaz), où le minerai possède une gangue quartzifère différente des précédentes qui étaient carbonatées. Une altération potassique régionale affecte tout particulièrement les rhyolites occupant des accidents majeurs.



3. TECTONIQUE

Les données classiques indiquent l'existence dans les Andes du Pérou de plusieurs phases compressives à savoir :

- la phase péruvienne, fini-crétacée, qui ne se manifeste dans la future Cordillère Occidentale que par un changement de régime de sédimentation;
- la phase Inca orientée NWSE datée d'environ 40 Ma (G. STEINMANN 1929, F. MEGARD 1973);
- la phase Quechua 1 de même orientation que la précédente et comprise entre 21 et 14 Ma (F. MEGARD 1973, J.P. SOULAS 1977);
- la phase Quechua 2 subméridienne, est comprise entre 10.5 et 14 Ma (J.P. SOULAS 1977);
- la phase Quechua 3 orientée EW est comprise entre 4.5 et 8 Ma (J.P. SOULAS 1977);
- la phase quaternaire N130 aux environs de 2 Ma (J.P. SOULAS 1978).

On retrouve les cinq phases dans le secteur étudié grâce à des observations locales. Au NW de l'Hacienda Otuto, deux brèches tertiaires d'âge différent discordantes sur leur substratum, permettent de séparer les trois phases : NW-SE (Inca, Quechua 1) et EW (Quechua 3). Il est difficile de dissocier les deux phases subméridiennes qui apparaissent en de nombreux points du secteur cartographié, mais la phase Quechua 2 semble se différencier par un pli décamétrique d'axe NW-SE, recouvert par un chevauchement vers l'E(?) ; la phase quaternaire ne se distingue que par une faille qui affecte un dyke rhyolitique, recoupant la série volcanique fini-miocène au N de Uchucchacua (Voir tableau 5).

Les effets respectifs des différentes phases compressives sont difficilement séparables à part ceux de la phase principale Inca qui fait émerger et plisse la chaîne. La phase Quechua 3 possède une intensité relativement importante puisqu'elle accentue le "chevauchement occidental" et plisse la série volcanique datée en son sommet de 5.4 \pm 1 Ma.

L'activité ignée peut être reliée aux phases en question de la façon suivante : la série volcanique fini-miocène est plissée en synclinal d'axe NS par la phase Quechua 3 qui est plus jeune que 5.4 Ma dans le secteur étudié ; un dyke rhyolitique, évoqué précédemment, qui recoupe cette série s'est mis en place après le plissement ; il est lui-même cisailé dextre par une faille décrochante N130 liée à une phase compressive subméridienne plio-quadernaire. Un épisode distensif abaisse du côté E, la série volcanique par l'intermédiaire d'une faille normale.

Les minéralisations liées au magmatisme, ont enregistré certaines phases tectoniques : un premier épisode minéralisateur PbZnCu (C. ALPERS 1980) accompagne l'intrusif dacitique de la mine Uchucchacua, daté de 25.3 ± 0.8 Ma (D.C. NOBLE 1980) avec son skarn. Les phases Quechua 1 et/ou 2 bréchifient ce matériel intrusif. Puis, vraisemblablement au cours de la pulsion magmatique régionale, vers 9 Ma, se met en place en distension un deuxième cortège minéralisé à Ag Mn Zn qui est lui-même affecté par la phase Quechua 3.

3.1. STYLES TECTONIQUES DE LA CORDILLERE OCCIDENTALE DEPUIS LE BATHOLITE COTIER (voir fig. 6).

Dans le bassin crétacé ouest-péruvien, le matériel change de faciès lorsqu'on se dirige de la côte vers la Cordillère Orientale (géanticlinal du Marañon). Des séries volcaniques (groupe Casma) épaisses de 6000 m et massives passent latéralement à des séries sédimentaires plus ductiles et moins puissantes. Le style tectonique est donc cassant à l'aval de Churin (basse vallée du rio Huaura) au sein du groupe Casma où seules deux intercalations sédimentaires présentent des plis déversés vers le Pacifique ainsi que des accidents plats ; dans les séries sédimentaires les plis asymétriques serrés présentent des vergences antithétiques :

- à l'aval de Churin ils sont déversés vers le Pacifique ;
- à l'amont ces plis sont déversés vers la Cordillère Orientale et voient leur charnière se casser du fait du comportement plus rigide des quartzites néocomiennes.

Au NE d'Oyon, dans la zone faïtière de la Cordillère Occidentale d'anciennes failles listriques normales de bordure du bassin ouest-péruvien ont vraisemblablement rejoué en failles inverses et permis le départ en chevauchement des unités qui appartiennent à la fameuse zone "imbriquée". Ces accidents, peu inclinés dans l'ensemble, présentent localement des rampes plus raides, leur flèche est plurikilométrique surtout pour le chevauchement limitrophe qui sépare les zones structurales ABCD et A'B'C'D' (fig. 35 et 6). Les mesures comparatives de quantité de raccourcissement entre les coupes 19 et 15 montrent que la nappe B chevauche d'environ 12 kilomètres le compartiment B' ; en effet, les conditions d'observation pour la coupe 15 sont excellentes, rendant le dessin de coupe objectif. On peut alors mesurer une quantité de raccourcissement de 56 % ; cette valeur est reportée à la coupe 19 puisqu'il existe des repères géologiques aux extrémités des coupes, tels que des axes de plis, qui se suivent dans toutes les unités tectoniques (fig. 35) suivant la direction locale de la chaîne NNW-SSE.

Les accidents majeurs observés dans la zone faïtière sont des failles verticales, transverses aux axes des plis et aux chevauchements. Elles existent au moins à partir de la phase Inca ; en effet, elles tronçonnent la zone "imbriquée" en unités qui possèdent des styles tectoniques différents : un anticlinal dans un compartiment, voit sa charnière se rompre dans le compartiment adjacent pour donner un accident qui évoluera en plan de chevauchement (fig. 35), ainsi, ces failles transforment les structures.

3.2. CONSEQUENCES DE LA GEOMETRIE DES ACCIDENTS A LA BASE DES NAPPES POUR LA STRUCTURE PROFONDE DE LA CORDILLERE OCCIDENTALE.

Le raccourcissement depuis le bord E du batholite côtier jusqu'à la ligne de partage des eaux entre le Pacifique et l'Atlantique est au minimum de 40 % (mesures effectuées sur les coupes 1-2-3-4-5-6-15 de la figure 6). On peut considérer de façon hypothétique que sa valeur moyenne depuis la fosse est de 33 %. Par ailleurs, il faut envisager un décollement de la couverture crétacée sur les schistes carbonneux et les grès de la formation Oyon (Malm ? Berriasien ? fig. 55①) car le matériel jurassique, s'il existe (?), n'apparaît pas dans les coeurs d'anticlinaux. Le socle sous-jacent est certainement lui aussi raccourci, et à titre hypothétique, on peut lui appliquer le même taux que la couverture.

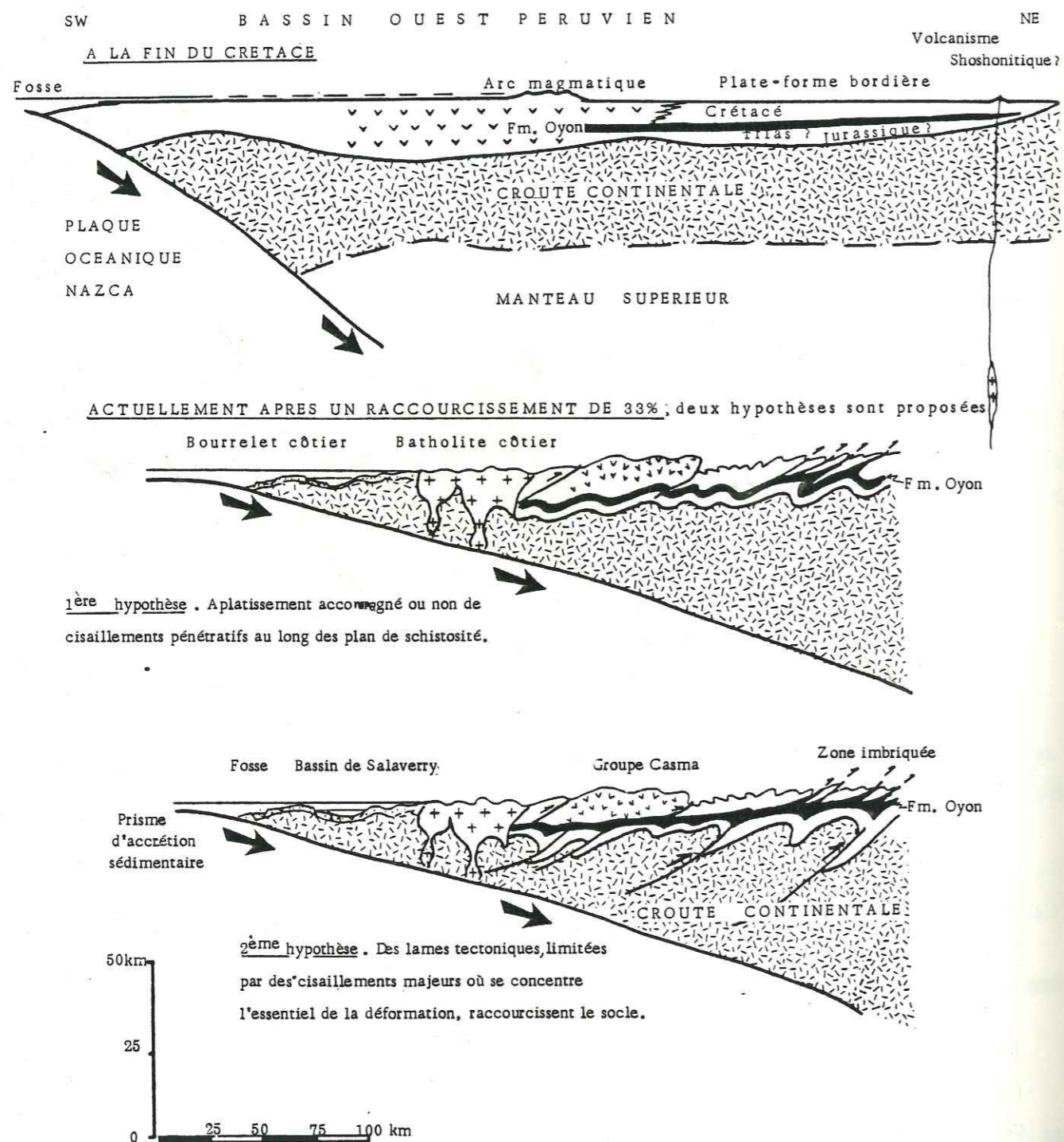


Fig. 57 Coupes schématiques du versant Pacifique des Andes du Pérou Central.

En fait, le socle n'affleure pas, mais il semble logique que ce dernier se comporte comme les massifs cristallins externes des Alpes qui enregistrent de fortes schistosités et se cassent suivant des accidents majeurs chevauchants. Deux hypothèses sont tout de même envisageables (Fig. 57)

1) Ou bien il s'épaissit par aplatissement, accompagné ou non de cisaillements pénétratifs au long des plans de schistosité, les roches se comportant alors de façon plus plastique.

2) Ou bien la limite de rupture est localement atteinte, et des lames tectoniques limitées par des cisaillements majeurs où se concentre l'essentiel de la déformation et que nous supposons inclinés à 30-35°, s'individualisent.

Un état de contrainte est une grandeur physique faisant intervenir l'intensité de la compression et sa direction, aussi peut-on imaginer, en régime de subduction "contrarié" par des réorganisations interplaques (F. MEGARD 1973, B. DALMAYRAC et M. MATTAUER 1980) que, dans le cas du Pérou, la plaque de Nazca joue, lors de brèves phases tectoniques, le rôle d'un bloc rigide (comme le bouclier brésilien) transmettant l'essentiel de son état de contrainte au continent voisin américain, au point que celui-ci se casse en profondeur.

4. OUVERTURE SUR D'AUTRES TRAVAUX

La biostratigraphie serait un outil particulièrement précieux dans cette Cordillère Occidentale où les carbonates sont bien représentés. Les corrélations paléogéographiques seraient alors plus précises et permettraient à leur tour de "prévoir" la stratigraphie.

L'hypothèse d'une série shoshonitique antéplissement devra être appuyée par la recherche d'autres roches du même type dans la zone "imbriquée". La connaissance de la structure du Crétacé et l'étude de la géométrie des accidents au long des parties inférieures d'autres vallées de la Cordillère Occidentale, permettraient d'aborder de façon plus précise le problème de la dysharmonie entre le Crétacé et son substratum, et de connaître la nature des relations entre le Crétacé volcanique du groupe Casma et le Crétacé sédimentaire.

REFERENCES CITEES

- ALPERS C. (1980) - Mineralogy, paragenesis and zoning of the Luz Vein, Uchucchacua; Peru A.B. degree, Harvard University Cambridge, Mass., p. 1-137.
- BAKER P.E. (1978) - La série shoshonitique - les laves dans les zones de subduction in M. GIROD "Les roches volcaniques, pétrologie et cadre structural".- Coll. Doin, p. 159.
- BARAZANGI M., ISACKS B.L. (1979) - Subduction of the Nazca plate beneath Peru: evidence from spatial distribution of earthquakes.- Geophys. J.R. astr. Soc. V.57, p.537-555
- BENAVIDES CACERES V. (1956) - Cretaceous system in northern Peru.- Am. Mus. Nat. Hist. Bull., V. 108, art.4, p.252-494.
- BOISSEAU T. (1982) -Eustatisme et tectonique des plaques. Mémoire de D.E.A., Institut Dolomieu, Grenoble.
- BROOKS C.K. (1976) - The Fe₂O₃/FeO ratio of basalt analyses: an appeal for a standardised procedure. Bull. Geol. Soc. Denmark 25, p. 117-120.
- BIZON G., BIZON J.J., FOURCADE E. et VACHARD D. (1975).- Nouvelle description d'Archafas perouvianella (nov. sub-gen) peruviana (G. STEINMANN) foraminifère. Peneroplidae du Senonien du Pérou. Bull. Soc. Géol. de France, 7ème série, t.XVII, n°6, p. 1157-1164.
- CHAYES F. (1969) - The chemical composition of Cenozoic andesite. Proceeding of andesites conference. Int. upper Mantle project scientific report 16, State Oregon, Edit. p. 1-11.
- CLAPPERTON C.M. (1972) - The Pleistocene moraine stages of West Central Peru. J. of. Glaciology, vol.II, n°62, p. 255-262
- COBBING E.J. (1973) - Geología de los cuadrangulos de Canta, Barranca, Ambar y Oyon. Serv. Geol. y Minería, Bol. 26, p. 1 72.
- COBBING E.J., PITCHER W.S., WILSON J.J., BALDOCK J.W., TAYLOR W.P., Mc COURT W., and SNELLING N.J. (1981) - The geology of the Western Cordillera of Northern Peru; Overseas Memoir 5, Institute of Geological Sciences, London.
- CONY P.J. (1971) - Structural evolution of the Cordillera Huayhuash, Andes of Peru. Geol. Soc. Am. Bull. 82 (7), 1 carte h.t., p. 1863-1884.
- DAHLSTROM C.D.A. (1970) - Structural geology in the eastern margin of the canadian Rocky Mountains. Bull. of Canadian petroleum geology. V.18, n°3, p. 332-406.
- DALMAYRAC B. (1973) - Coupe générale des Andes péruviennes (entre 9° S et 12° S). Bull. Inst. Fr. Et. And., II, p. 1-15, Lima.
- DALMAYRAC B. (1977) - Géologie de la Cordillère Orientale de la région de Huanuco: sa place dans une transversale des Andes du Pérou Central (9° S à 10° 30 S). Thèse Doct. Sciences Naturelles, in These commune B. DALMAYRAC, G. LAUBACHER et R. MAROCCO, U.S.T.L. Montpellier.
- DALMAYRAC B., MATTAUER M., (1980) - Subduction et phases de compression dans la chaîne des Andes. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 290, série D., 9 juin, p. 1345.
- DUENAS E.I. (1919) - Reconocimiento geológico-minero de la Cuenca carbonera septentrional Lima - Junin, Bol. del. Cuerpo de Ing. de Minas del Peru, 97.
- DUPUY C. , LEFEVRE C. (1974) - Fractionnement des éléments en trace Li, Rb, Ba, Sr dans les séries andésitiques et shoshonitiques du Pérou. Comparaison avec d'autres zones orogéniques. Contr. Miner. and Petrol., v.462, p.147-158.
- GILL J.B. (1970) - Geochemistry of Viti Levu, Fidji and its evolution as an island arc. Contr. Miner. and Petrol., 27, p. 179-203.
- GRANT J.N., HALLS C., SALINAS W.A., SNELLING N.J. (1979) - Potassium argon ages of igneous rocks and mineralisation in part of the Bolivian Tin Belt. Economic Geology, V.74, p.838-851.
- GREEN T.H., RINGWOOD A.E. (1968) - Genesis of the calc-alkaline igneous rock suite. Contr. Miner. and Petrol. 18, p. 105-162.

- HARPER C.T. (1970) - Graphical solutions to the problem of radiogenic argon 40 loss from metamorphic mineral. *Ecloga Geol. Helv.* V. 63/1, p. 119-140.
- HARRISON J.V. (1951) - Geologia entre Pomacocha y Quebrada Tinaja. *Bol. Soc. Geol. Peru*, 23, 2 cartes h.t., p. 1-28.
- HARRISON J.V. (1953) - Geologia del camino entre Canta y Huayllay. *Bol. Inst. Nac. Invest. y Fomento min.*, 9, 1 carte h. t., Lima, 36 p.
- HARRISON J.V. (1956) - Geologia del parte del valle del rio Mantaro al oeste y suroeste de Junin, Peru Central, *Bol. Inst. Nac. Invest. y Fomento, min.*, 15, 1 carte h.t., p. 17-55.
- HARRISON J.V., WILSON J.J. (1960) - Geologia de la region comprendida entre Huacho y Vinchos. *Bol. Soc. Geol. Peru*, 35, 2 cartes, p.5-62.
- HUSSONG D.M., EDWARDS P., JOHNSON S.H., CAMPBELL J.F., SUTTON G.H. (1976) - Crustal structure of the Peru-Chile trench: 8°-12° S latitude in the geophysics of the Pacific Ocean basin and its margins. *The Woollard*.
- KULM L. et al. (1981) - Crustal structure and tectonics of the Central Peru continental margin and trench, in KULM et al., ed. *Nazca plate Central formation and Andean convergence*. *Geol. Soc. Amer. Mem.* 154, p. 445-468.
- KUNO H. (1959) - Origin of Cenozoic petrographic provinces of Japan and surrounding areas. *Bull. Volcanol.*, 20, p.37-76.
- LEFEVRE C. (1973) - Les caractères magmatiques du volcanisme plio-quaternaire des Andes dans le Sud du Pérou. *Contr. Mineral. and Petrol.*, 41, p. 259-272.
- LEFEVRE C., DUPUY C., COULON C. (1974) - Le volcanisme andésitique. *Journées d'Aurillac*, Revue de la Haute Auvergne, t. 44, p. 313-355.
- LEFEVRE C. (1979) - Un exemple de volcanisme de marge active dans les Andes du Pérou (Sud) du Miocène à l'actuel. *Thèse Doct. Sc. Nat.*, Montpellier.
- LE MAITRE R.W. (1976) - The chemical variability of common igneous rocks. *Journal of Petrology*, 17, p.589-637.
- LISSON C.I., BOIT B. (1942) - Edad de los fósiles peruanos y distribución de sus depositos en la República. 4ème ed., Lima, p. 1-320.
- Mc. LAUGHLIN D.H. (1924) - Geology and physiography of the Peruvian Cordillera, departments of Junin and Lima. *Geol. Soc. Am. Bull.* 35, p. 591-632.
- MEGARD F. (1973) - Etude géologique d'une transversale des Andes au niveau du Pérou central. *Thèse Doct. Sci. Nat.*, Montpellier II, 1 coupe et 1 carte h.t., p. 1-263
- MOLINA B. JA. (1976) - Aspectos geológicos para un programa de perforaciones diamantinas en las minas de Uchucchacua. *Thèse non publiée*, Universidad Nacional de San Augustin de Arequipa, Peru.
- MYERS J.S. (1976) - Erosion surfaces and ignimbrite eruption, measures of andean uplift in Northern Peru, *Geol., Jour.*, v.11, Pt.1, p.29-44.
- MYERS J.S. (1980) - Geologia de los cuadrangulos de Huarmey y Huayllapampa Hojas: 21-g y 21-h. *Bol. n°33*, Instituto Geologico Minero y Metalurgico. Lima.
- NOBLE D.C., Mc KEE E.M., MEGARD F. (1979) - Early Tertiary "Incaic" tectonism, uplift, and volcanic activity Andes of Central Peru. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Part.I, v.90, p.903-907.
- NOBLE D.C. (1980) - Potassium Argon age determinations on rocks from Raura and Uchucchacua. *Memorandum to A. BENAVIDES Q.*, Cia de Minas Buenaventura S.A..
- PECERILLO A. et TAYLOR S.R. (1976) - Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonu Arca, northern Turkey. *Contr. Min. Petr.*, 58, p.63-81.
- PETERSEN U. (1979) - Exploración y desarrollo de Uchucchacua. *Memorandum to A. BENAVIDES Q.*, Cia de Minas Buenaventura, S.A., p. 1-12.
- RITTMANN A. (1973) - Stable mineral assemblages of igneous rocks. Key 6. Springer - Verlag Berlin. Heidelberg - New-York, p. 131-135.
- RIVERA L.R. (1980) - Geologia de los cuadrangulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Hojas 15-F, 15-G, 16-G - *Bol. n°31*, Instituto Geologico Minero y Metalurgico. Lima.

- ROUTHIER P. et al. (1978) - La ceinture sud-ibérique à amas sulfurés dans sa partie espagnole médiane. *Mem. B.R.G.M.* n°94.
- SEBRIER M., LAVENU A., FORNARI M., SOULAS J.P. - Tectonics and uplift in the Andes of southern Peru and Central Bolivia from Oligocene to present (à paraître).
- SEBRIER M., MAROCCO R., MACHARE J. (1982) - Evolution cenozoïque du piemont pacifique et ses relations avec la Cordillère des Andes dans le Pérou Central et Méridional. *Congrès de Géographie de Toulouse* (sous presse)
- SOULAS J.P. (1975) - La chaîne andine du Pérou Central: chronologie, orientation et style des phases tectoniques du Tertiaire supérieur. *Aperçus sur la tectonique quaternaire*. *Bull. Inst. Fr. Et Andines*, t. IV, n°3.4., p.127-156.
- SOULAS J.P. (1977) - Les phases tectoniques andines du Tertiaire supérieur, résultats d'une transversale Pisco-Ayacucho (Pérou Central). *C.R. Acad. Sci. Paris*, t.284, p. 2207-2210.
- SOULAS J.P. (1978) - Tectonique quaternaire: la côte Pacifique et la chaîne andine du Pérou central. *Rev. Geogr. Phys. Géol. Dyn.* (2), vol. XX, fasc.5, p. 399-414.
- STEINMANN G. (1929) - Geologie von Peru, 9 pl., carte h.t., Karl Winter Heidelberg, p.448
- STRECKEISEN A.L. (1967) - Classification and nomenclature of igneous rocks. *N. Jahrb. Miner. Abh.* 107, p.144-210.
- THORNTON C.P. et TUTTLE O.F. (1960) - Chemistry of igneous rocks. I. Differentiation index. *Am. J. Off. Sci.* 258, p.664-684
- VAIL P.R., MITCHUN M.R., THOMPSON S. (1977) - Seismic stratigraphic on global changes of sea level. *Am. Ass. Petrol. Geol. mem.* 26.
- WILSON J.J. (1963) - Cretaceous stratigraphy of Central Andes of Peru. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull* 47 (1), p. 1-23.
- WILSON J.J., REYES L. (1964) - Geologia del cuadrangulo de Pataz. *Bol. Com. Corta Geol. Nac.*, 9, 1 carte et 1 pl. h.t. Lima, p. 1-82.
- WILSON J.J., REYES L., GARAYAR J. (1967) - Geologia de los cuadrangulos de Mollebamba, Huaylas, Tayabamba, Pomabamba, Carhuaz y Huari. *Bol. Serv. Geol. Min.* 16, 1 carte et 1 pl., h.-t., 95 p.
- WILSON J.J. (1971) - Informe geológico del aera de Uchucchacua. Para A. BENAVIDES Q., Cia de Minas Buenaventura, S.A., p. 1-10.

LISTE DES ILLUSTRATIONS

CHAPITRE 1

P.	n°	
16	1	Localisation géographique de la mine Uchucchacua.
18	2	Zonation morphostructurale, d'après B. DALMAYRAC (1977).
19	3	Reproduction partielle de la carte géologique du Pérou au 1/1000 000 localisant la zone d'étude par rapport à Lima.
20	4	Coupe des Andes du Pérou central, d'après MEGARD F. (1973).
22	5	Les changements de faciès du Crétacé dans le Pérou central, d'après MEGARD F. (1973).

CHAPITRE 2

	6	Coupe géologique de la vallée du rio Huaura en amont du batholite côtier ; Cordillère Occidentale, Pérou central.
31	7	Colonnes lithostratigraphiques du bassin crétacé de la Cordillère Occidentale au nord du Pérou central.
32	8	Colonne biolithostratigraphique de la base de la formation Casma-Sous-unité Puente Colgante.
34	9	Colonne biolithostratigraphique de la série euxinique médiane de la formation Casma-Sous-unité Paccho Tingo.

CHAPITRE 3

44	10	Localisation des coupes lithostratigraphiques du secteur Uchucchacua-Hacienda Otuto.
45	11	Colonne biolithostratigraphique et évolution des faciès durant le Crétacé. Uchucchacua. H ^{da} Otuto, Haute Cordillère Occidentale, Pérou.
50	12	Colonne biolithostratigraphique des formations : Carhuaz, Farrat et Pariahuanca.
52	13A	Colonne lithostratigraphique des formations Pariatambo et Chulec.
54	13B	Colonnes lithostratigraphiques synthétiques du Crétacé de la Cordillère Occidentale, montrant les corrélations possibles entre les formations euxiniques albiennes.

- 56 14 Log synthétique de la formation Jumasha.
 58 15A Colonne biolithostratigraphique de la base du Jumasha inférieur.
 59 15B Colonne biolithostratigraphique du Jumasha inférieur.
 60 16 Colonne lithostratigraphique du Jumasha moyen.
 62 17 Colonne biolithostratigraphique du Jumasha supérieur et de la base du Célendin.
 66 18 Au NW de Uchucchacua. Relations structurales entre les dykes d'andésite, les dykes de rhyolite et les remplissages karstiques.
 68 19 Granulométrie de remplissages karstiques. Courbes cumulatives en ordonnée arithmétique.
 75 20 Régression des glaciers depuis 1962. Carte Uchucchacua.
 74 21 Régression des glaciers depuis 1962. Carte H^{da} Otuto.

CHAPITRE 4

- 80 22 Carte d'affleurement des roches magmatiques.
 92 24 Schéma de classification pour les roches (I) tholéitiques, (II) calco-alcalines, (III) calco-alcalines potassiques, (IV) shoshonitiques, proposée par PECERILLO et TAYLOR, 1976. Analyses en % poids du magma sec.
 92 25 Triangle QAP calculé à partir des normes en % volume du magma sec (RITTMANN 1973).
 94 26 Diagramme P.F./Si O₂ (Poids %) pour les différents types de roches intrusives ou effusives.
 94 27 Diagramme corindon normatif / CaO (Poids % magma sec).
 94 28 Diagramme K₂O / Si O₂ et Na 2 O / Si O₂ (Poids % magma sec) + quelques moyennes mondiales.
 95 29 Diagramme alcalins / Si O₂ (Poids % magma sec).
 97 30 Diagramme A F M ; A' F M. A = Na 2 O + K₂O.
 F = Fe O + Fe 2 O₃ = Fe 2 O₃ Analyse ; M = Mg O ; A' = Al₂O₃.
 98 31 Double diagramme chimico-minéralogique de DE LA ROCHE.
 98 32 Variation des oxydes peu mobiles Mg O, Ti O₂ en fonction de D.i.
 101 33 Diagramme de Harper ⁴⁰Ar* / k 20 %.
 106 34 Diffractogrammes de rayons X sur des fractions de dacite (310 D, mine Uchucchacua niveau 4360 m).

CHAPITRE 5

- 115 35 Schéma structural. Cartes Uchucchacua. H^{da} Otuto - RAPAZ "cuadrangulo" de oyon Haute Cordillère Occidentale du Pérou central.
 117 36 Localisation des coupes et des compartiments.
 118 37A Localisation des divers compartiments.
 119 etB
 120 38 Détails des coupes 24 - 26 - 28.
 122 39 Détails des coupes 25 - 27 - 30.
 124 40 Carte simplifiée du secteur Chunpan. Au sujet de la flèche du chevauchement limitrophe.
 127 41 Stéréogramme de Wulff (hémisphère inférieur) des marqueurs des miroirs de failles associés à l'accident Lutacocha dans le compartiment A'.
 130 42 Détails des coupes 18 - 21.
 132 43 Pôles des plans de schistosité dans le compartiment A' (Stéréogramme de Wulff inférieur).
 132 44 Panorama du C° Iscu où l'on observe une torsion des couches liée à la mise en place de la série inverse Jumasha sur le compartiment B'.
 134 45 Schéma structural de la mine Uchucchacua.
 134 46 Stéréogramme de Wulff (hémisphère inférieur) des miroirs de faille de la station C.
 138 47 Détails des coupes 13 - 15.
 139 48 Détails des coupes 9 - 15 - 16.
 142 49A Cross-section through the Savanna creek gas field, Alberta in C.D.A. DAHLSTROM (1970).
 142 49B Imbrication at the trailing edge of a thrust sheet in C.D.A. DAHLSTROM (1970).
 142 49C Cross-section at the Lewis-Mount Crandell thrust zone at Waterton Lakes, in C.D.A. DAHLSTROM (1970).
 144 50 Détails des coupes 6 - 7 - 9.
 140 51 Dessin tectonique schématisant le déroulement probable de la mise en place des compartiments B et C sur les compartiments B' et C'.
 148 52 Affaissement du compartiment B par rapport aux compartiments A et C.
 149 53 Détails des coupes 4 - 5 - 6 - 7.

- 150 54 Stéréogramme de Wulff (hémisphère inférieur) des miroirs de faille de l'accident majeur Paton.
- 154 55 Comportement des chevauchements majeurs en profondeur.
- 154 56 Stéréogramme de Wulff faisant apparaître une répartition anarchique des pôles des plans de mouvement pour toutes les mesures de microtectoniques réalisées.

CHAPITRE 6

- 166 57 Coupes schématiques du versant Pacifique des Andes du Pérou central.

LISTE DES TABLEAUX

- 65 1 Analyses semi-quantitatives aux rayons X sur la fraction $< 2\mu$ de certains remplissages karstiques (feuille Uchucchacua).
- 84 2 Analyses chimiques des andésites basaltiques et de la banakite.
- 86 3 Analyses chimiques des andésites et des dacites.
- 88 4 Analyses chimiques des rhyolites.
- 162 5 Chronologie des événements géologiques.

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

- 128 1 Dalle de calcaires Jumasha (1/3 X). Les fentes de calcite, s'organisent suivant des joints potentiels dextres et sénestres conjugués N050 N130. Ces fentes donnent σ_1 local.
- 46 2 Photographie aérienne n° 15366 montrant le glissement de terrain au NW de Conchamarca et les orientations différentes des structures de part et d'autre d'un accident majeur.

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le

Le Président de la thèse

M. Tanché

Vu, et permis d'imprimer,

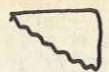
Grenoble, le

Le Président de l'Université Scientifique et Médicale

M. TANCHE

Tanche





b Brèche sédimentaire

vi Volcanisme indifférencié

p Rhyolite

d Dacite

α Andésite OXYDÉE

αb Andésite plutôt bréchique

α Andésite & Diorite

Crs Couches rouges supérieures

Cri inférieures

cs Célendin supérieur

ci inférieur

Js Jumasha supérieur

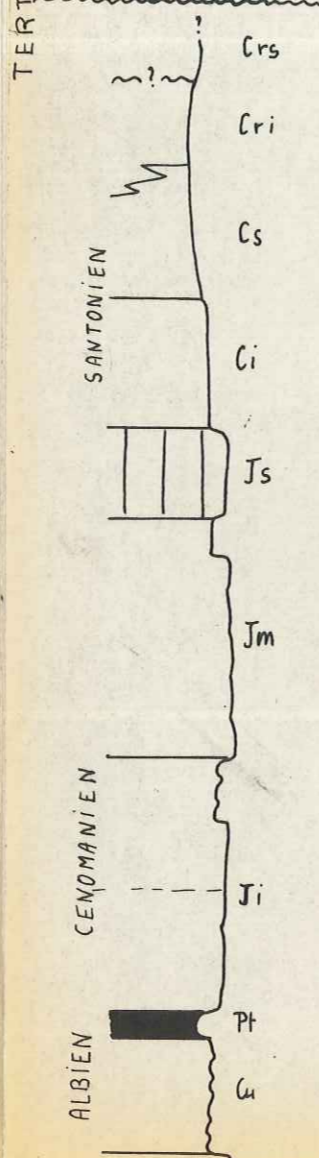
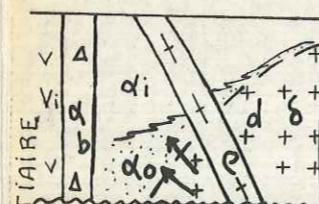
Jm moyen

Ji inférieur

Ph Pariatambo

Ca Chulec

Venues hydrothermales

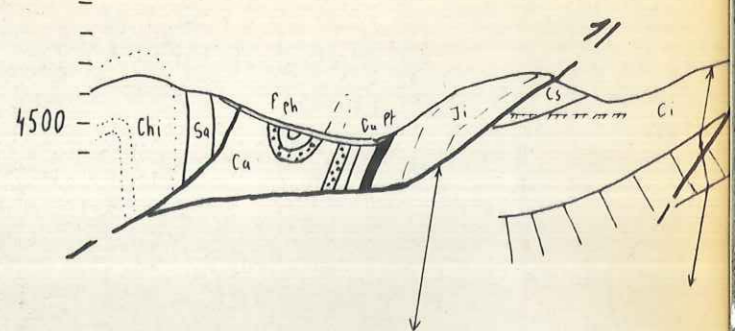


WSW

31

5000

4500

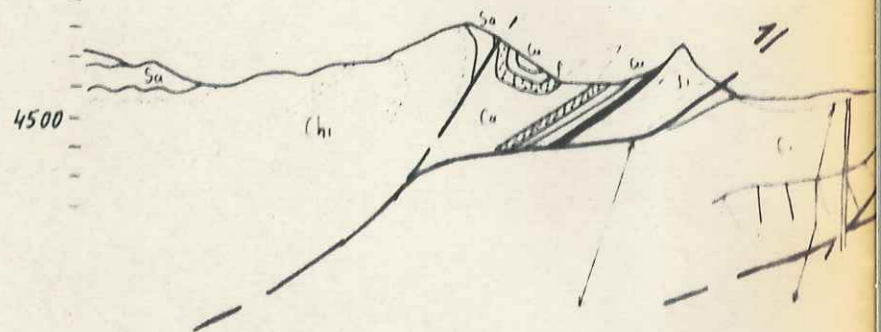


WSW

30

5000

4500

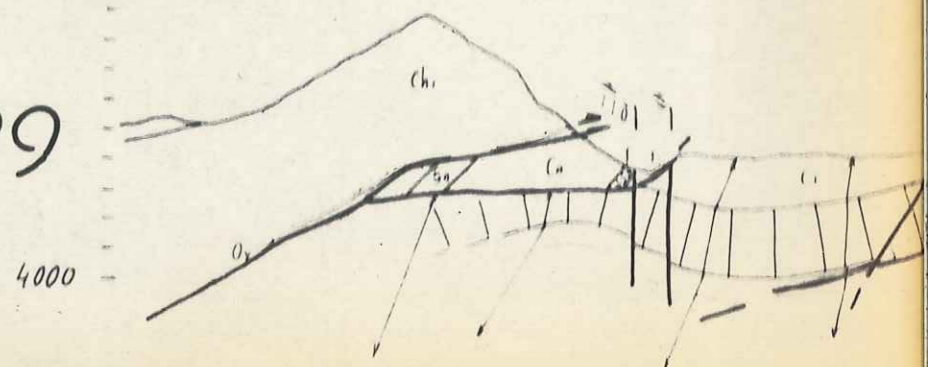


WSW

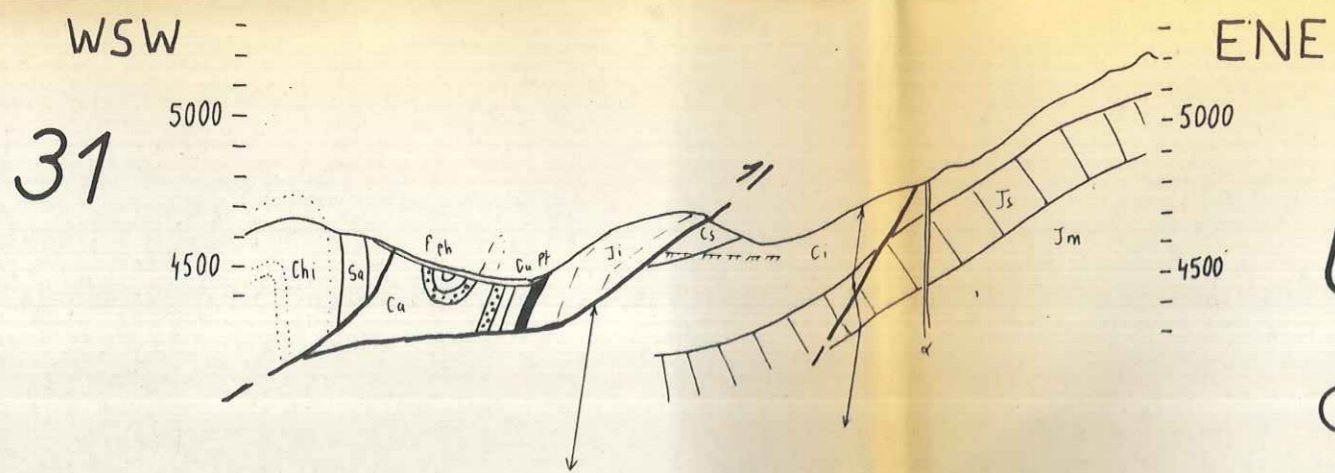
29

5000

4000



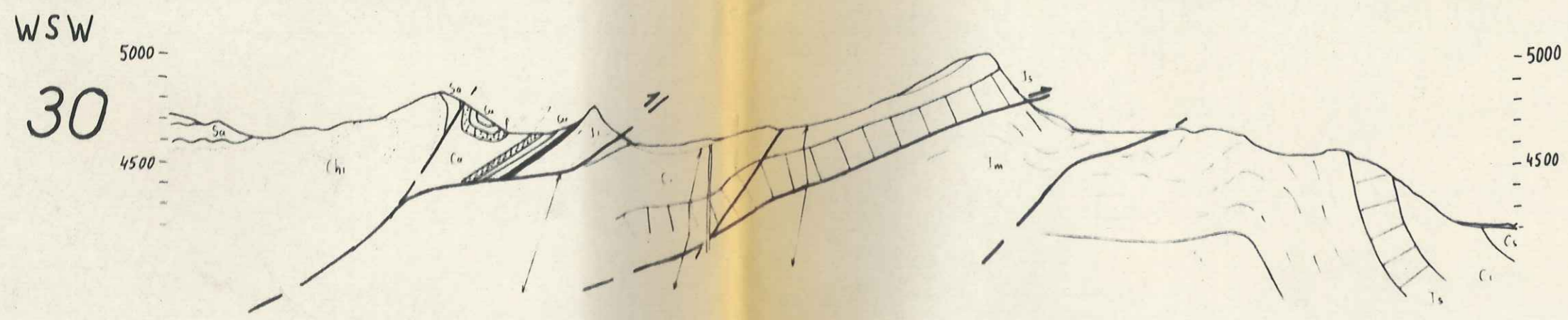
WSW



coupes géologiques

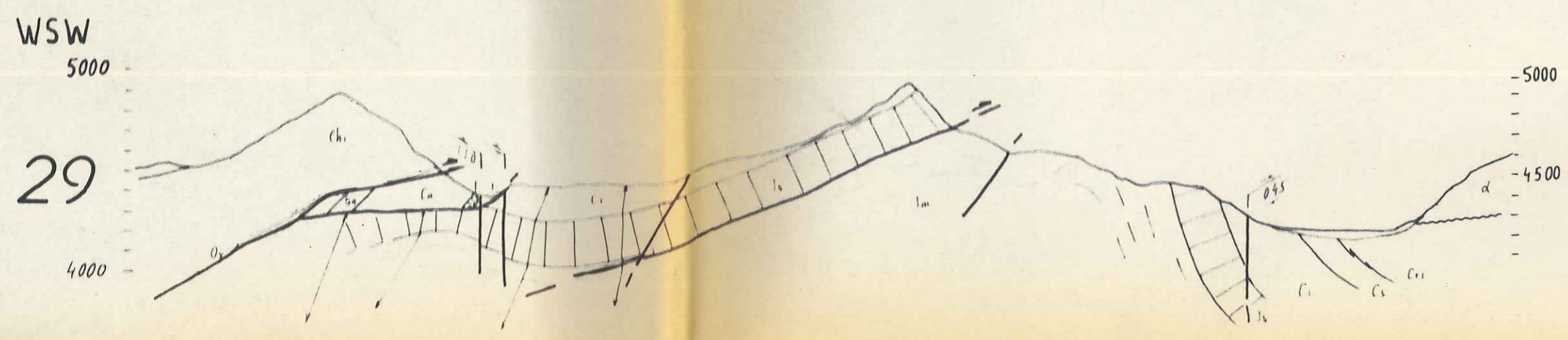
UCHUCCHACUA - H^{da} OTUTO

OYON CORDILLERE OCCIDENTALE PEROU



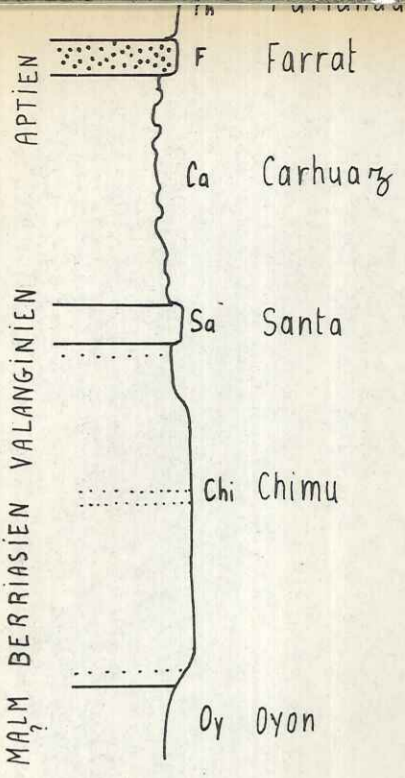
Romani M. 1982

1 km



UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
 INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
 RUE MAURICE GIGNOUX
 F 38031 GRENOBLE CEDEX
 TEL. (76) 87.46.43





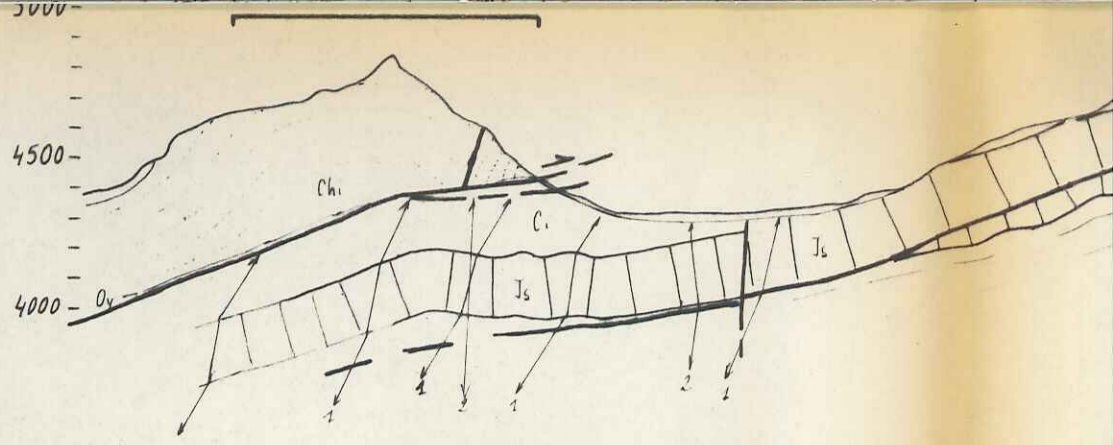
100 m

Dessin d'après photographie
Dibujo desde fotografia

Représentation schématique
de la schistosité liée aux
accidents de la zone imbriquée



28



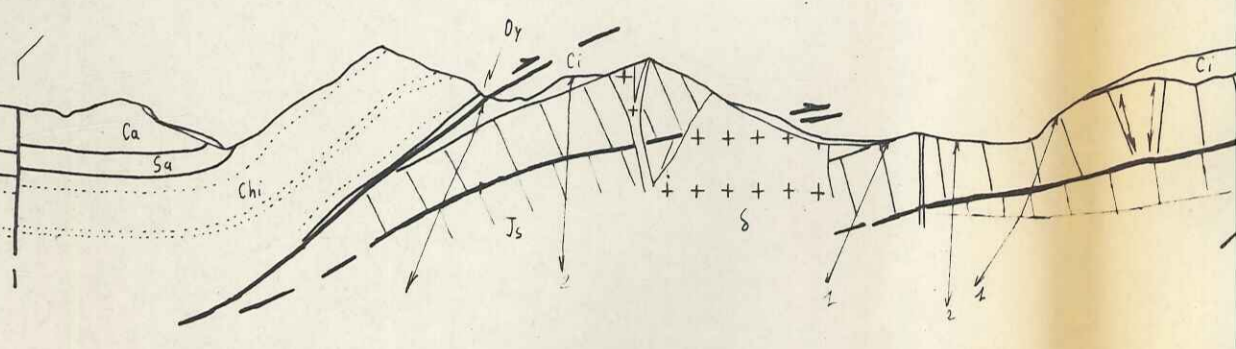
27

WSW

5000

4500

4000



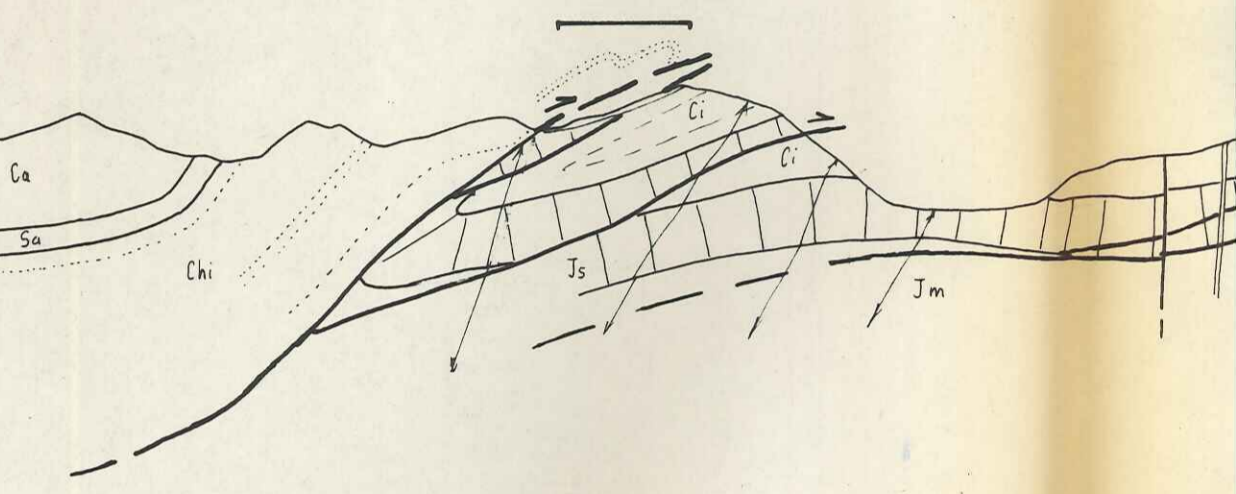
26

WSW

5000

4500

4000



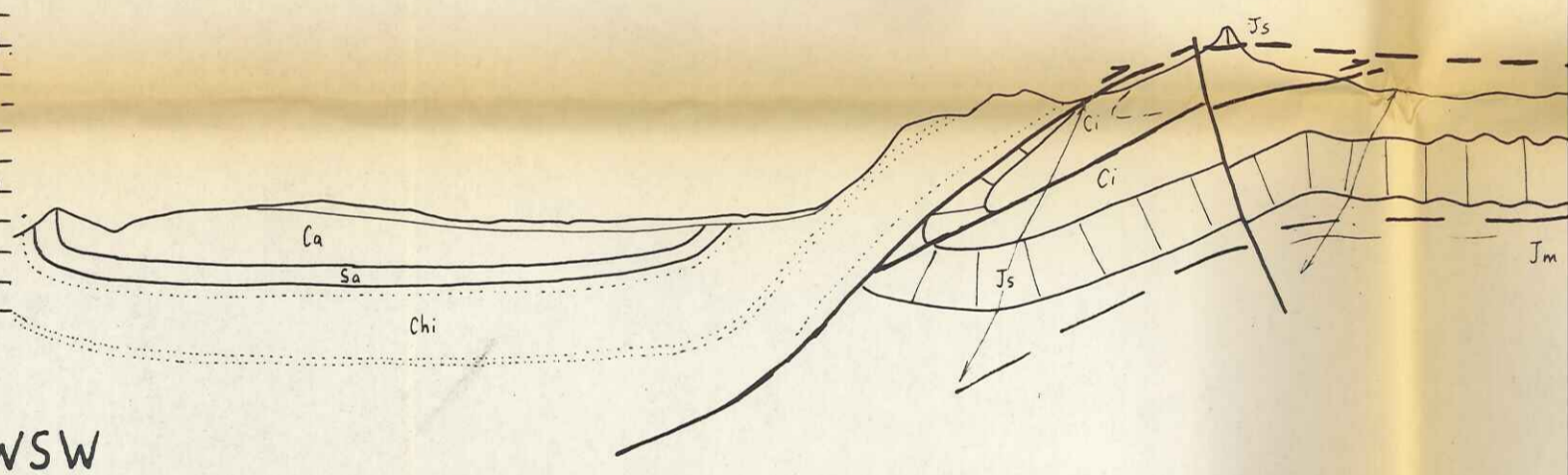
25

WSW

5000

4500

4000



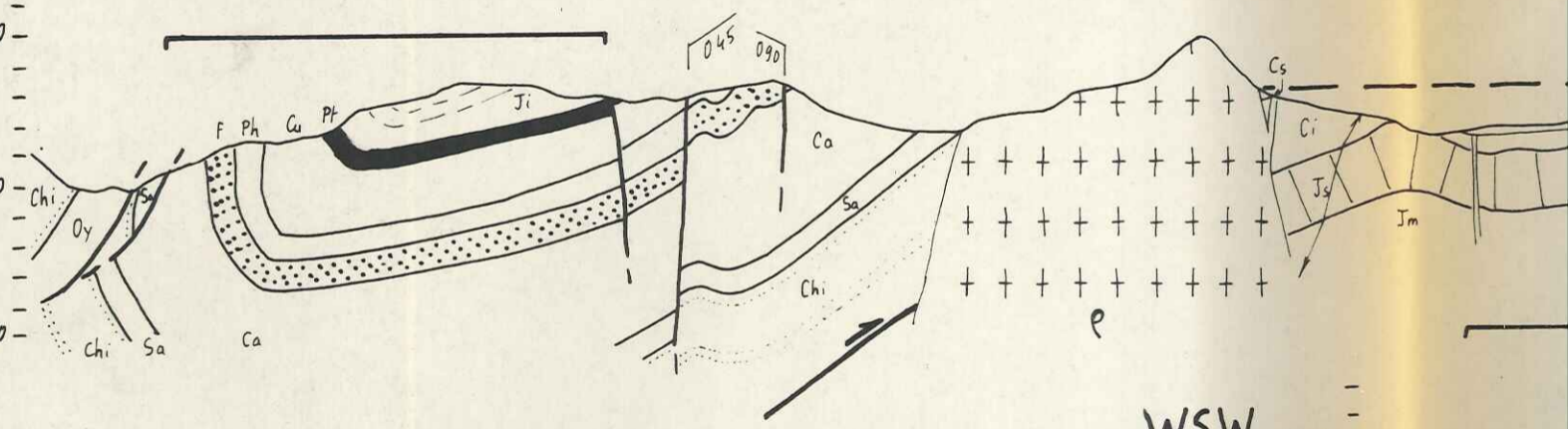
24

WSW

5000

4500

4000



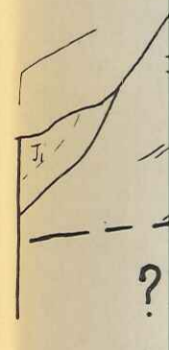
23

WSW

5000

4500

4000



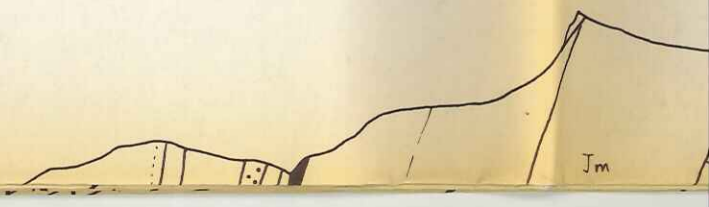
22

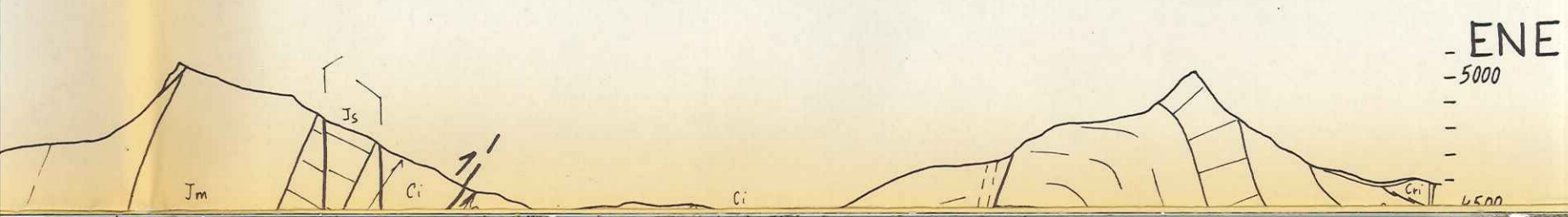
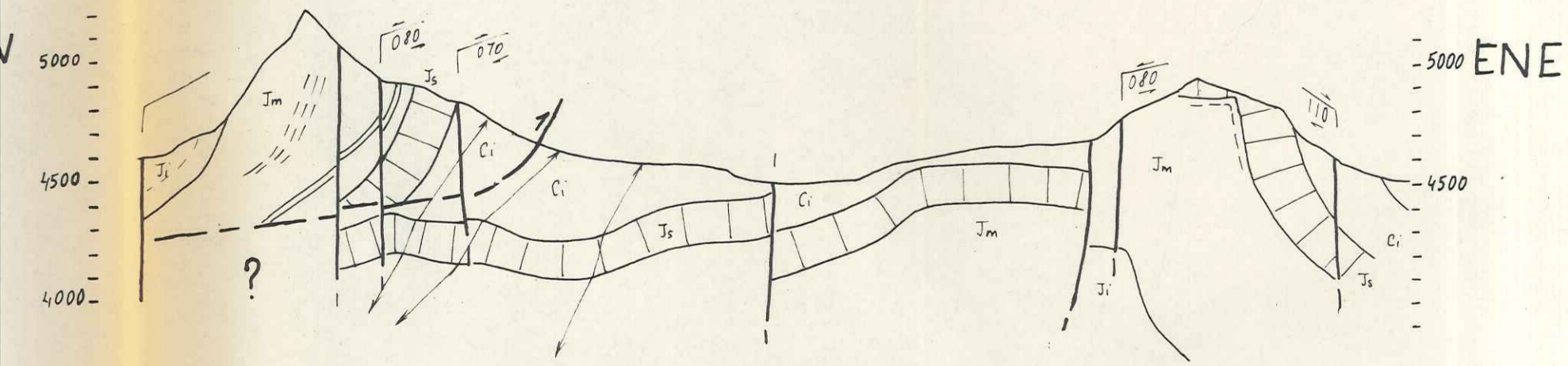
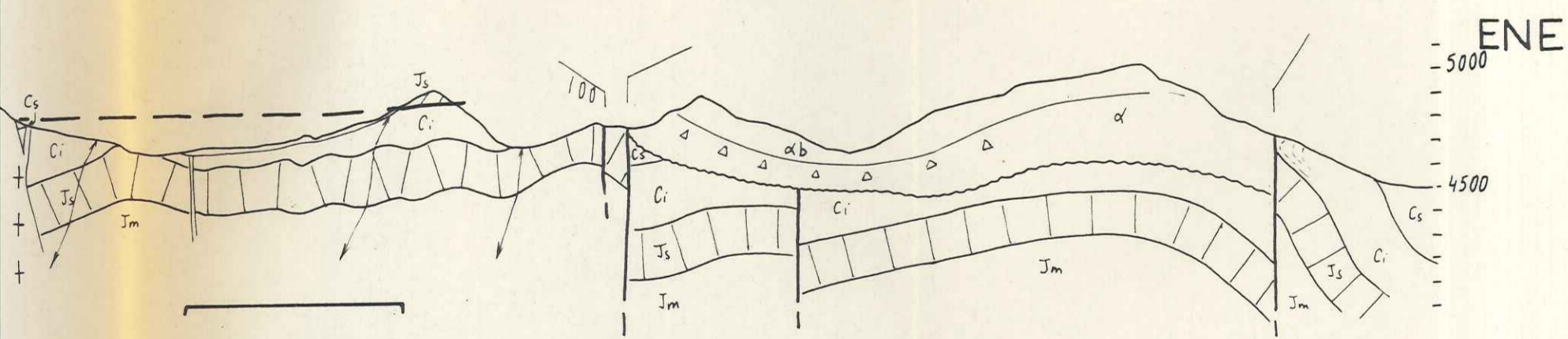
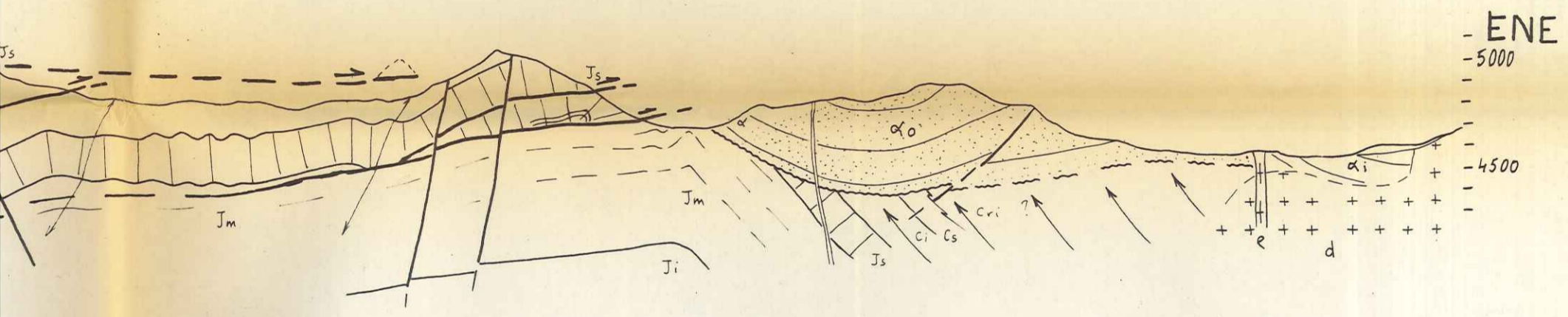
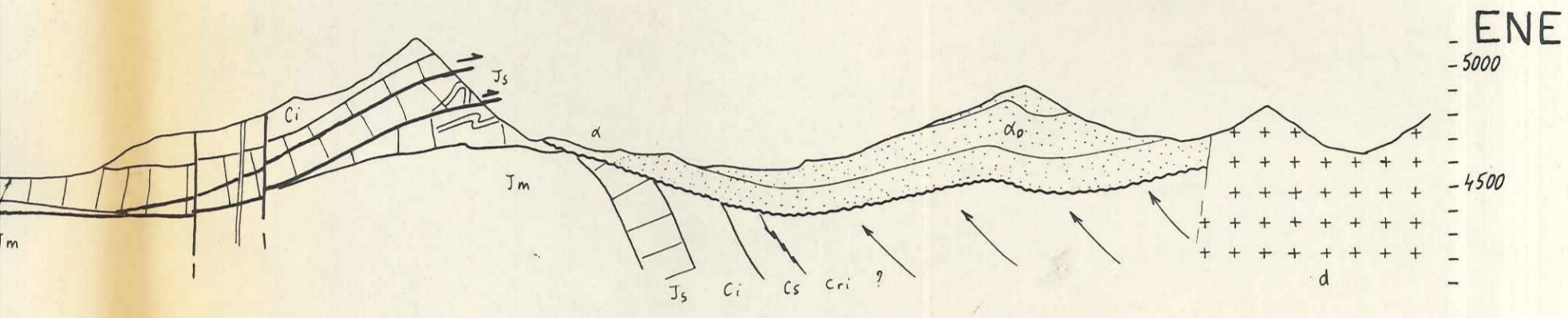
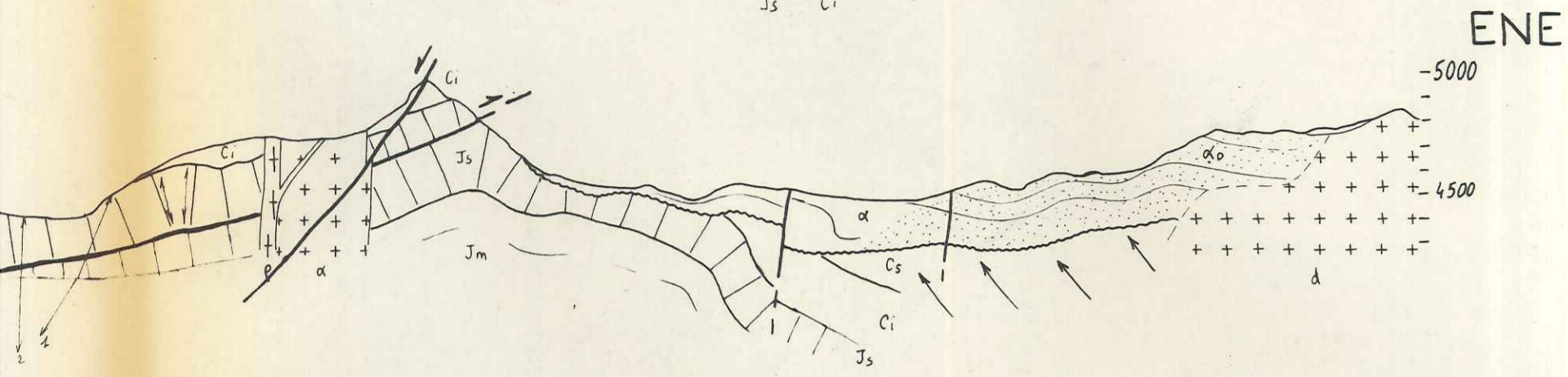
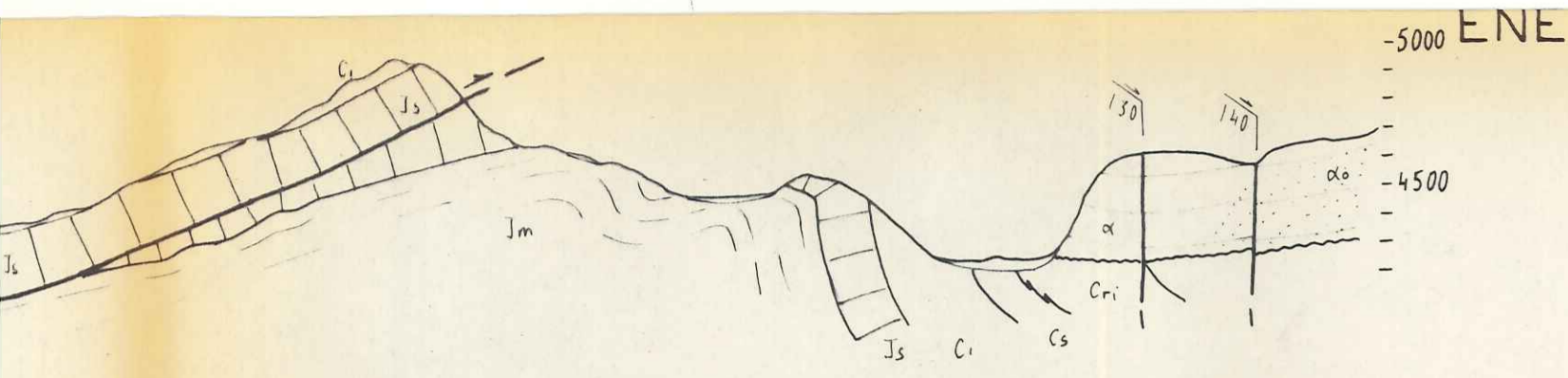
WSW

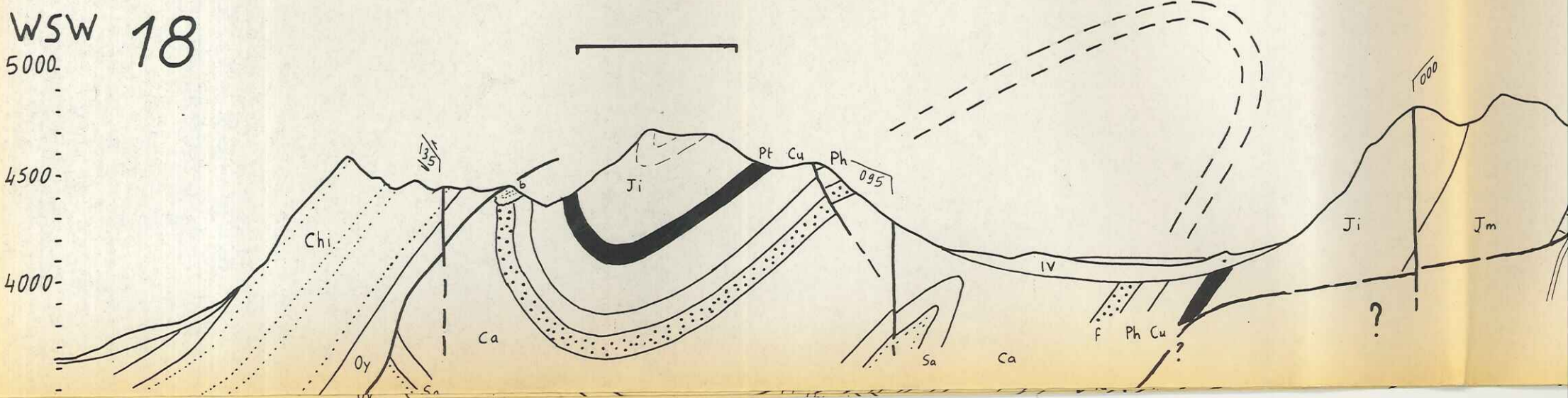
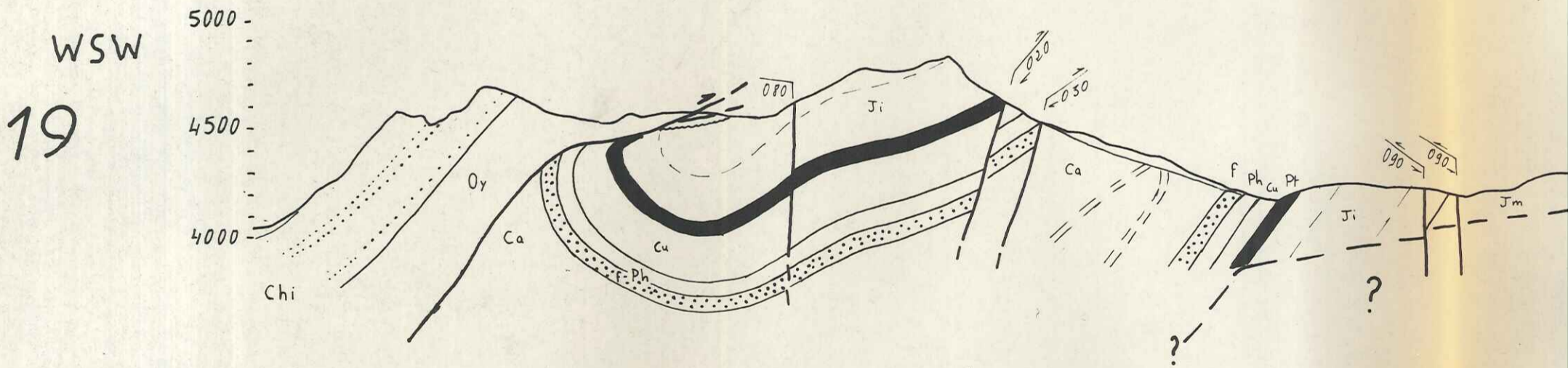
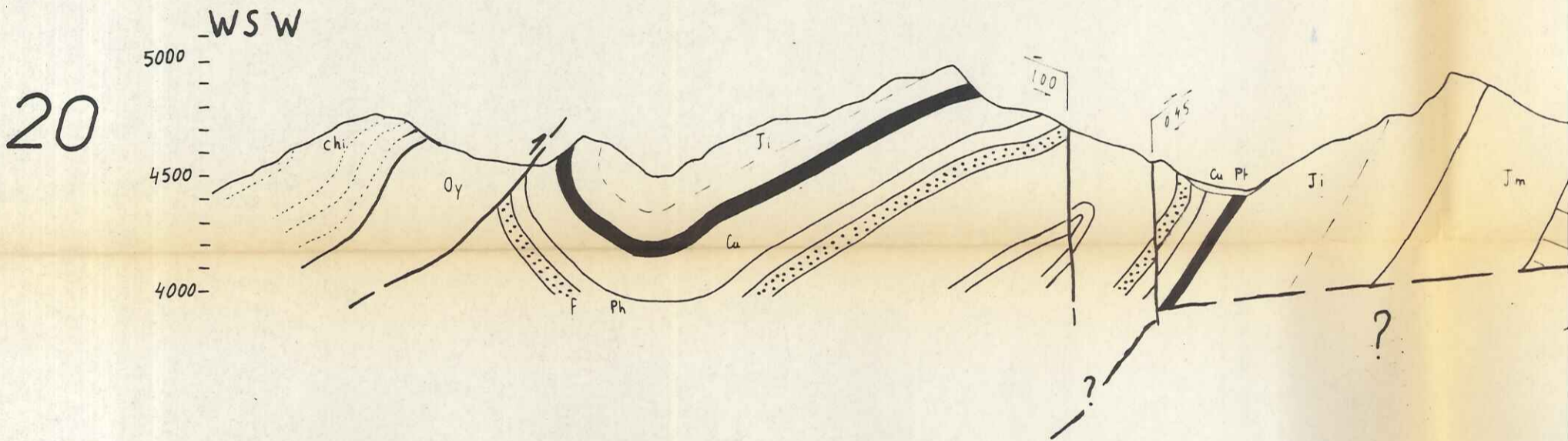
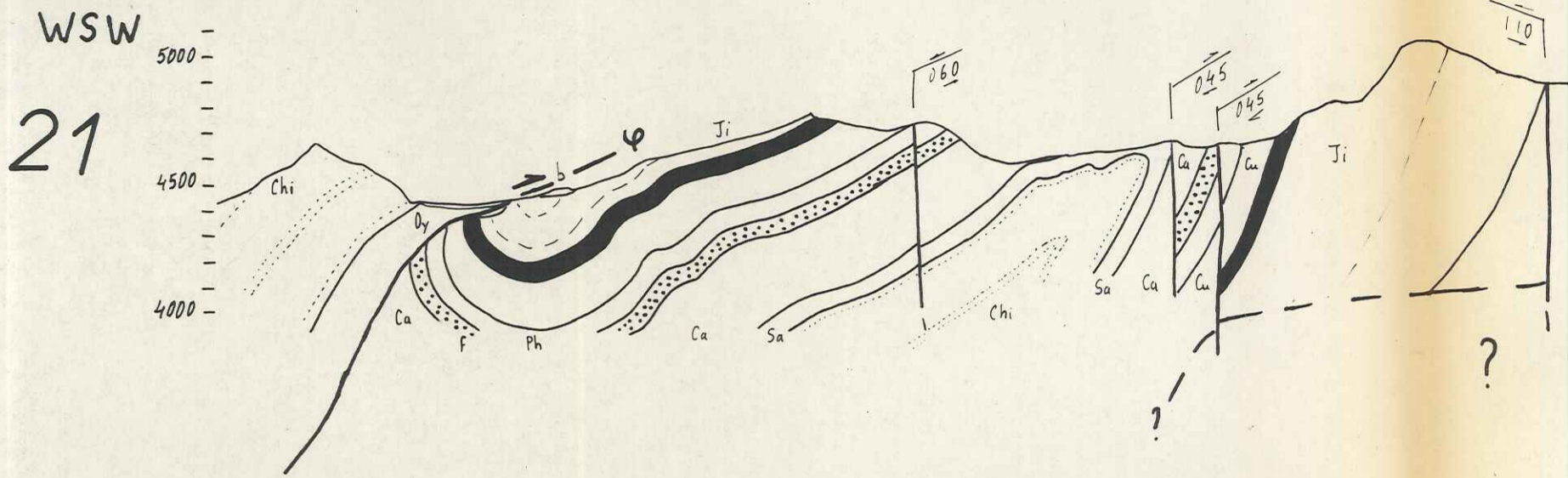
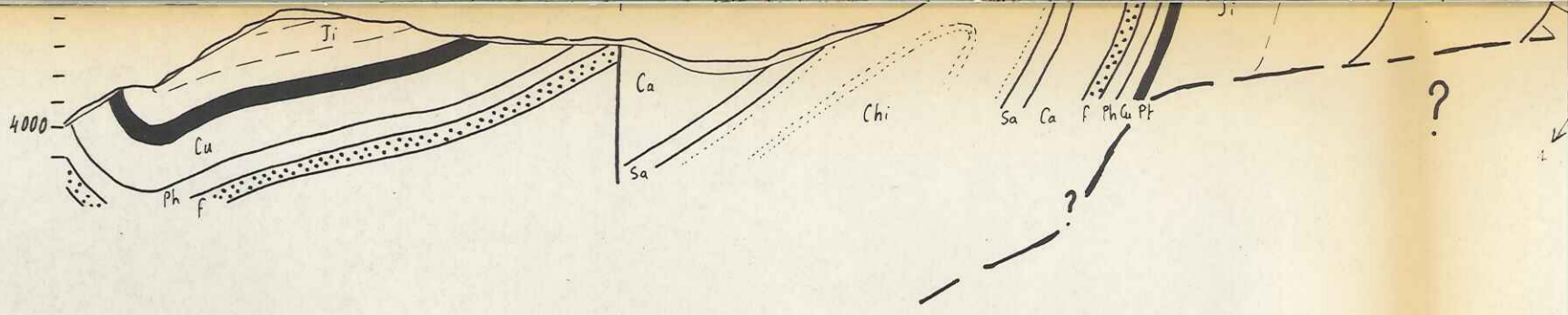
5000

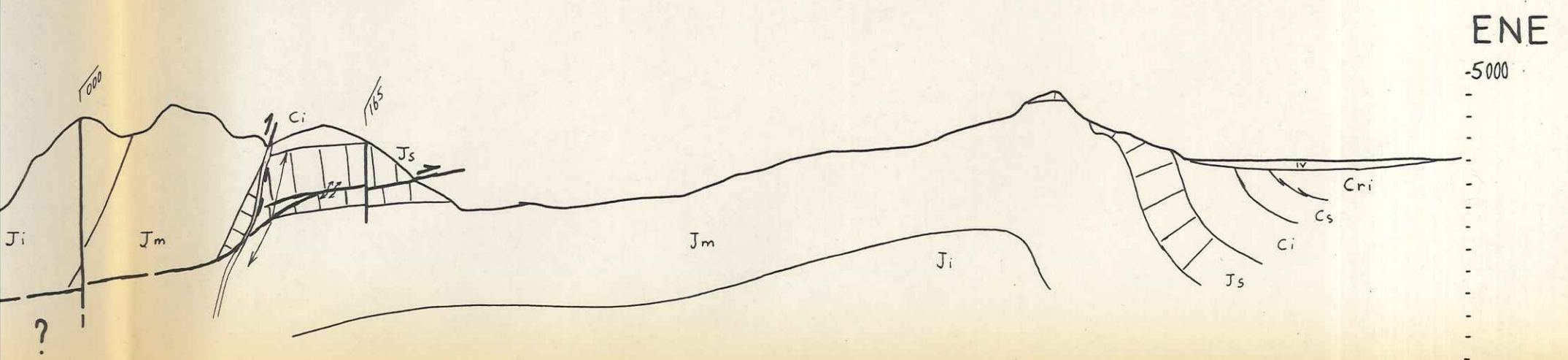
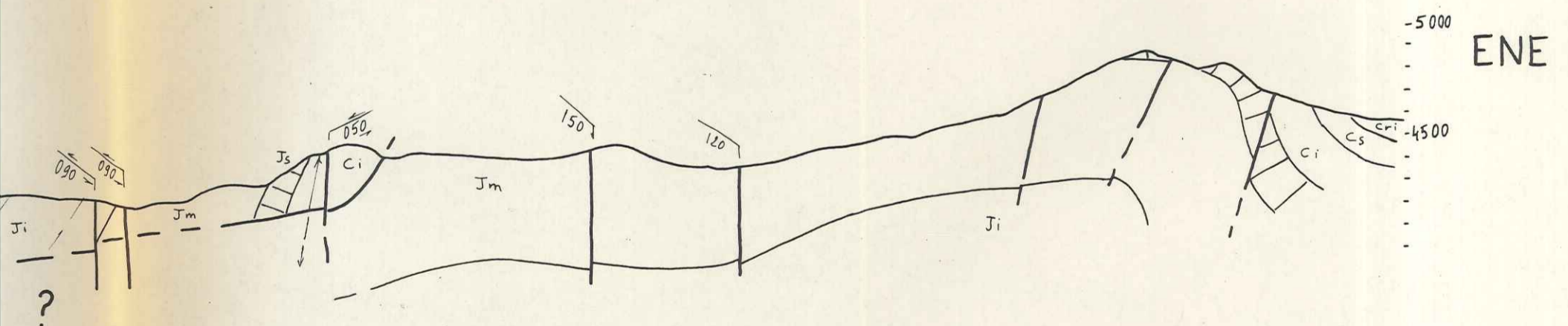
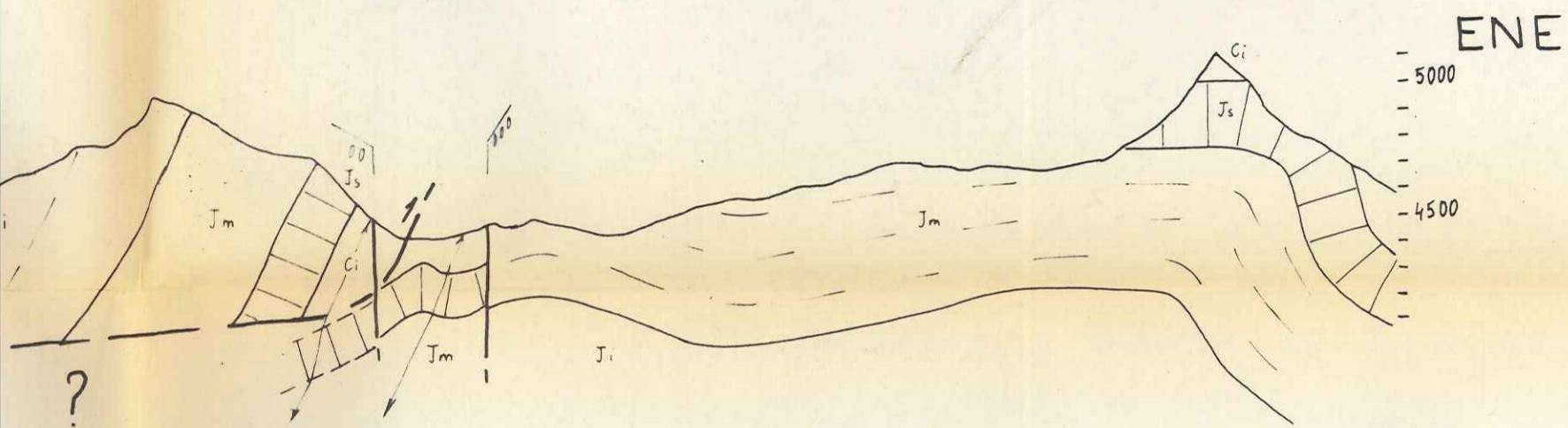
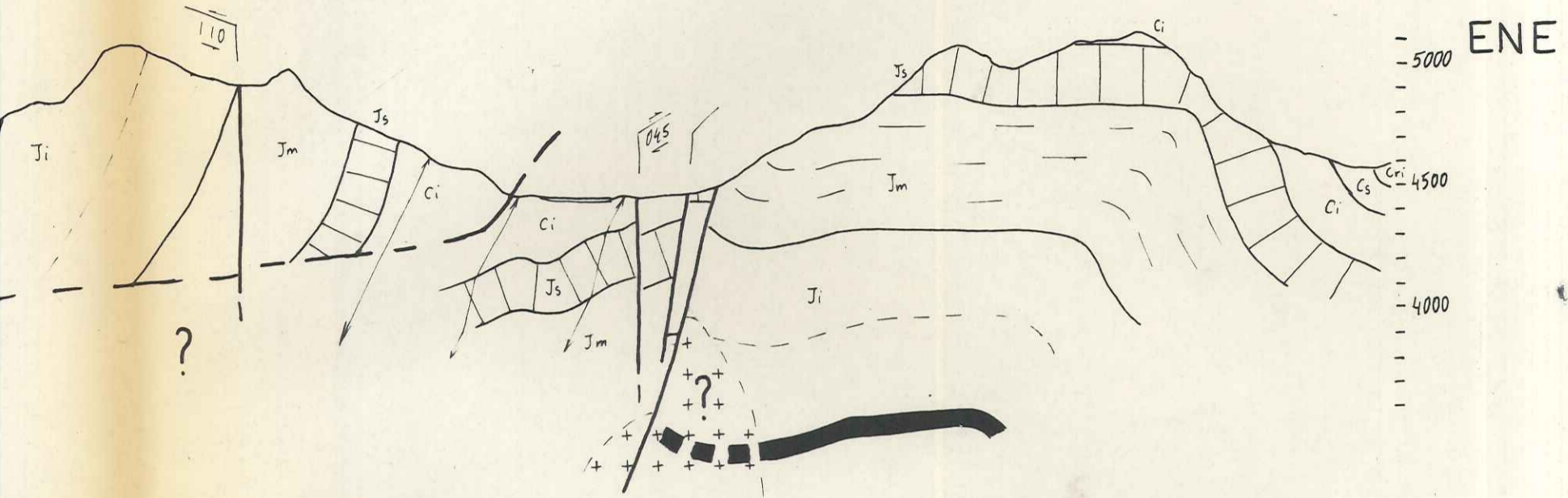
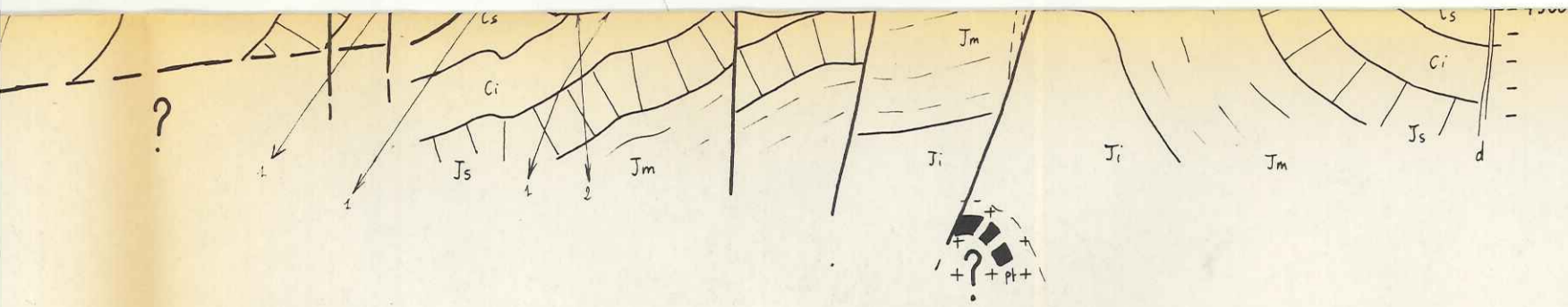
4500

040

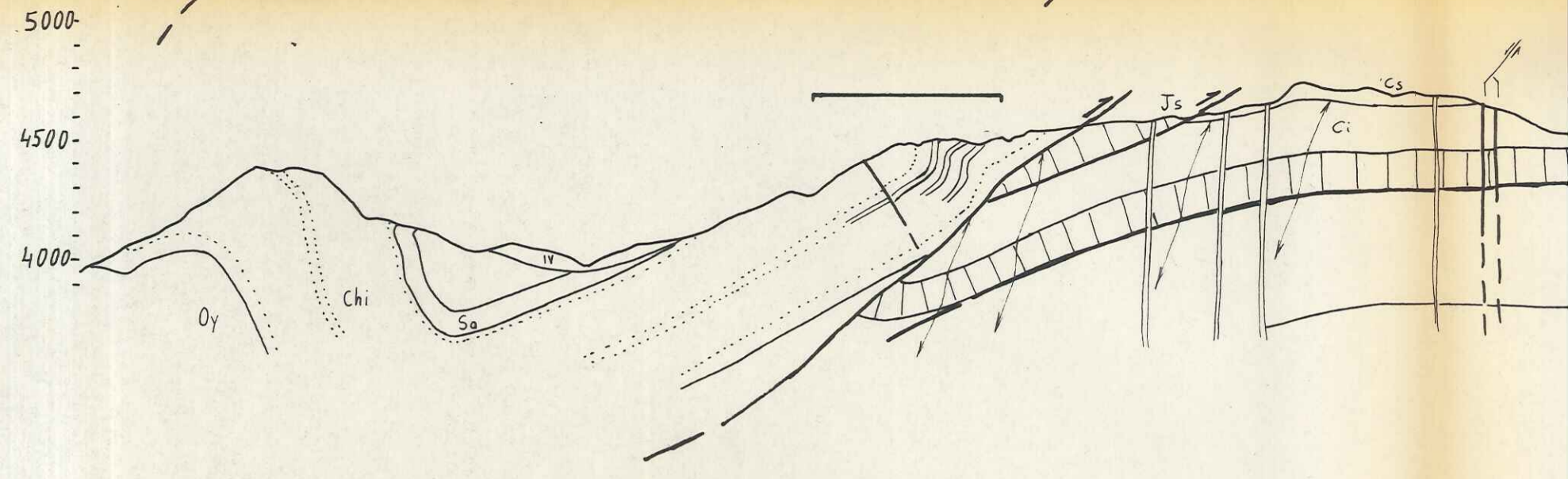




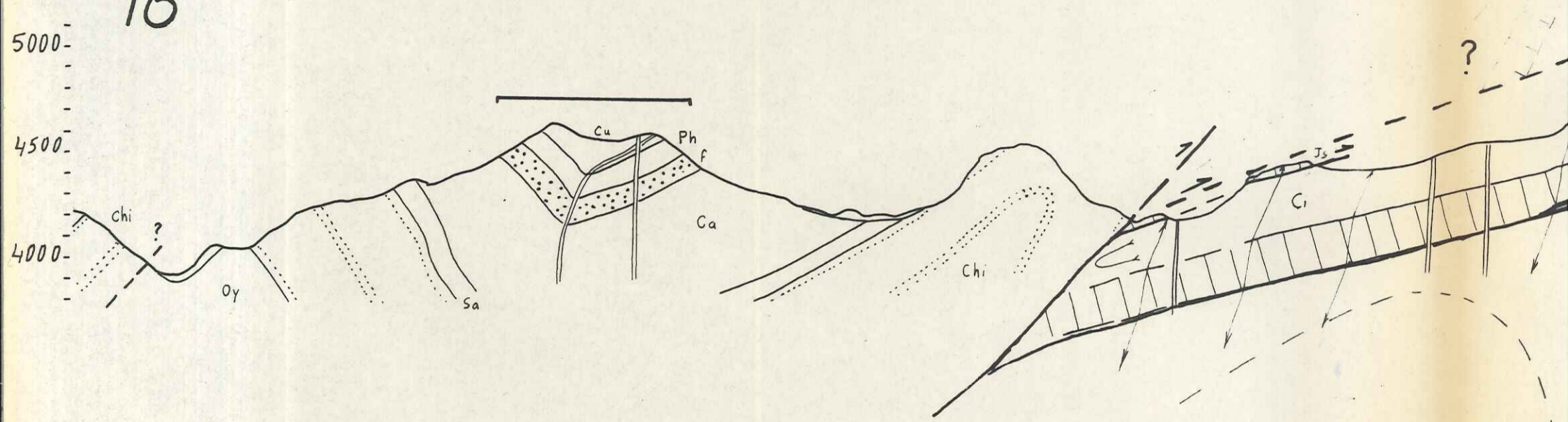




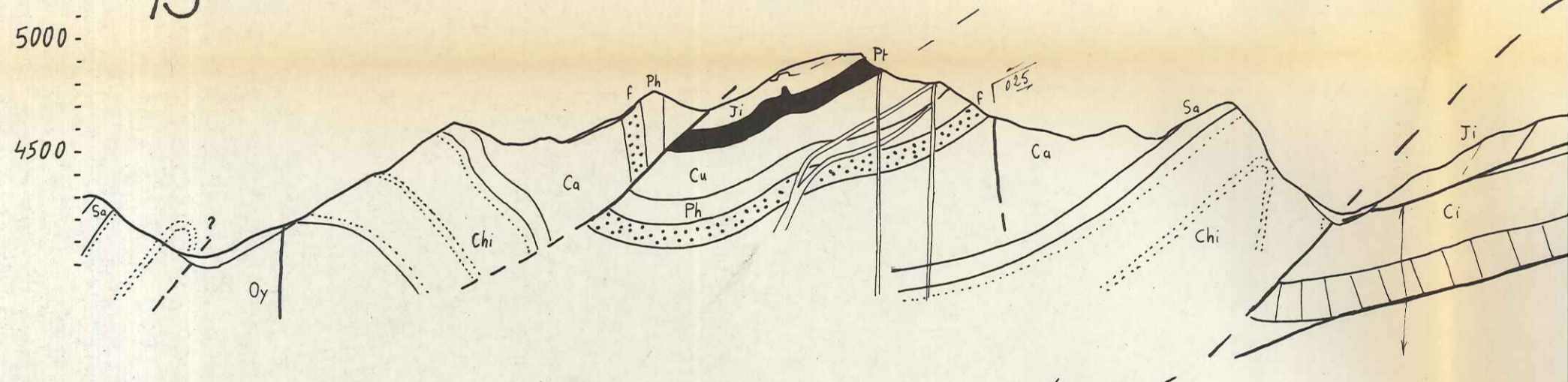
SW
17



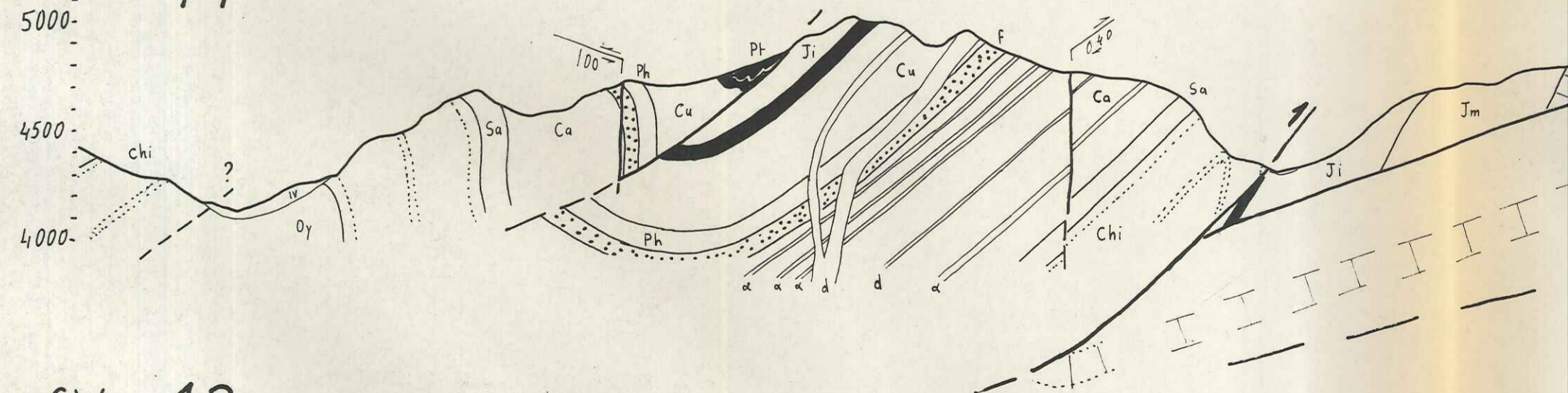
SW
16



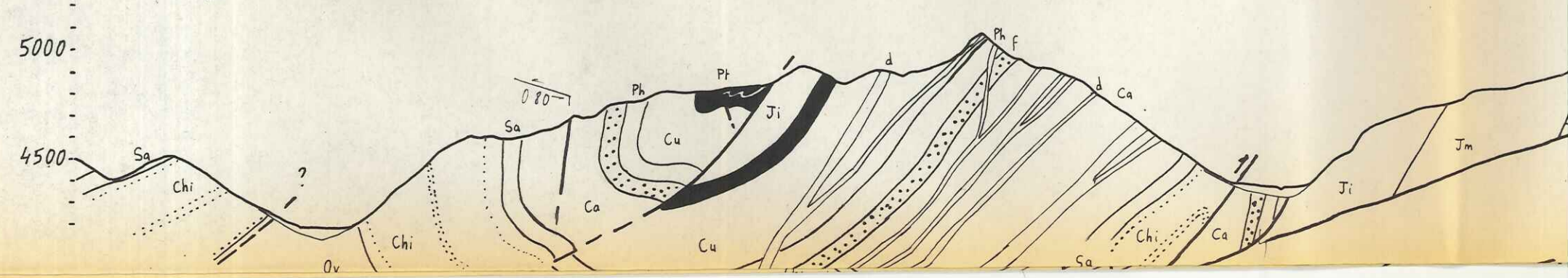
SW
15

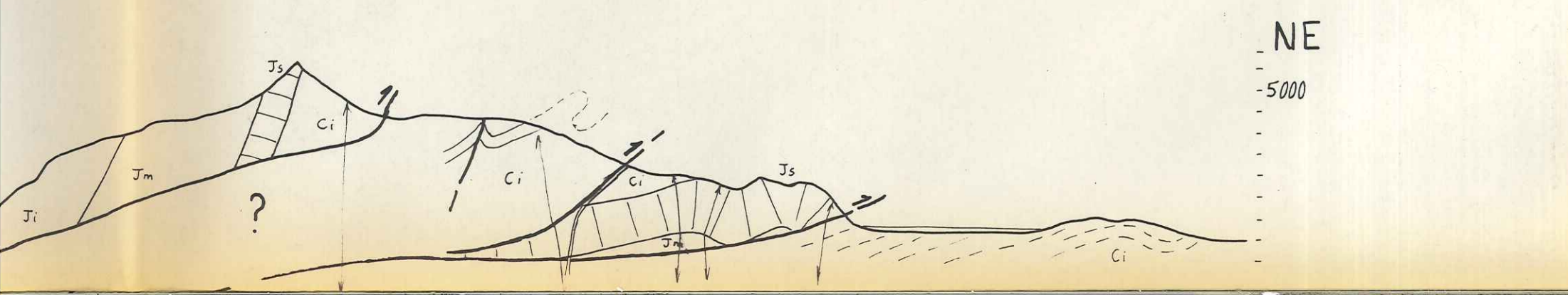
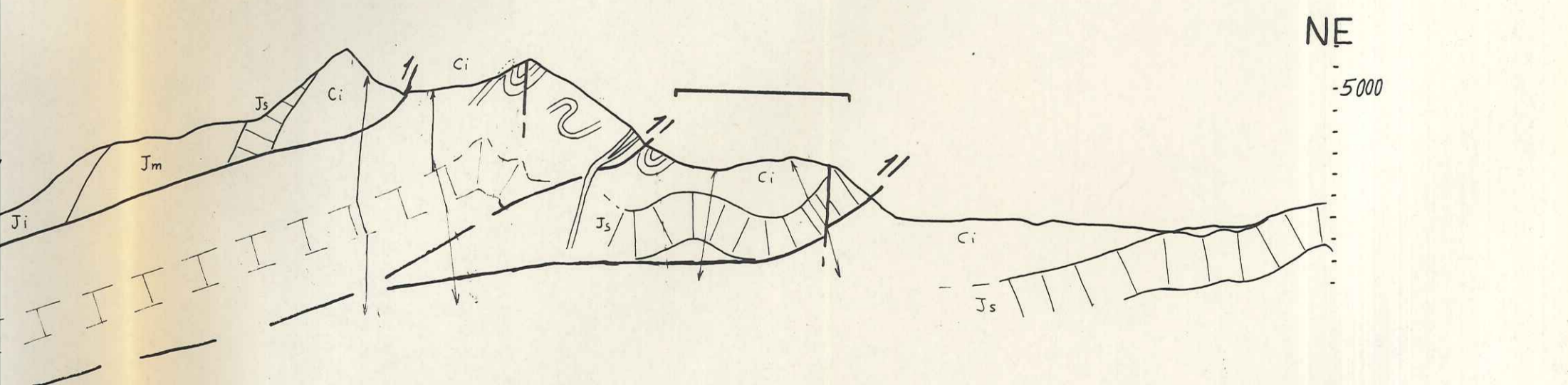
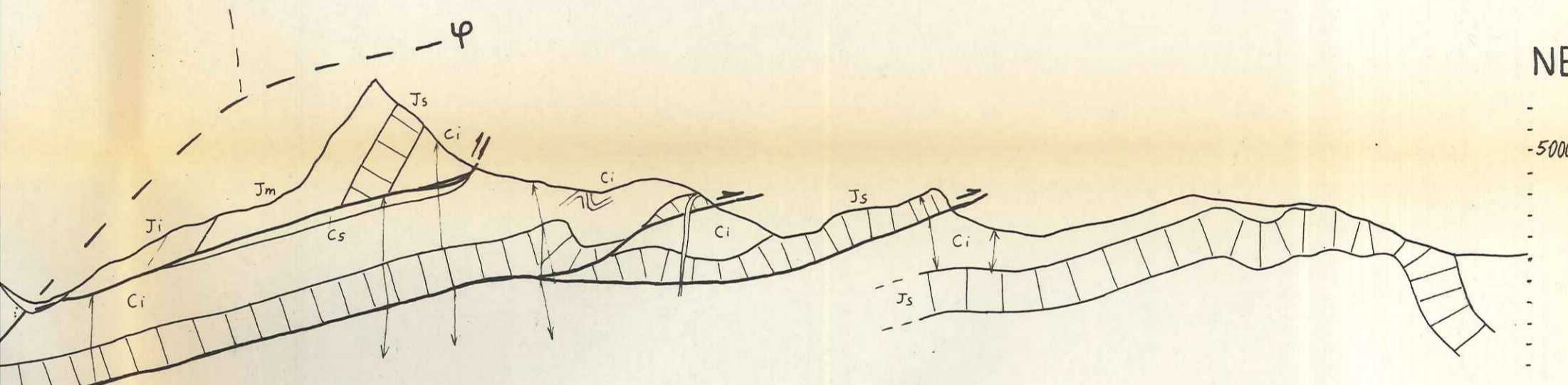
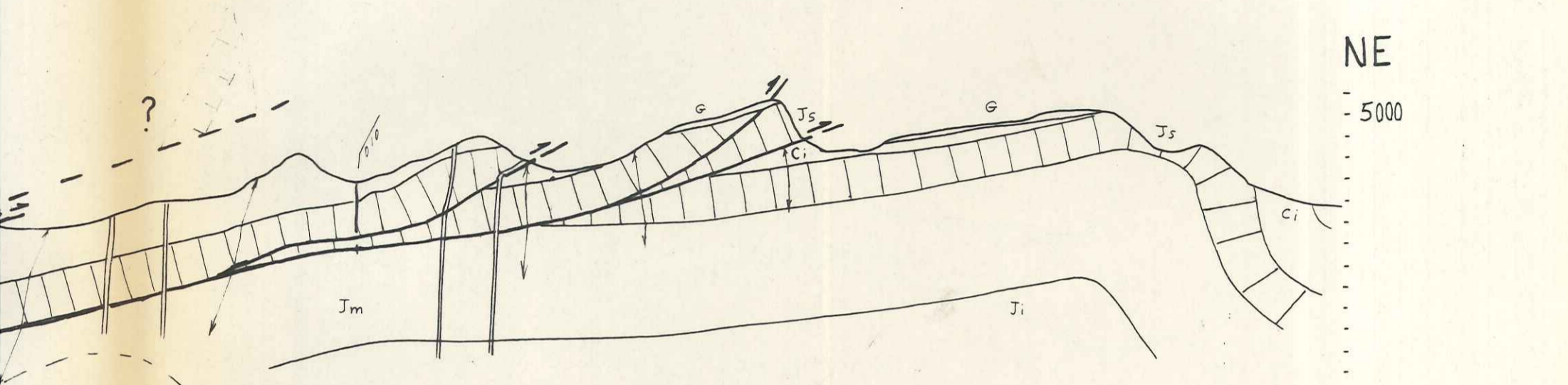
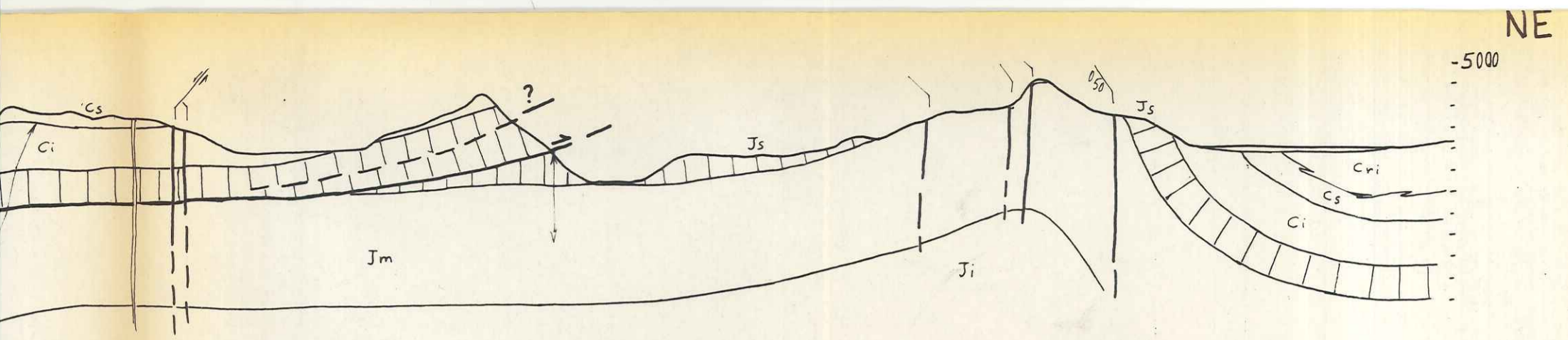


SW
14

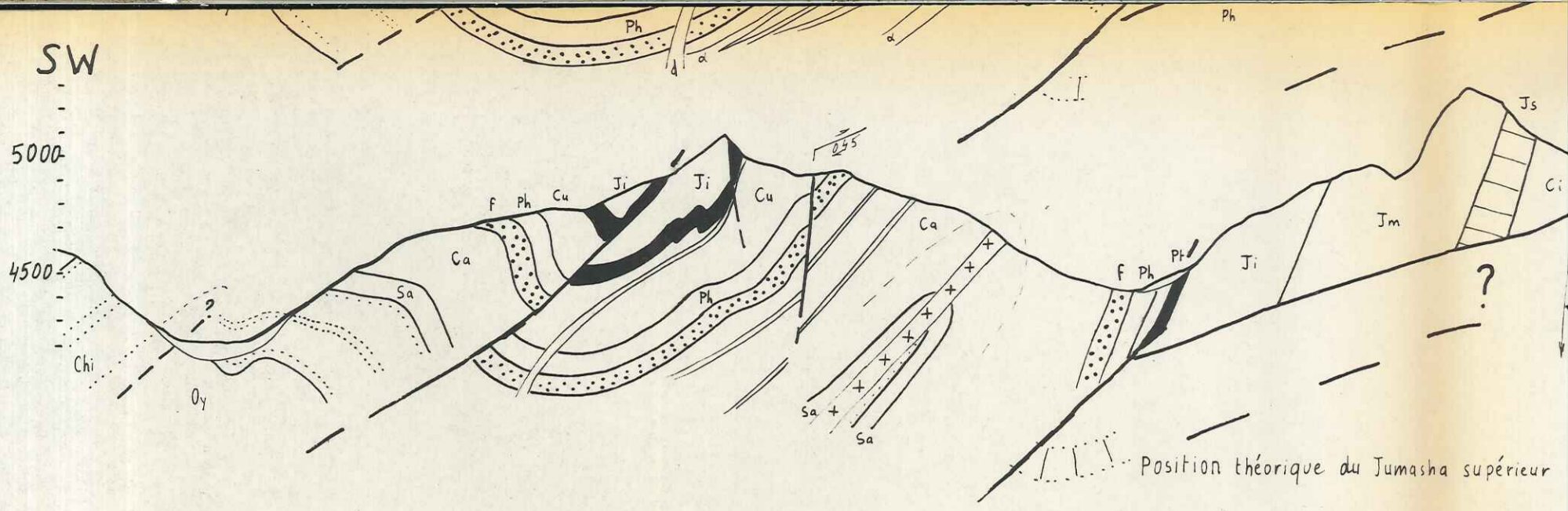


SW
13

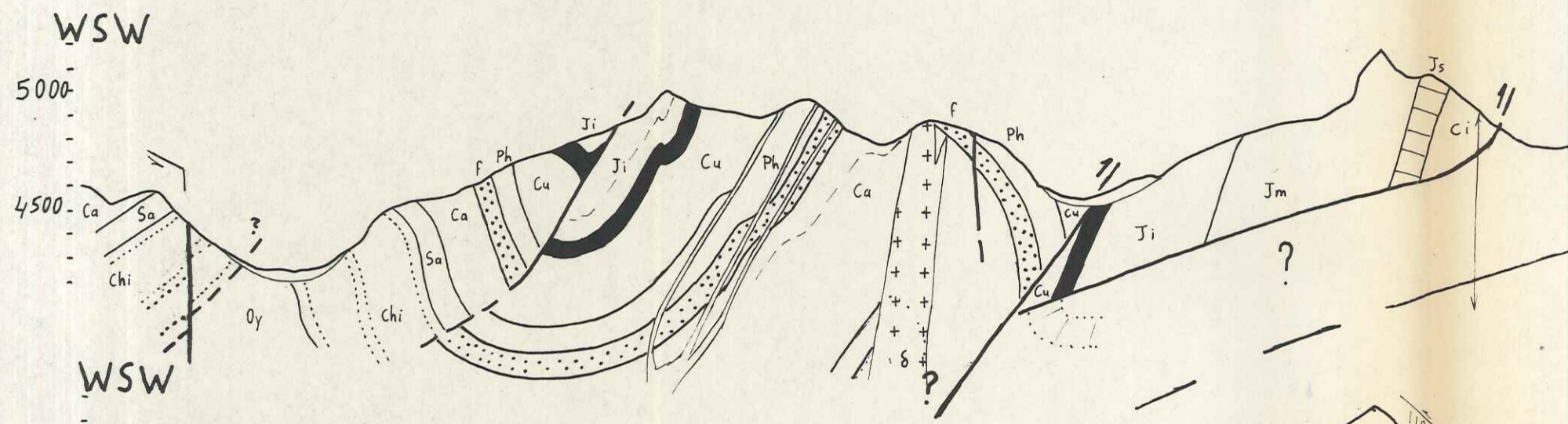




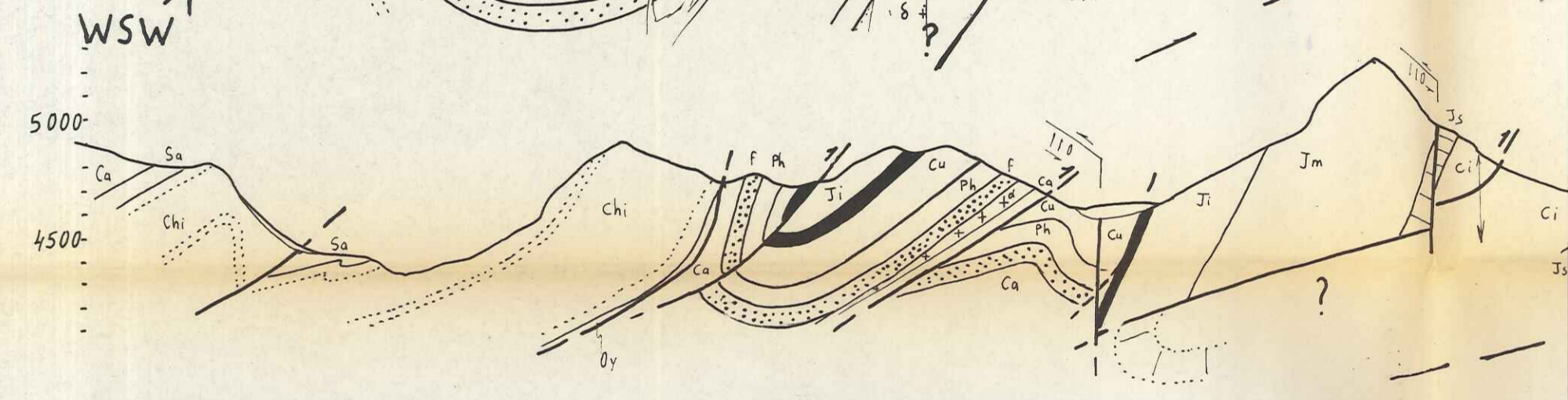
12



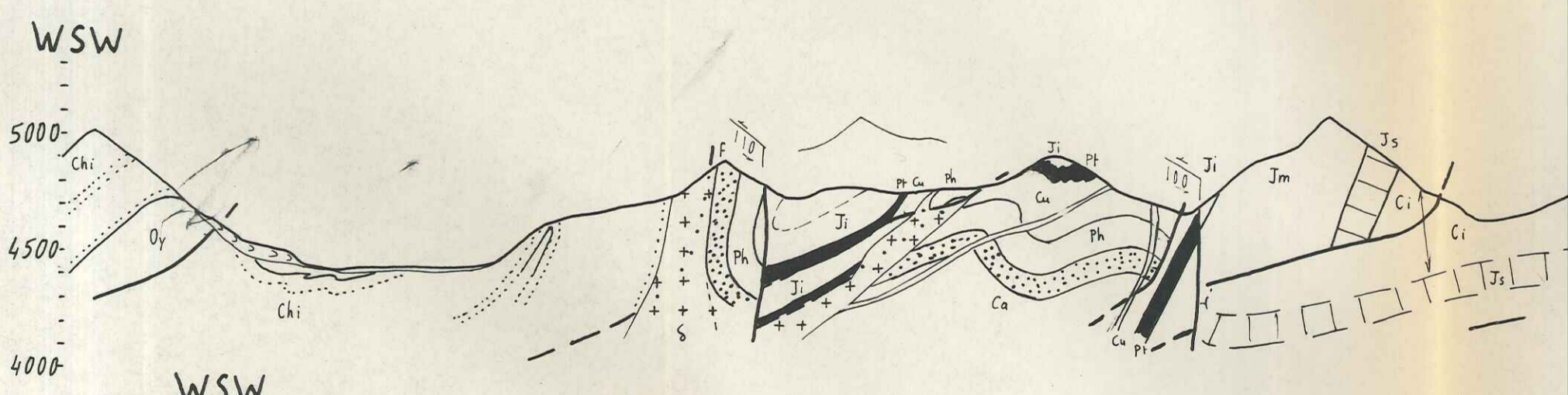
11



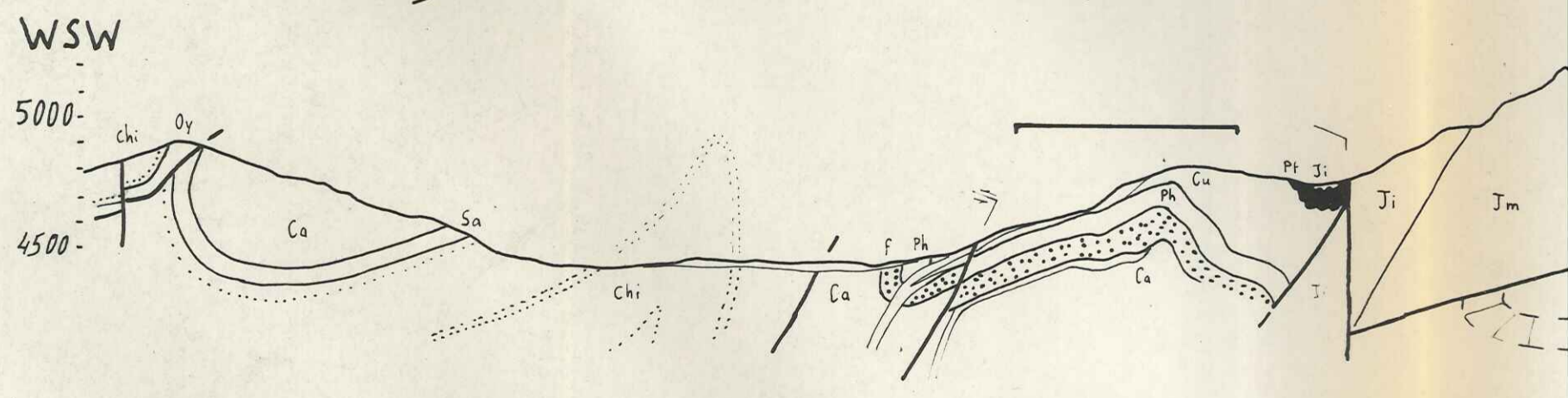
10



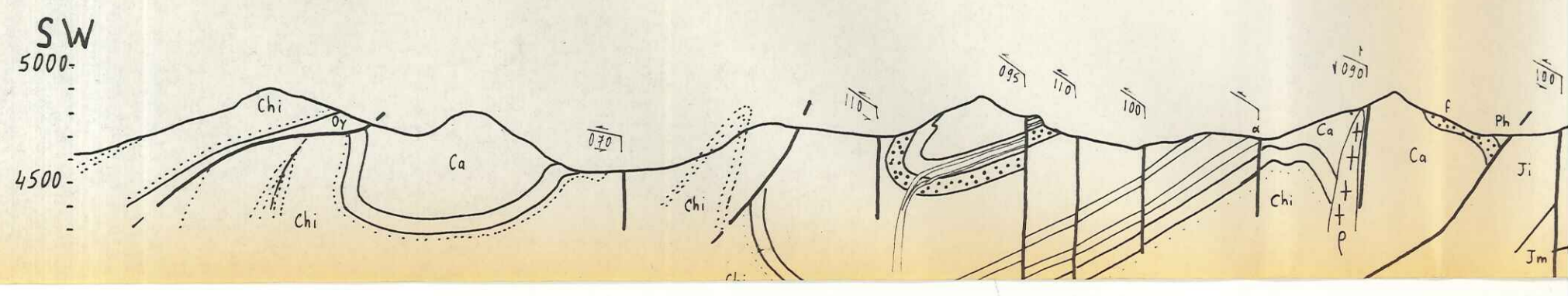
9

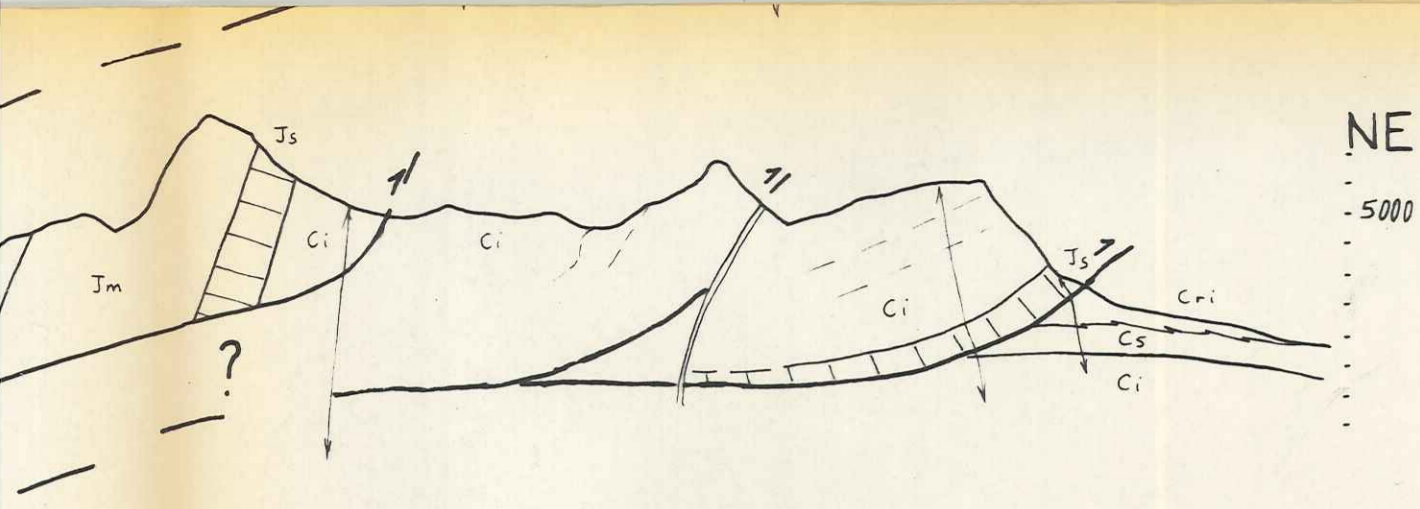


8

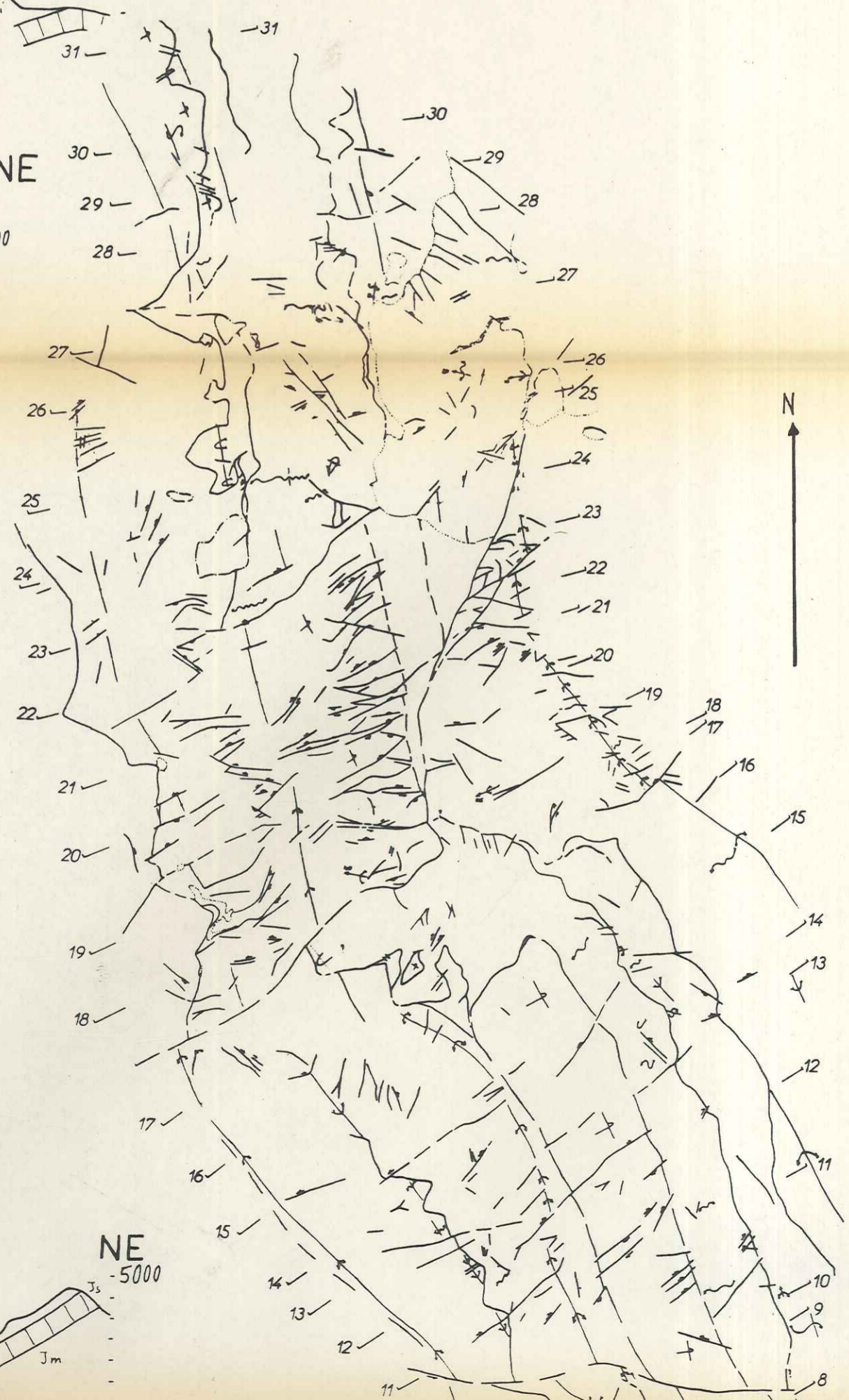
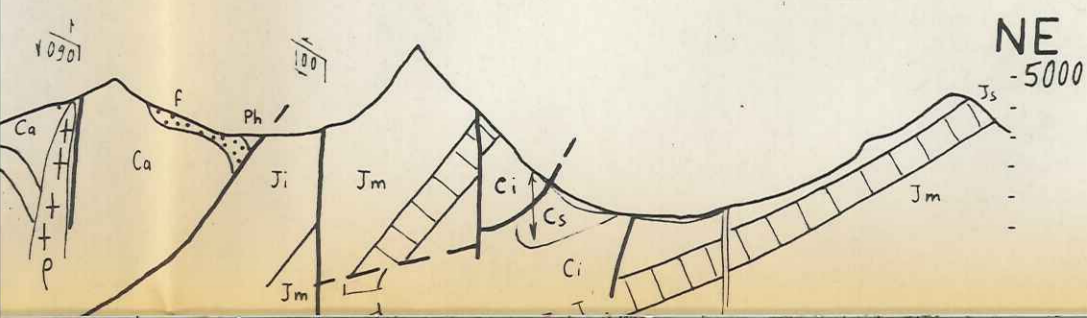
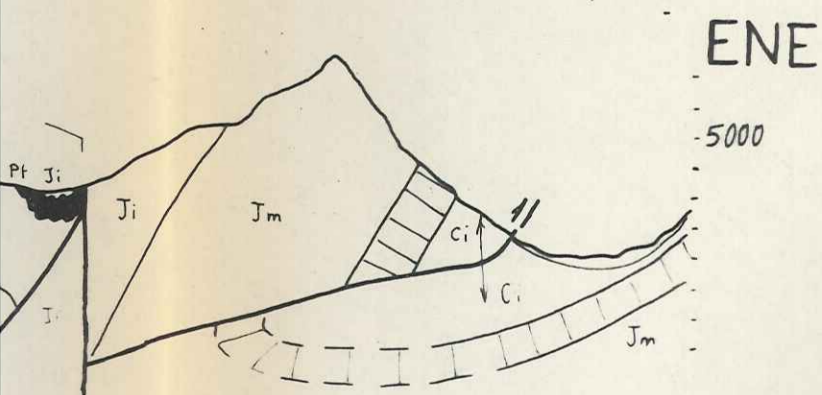
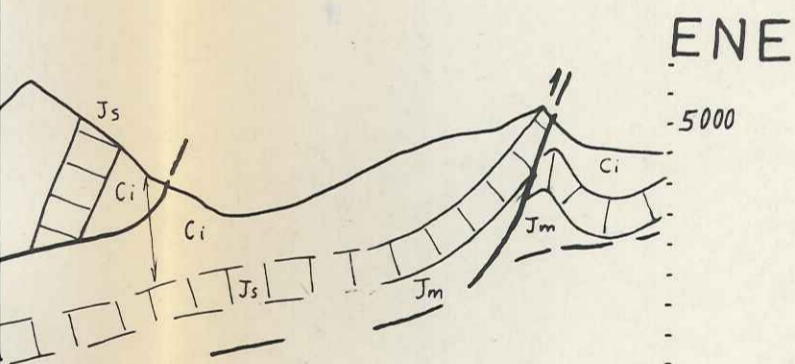
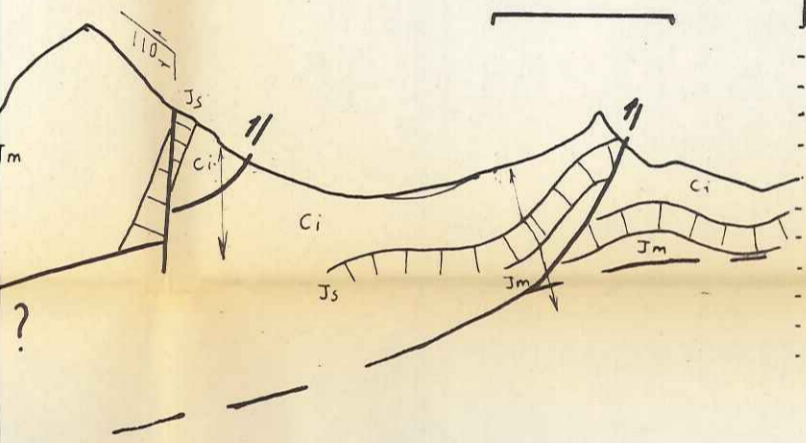
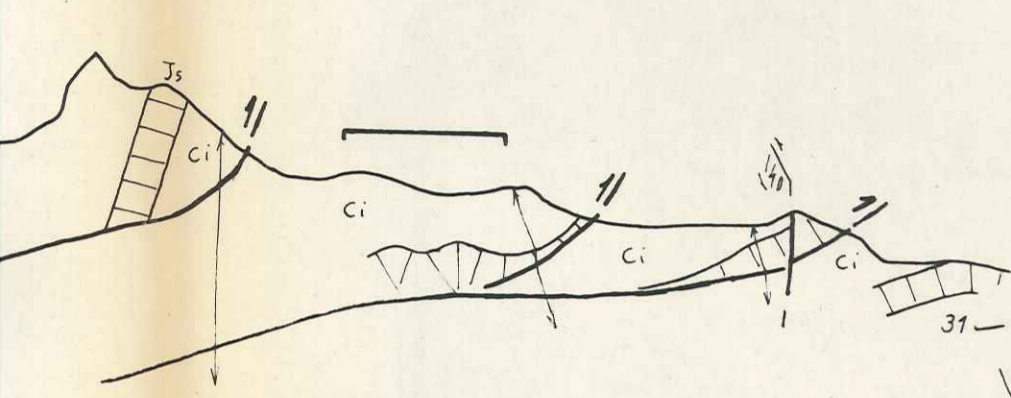


7



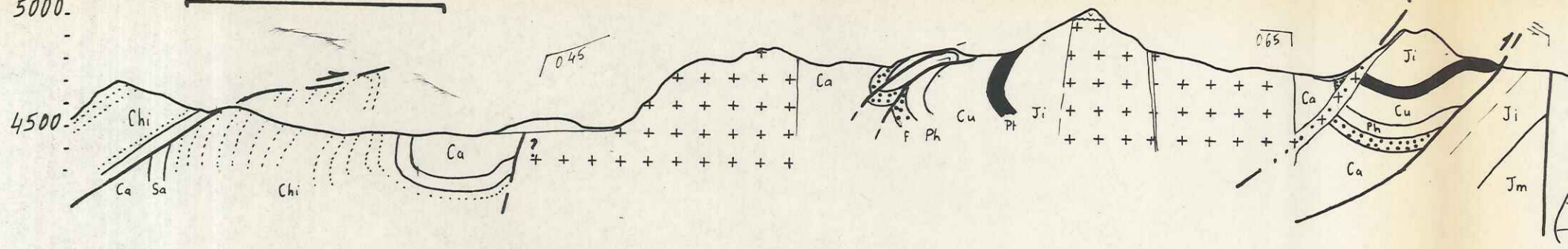


ve du Jumasha supérieur



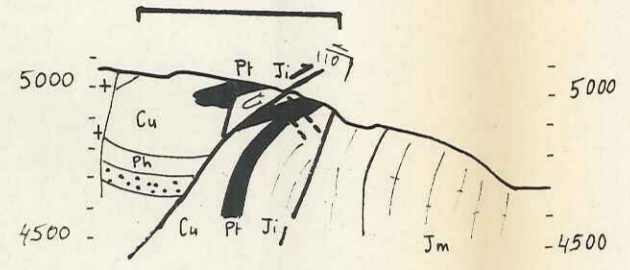
6

SW
5000
4500



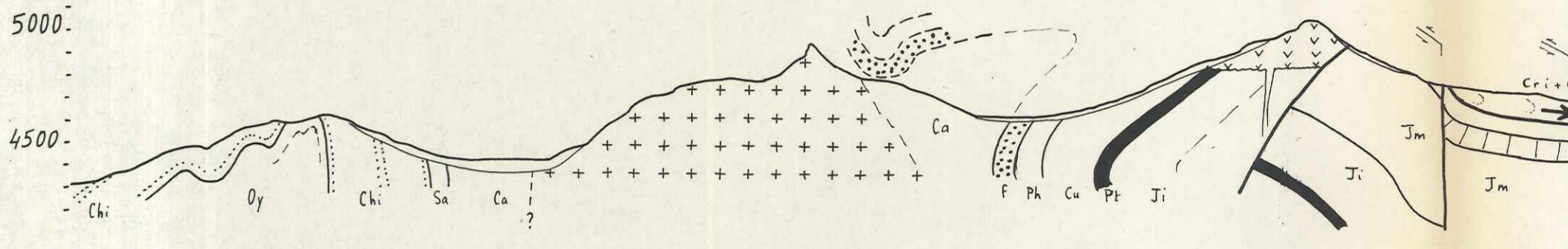
5

WNW



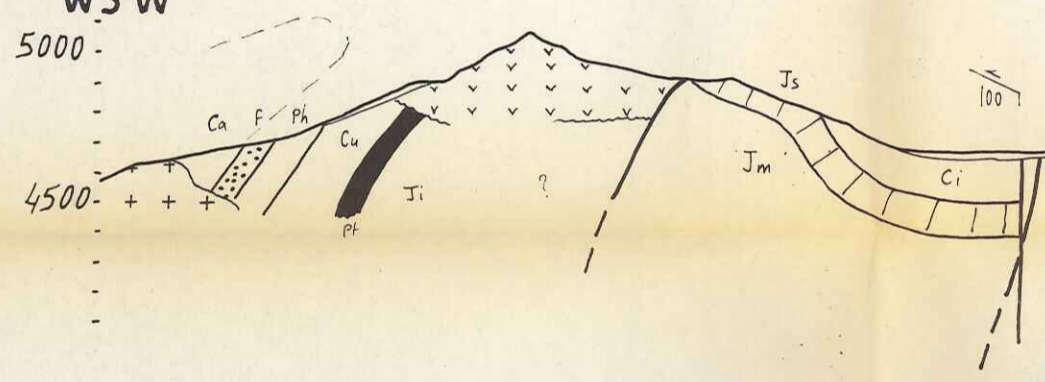
4

WSW
5000
4500



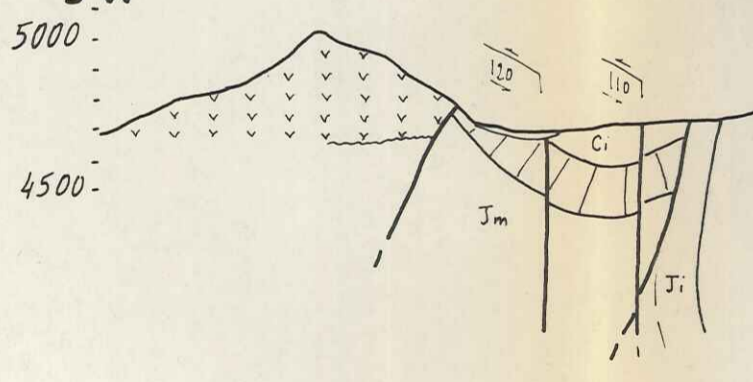
3

WSW



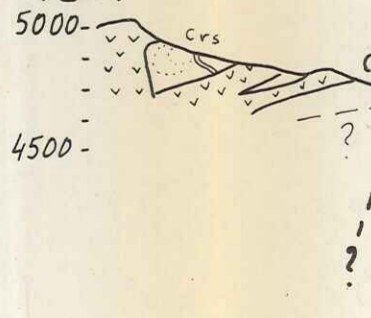
2

SW

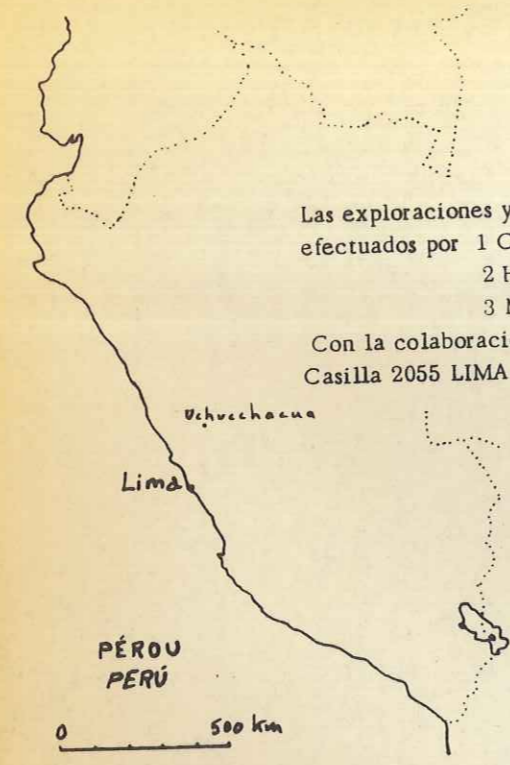
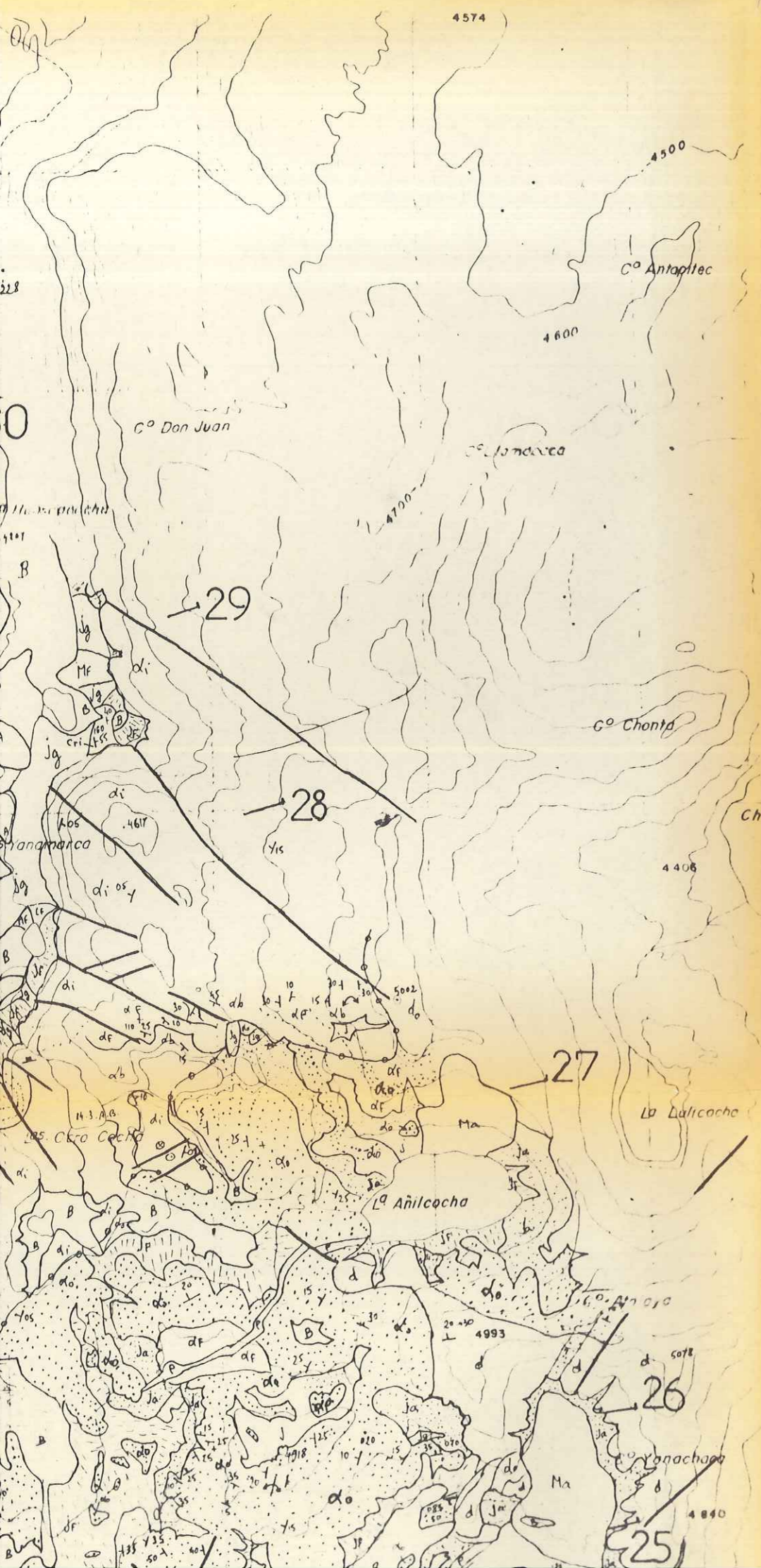


1

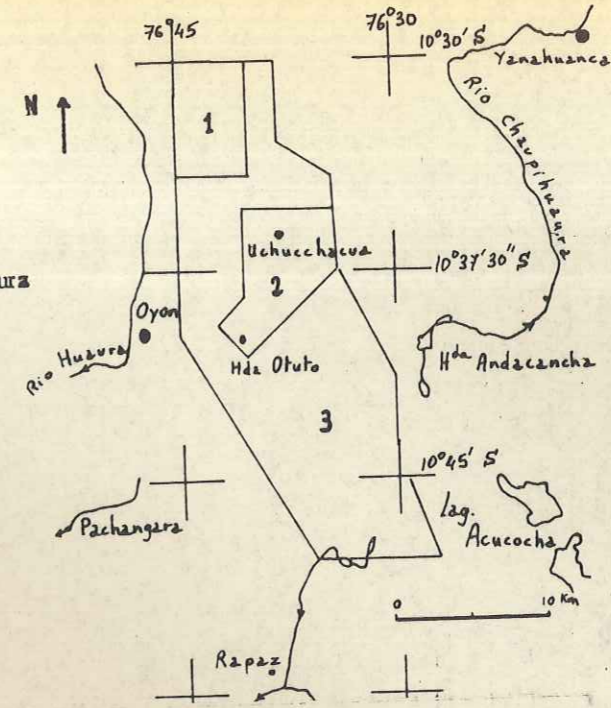
WSW



MAPAS UCHUCCHACUA Y HACIENDA OTUTO



Las exploraciones y los trazados geologicos han estado efectuados por
 1 C. Angeles Zegarra
 2 H. Nunez del Prado y M. Romani
 3 M. Romani
 Con la colaboracion de la compania de Minas Buenaventura
 Casilla 2055 LIMA 1 PERU



B	Boiedal , turbera , pantano	Tourbe , marécage à plantes grasses
A	Aluviones actuales	Alluvions actuels
Ja	Escombros activos	Eboulis actif ou entretenu
J	Escombros finos estratificados	Grèze (éboulis fin stratifié)
Jf	Escombros antiguos o "grèze" antiguo	Eboulis ancien ou grèze ancien
Jg	Escombros con grandes bloques	Eboulis à gros blocs
h	Flujo de lodo o huayco	Coulée boueuse
Cac	Cono torrencial activo	Cône torrentiel actif
Cf	Cono torrencial antiguo o activo excepcionalmente	Cône torrentiel ancien ou actif exceptionnellement
Cma	Abanico mixto (torrencial y escombros) activo	Cône mixte (torrencial et éboulis) actif
Cmf	Abanico mixto (torrencial y escombros) antiguo	Cône mixte (torrencial et éboulis) ancien
o.u.o.	Travertino ; toba calcarea	Travertin ; tuf calcaire
Ma	Morrena sin vegetacion (probablemente edad glacial 1700 1800)	Moraine sans végétation (probablement age glaciaire 1700 1800)
Mf	Morrena con vegetacion (mas antigua)	Moraine avec végétation (plus ancienne)
G	Glaciar	Glacier
1	Zona de arraque	1 Niche d'arrachement fraîche
2	Deslizamiento	2 Glissement actif
K	Eskarn	Skarn
K	Dique o sill	Dyke ou sill

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
 INSTITUT DE GEOLOGIE
 DOCUMENTATION
 RUE MAURICE GIGNOUX
 F 38031 GRENOBLE CEDEX
 TEL. (76) 87.46.43





25 Ricari

24

23

22

21

Jeruira

Contadera

Co Yanarodo

La Manchacuta

Co Namin

Culicocha

Suerocacha

Co Alto Peru

La Ahicocha

Las Chacra

Co Parachacra

La Cutacocha

Uchuc Churu

Co Nazaroda

Co Ayacucho

4800

4700

4600

4500

4400

4300

4200

4100

4000

3900

3800

3700

3600

3500

3400

3300

3200

3100

3000

2900

2800

2700

2600

2500

2400

2300

2200

2100

2000

1900

1800

1700

1600

1500

1400

1300

1200

1100

1000

900

800

700

600

500

400

300

200

100

0

-100

-200

-300

-400

-500

-600

-700

-800

-900

-1000

-1100

-1200

-1300

-1400

-1500

-1600

-1700

-1800

-1900

-2000

-2100

-2200

-2300

-2400

-2500

-2600

-2700

-2800

-2900

-3000

-3100

-3200

-3300

-3400

-3500

-3600

-3700

-3800

-3900

-4000

-4100

-4200

-4300

-4400

-4500

-4600

-4700

-4800

-4900

-5000

-5100

-5200

-5300

-5400

-5500

-5600

-5700

-5800

-5900

-6000

-6100

-6200

-6300

-6400

-6500

-6600

-6700

-6800

-6900

-7000

-7100

-7200

-7300

-7400

-7500

-7600

-7700

-7800

-7900

-8000

-8100

-8200

-8300

-8400

-8500

-8600

-8700

-8800

-8900

-9000

-9100

-9200

-9300

-9400

-9500

-9600

-9700

-9800

-9900

-10000

-10100

-10200

-10300

-10400

-10500

-10600

-10700

-10800

-10900

-11000

-11100

-11200

-11300

-11400

-11500

-11600

-11700

-11800

-11900

-12000

-12100

-12200

-12300

-12400

-12500

-12600

-12700

-12800

-12900

-13000

-13100

-13200

-13300

-13400

-13500

-13600

-13700

-13800

-13900

-14000

-14100

-14200

-14300

-14400

-14500

-14600

-14700

-14800

-14900

-15000

-15100

-15200

-15300

-15400

-15500

-15600

-15700

-15800

-15900

-16000

-16100

-16200

-16300

-16400

-16500

-16600

-16700

-16800

-16900

-17000

-17100

-17200

-17300

-17400

-17500

-17600

-17700

-17800

-17900

-18000

-18100

-18200

-18300

-18400

-18500

-18600

-18700

-18800

-18900

-19000

-19100

-19200

-19300

-19400

-19500

-19600

-19700

-19800

-19900

-20000

-20100

-20200

-20300

-20400

-20500

-20600

-20700

-20800

-20900

-21000

-21100

-21200

-21300

-21400

-21500

-21600

-21700

-21800

-21900

-22000

-22100

-22200

-22300

-22400

-22500

-22600

-22700

-22800

-22900

-23000

-23100

-23200</



20

19

18

17

16

La. Polón

Co. Pango

Varusanchanan

Co. Rios Pango

Co. Yuracapia

Co. Baguracha

Os. Piedra Partida

Co. Quillhuacha

Ha. Otufo

Co. Quillhuacha

Co. Caranhu

Co. Yungachaca

Co. Ancha

Ruco Hf

4703

4936

4000

4100

4200

4300

4400

4500

4600

4700

4800

4900

5000

5100

5200

5300

5400

5500

5600

5700

5800

5900

6000

6100

6200

6300

6400

6500

6600

6700

6800

6900

7000

7100

7200

7300

7400

7500

7600

7700

7800

7900

8000

8100

8200

8300

8400

8500

8600

8700

8800

8900

9000

9100

9200

9300

9400

9500

9600

9700

9800

9900

10000

10100

10200

10300

10400

10500

10600

10700

10800

10900

11000

11100

11200

11300

11400

11500

11600

11700

11800

11900

12000

12100

12200

12300

12400

12500

12600

12700

12800

12900

13000

13100

13200

13300

13400

13500

13600

13700

13800

13900

14000

14100

14200

14300

14400

14500

14600

14700

14800

14900

15000

15100

15200

15300

15400

15500

15600

15700

15800

15900

16000

16100

16200

16300

16400

16500

16600

16700

16800

16900

17000

17100

17200

17300

17400

17500

17600

17700

17800

17900

18000

18100

18200

18300

18400

18500

18600

18700

18800

18900

19000

19100

19200

19300

19400

19500

19600

19700

19800

19900

20000

20100

20200

20300

20400

20500

20600

20700

20800

20900

21000

21100

21200

21300

21400

21500

21600

21700

21800

21900

22000

22100

22200

22300

22400

22500

22600

22700

22800

22900

23000

23100

23200

23300

23400

23500

23600

23700

23800

23900

24000

24100

24200

24300

24400

24500

24600

24700

24800

24900

25000

25100

25200

25300

25400

25500

25600

25700

25800

25900

26000

26100

26200

26300

26400

26500

26600

26700

26800

26900

27000

27100

27200

27300

27400

27500

27600

27700

27800

27900

28000

28100

28200

28300

28400

28500

28600

28700

28800

28900

29000

29100

29200

29300

29400

29500

29600

29700

29800

29900

30000

30100

30200

30300

30400

30500

30600

30700

30800

30900

31000

31100

31200

31300

31400

31500

31600

31700

31800

31900

32000

32100

32200

32300

32400</

- Buzamiento de :
- 1 - esquistosidad
 - 2 - esquistosidad rellena de calcita
 - 3 - contacto anormal
 - 4 - diaclasa
- Buzamiento
- 1 - con valor en grados
 - 2 - inverso con valor en grados
 - + direccion en grados
- Buzamiento
- 1 - zero
 - 2 - vertical

Stria de direccion norte 70 que buza de 15 grados al este

- Axes de pliegues :
- 1 - anticlinal simetrico
 - 2 - sinclinal simetrico
 - + buzamiento del eje en grados

- Axes de pliegues :
- 1 - derramado o acostado anticlinal
 - 2 - derramado o acostado sinclinal
 - + buzamiento del eje en grados

Proyeccion ortogonal de rastro de pliegue

- contacto normal visible
- contacto normal enmascado o probable
- contacto anormal visible
- contacto anormal enmascado o probable

Trazado de seccion geologica

- Pendage de :
- 1 schistosite
 - 2 - schistosité remplie de calcite
 - 3 - contact anormal
 - 4 - diaclase

- Pendage
- 1 - avec valeur en degrés
 - 2 - inverse avec valeur en degrés
 - + direction en degrés

- Pendage
- 1 - zero
 - 2 - vertical

Stria de direction nord 70 qui pend de 15 degrés vers l'E

- Axes de plis :
- 1 - anticlinal symétrique
 - 2 - synclinal symétrique
 - + pendage de l'axe en degrés

- Axes de plis :
- 1 - déversé ou couché anticlinal
 - 2 - déversé ou couché synclinal
 - + pendage de l'axe en degrés

Trace de pli

- 1 - contact normal visible
- 2 - contact normal masqué ou probable
- 3 - contact anormal visible
- 4 - contact anormal masqué ou probable

Tracé de coupe géologique

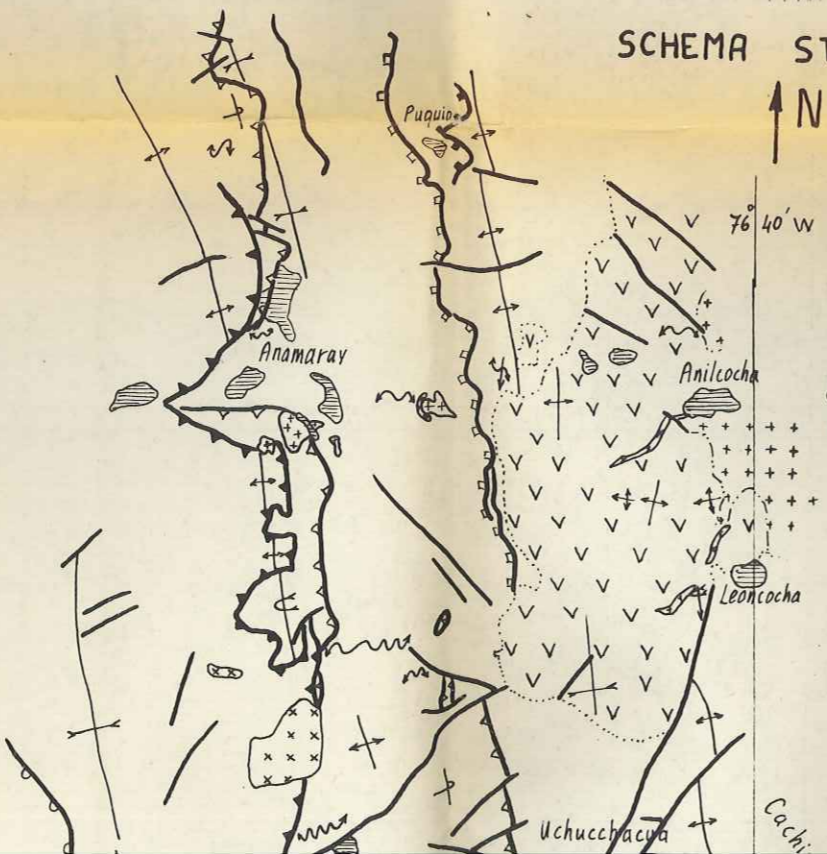


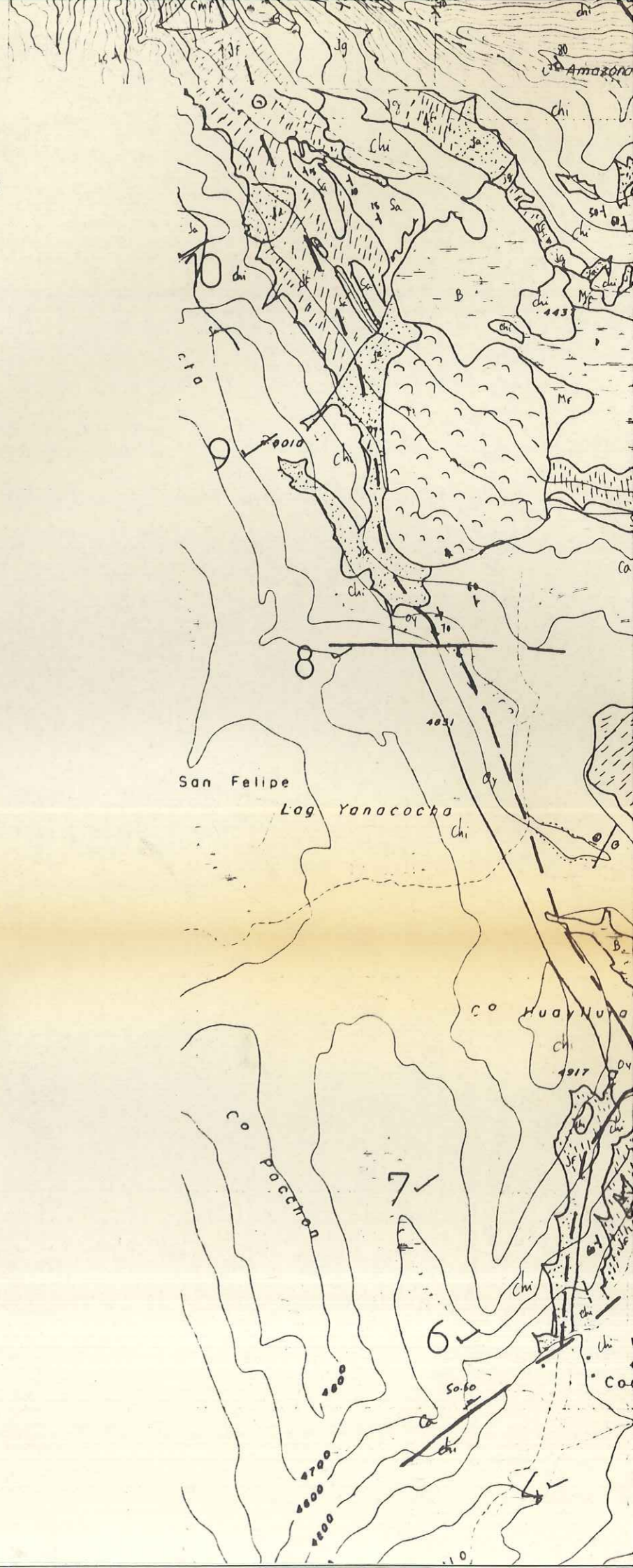
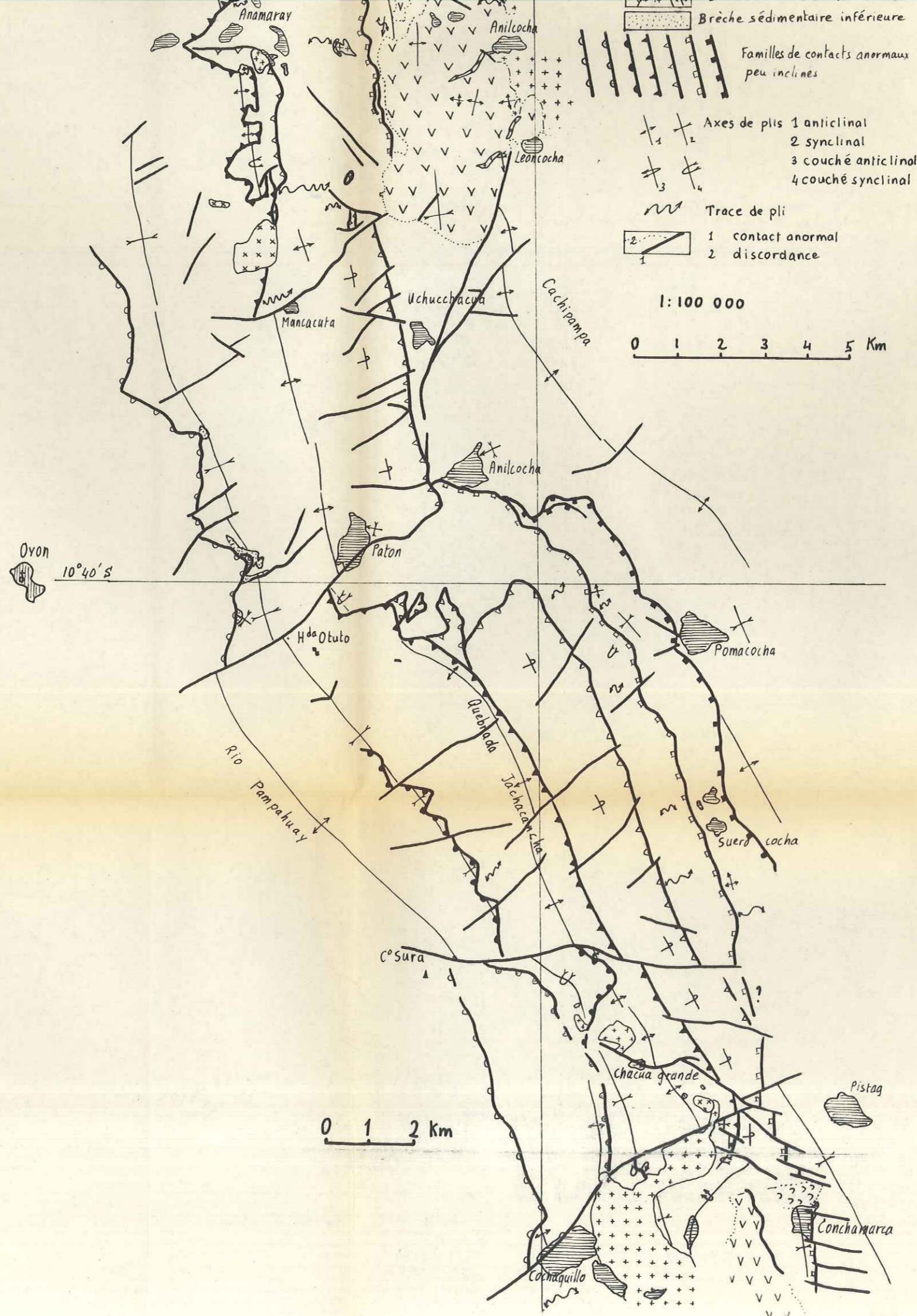
SCHEMA STRUCTURAL



- Glissement ancien
- Brèche sédimentaire
- e Rhyolite
- v Volcanisme
- s Dacite ou andésite intrusives
- Brèche sédimentaire inférieure
- Familles de contacts anormaux peu inclinés
- Axes de plis 1 anticlinal
2 synclinal
3 couché anticlinal
4 couché synclinal
- Trace de pli
- 1 contact anormal
2 discordance

1:100 000





R E S U M E

Dans un but de prospection pour la compagnie Buenaventura, nous avons étudié et cartographié au 1/25 000 une portion de la haute Cordillère Occidentale du Pérou Central (partie septentrionale entre 10°32'S et 10°48'S, 150km au N de Lima) à l'Est du batholite côtier. Ce mémoire débute par la description de la profonde vallée du rio Huaura qui offre une coupe naturelle perpendiculaire à l'axe de la Cordillère Occidentale et permet d'en recouper toutes les structures.

Au point de vue stratigraphique, le bassin Ouest Péruvien présente du côté occidental une épaisse série essentiellement volcanique (groupe Casma) d'âge Crétacé, car elle contient à sa base la sous unité Puente Colgante, datée du Crétacé inférieur, et en son milieu, la sous unité Paccho Tingo, probablement de la fin de l'Albien.

Vers l'E, ce bassin Ouest péruvien débute par une série sédimentaire terrigène, monotone et d'âge crétacé inférieur (Albien exclu), interrompue par une légère transgression valanginienne donnant une unité calcaire. La grande transgression de l'Albien amène des carbonates (dont la fm Jumasha) jusqu'au Santonien, époque à laquelle la régression liée aux premiers mouvements andins fait apparaître des faciès continentaux.

Dans le secteur cartographié, la biostratigraphie, les milieux des dépôts et l'âge de la formation Jumasha ont été précisés. Elle est datée de l'Albien supérieur jusqu'au Turonien (pro parte).

Par dessus et occupant une grande surface de la Cordillère Occidentale, la série volcanique du groupe Calipay, d'âge tertiaire, recouvre en discordance le groupe Casma et partiellement la série orientale.

Au point de vue tectonique la période tectogénétique débute au Crétacé supérieur et se manifeste alors par le changement de régime de sédimentation ; on voit se succéder des phases compressives relativement brèves ; trois sont majeures et orientées SE-NW (Inca et Quechua 1) ou EW (Quechua 3). Deux autres sont plus discrètes et d'orientation subméridienne (Quechua 2 et l'autre plioquaternaire). Deux épisodes distensifs, au moins, s'intercalent entre les dernières compressions.

En amont du batholite côtier qui occupe la basse vallée du rio Huaura et jusqu'au faite de la Cordillère Occidentale, les phases compressives andines ont conféré aux séries des styles tectoniques différents qui sont d'ouest en est :

- cassants et localement ductiles au sein du groupe Casma ;
- ductiles avec des plis à vergences opposées près de Churin (fig.6) ;
- en amont de ce village, ils sont asymétriques avec une vergence NE ;
- cassants et plicatifs dans la zone "imbriquée" où se localise une succession de chevauchements qui s'effectuent vers le N.E. Les différents styles ne sont pas liés respectivement à une phase déterminée, mais sont le résultat de la superposition de plusieurs de ces mouvements.

L'analyse des structures dans la zone "imbriquée" montre des plis asymétriques, parfois cisailés à la base par des chevauchements, parfois tronqués au sommet par d'autres chevauchements. Ces accidents ont probablement pour origine une réactivation en compression des failles listriques normales de la bordure orientale du bassin Ouest péruvien. La géométrie, la flèche de ces chevauchements et la présence d'une formation plastique de schistes carbonneux à la base de la série crétacée (fm Oyon), nous permettent d'imaginer que cette série est entièrement décollée des termes sous-jacents. D'autre part, l'absence d'écaillés anté-crétacées au coeur des anticlinaux où affleure la formation Oyon (fini-jurassique, éocrétacée), sous entend que le style tectonique du Jurassique est moins cassant. Ainsi existe-t-il probablement une dysharmonie entre le Jurassique et le Crétacé.

Des failles verticales transverses aux structures déchirent la couverture crétacée depuis la première phase andine majeure (phase Inca). En effet elles tronçonnent le secteur en unités structurales ayant des comportements tectoniques différents de part et d'autre.

Dans le secteur étudié, le raccourcissement est d'environ 60 %, c'est-à-dire un chiffre supérieur aux 40 % que l'on peut mesurer depuis le bord E du batholite côtier jusqu'au faite de la Cordillère Occidentale. Si l'on admet que le Précambrien du bourrelet côtier immergé a été moins déformé que la zone imbriquée étudiée, c'est un raccourcissement moyen de 33 % que l'on peut admettre depuis la fosse jusqu'à la zone "imbriquée". Il faut donc, en plus de la schistosité, cliver le substratum à l'aide d'accidents majeurs, ou bien imaginer un comportement plus plastique de ce socle, tel qu'un aplatissement pur impliquant un épaissement de la croûte.

Au point de vue du volcanisme l'activité ignée, correspond à cinq pulsions magmatiques qui débutent probablement avant le plissement andin par un épisode shoshonitique (un dyke de banakite à Anamaray encore non daté). Il s'agit de la première découverte de ce type d'intrusif dans la Cordillère Occidentale du Pérou. Au cours de la tectonogenèse andine, s'installe ensuite un magmatisme intermédiaire. Dans la mine Uchucchacua, un neck dacitique est daté de 25.3 ± 0.8 M.a. Les sills et dykes proches de l'axe du synclinal situé au S de l'Hacienda Otuto, appartiennent à une lignée calco-alcaline définie et appartiennent peut-être à l'épisode magmatique régional daté d'environ 10 M.a. A la fin du Miocène, des coulées à blocs, des tufs et des laves forment au nord de Uchucchacua une série volcanique puissante de 500 m et datée en son sommet de 5.4 ± 1 M.a. Au début de Pliocène, elle est plissée par la phase Quechua 3 en un grand synclinal ouvert d'axe N S. Enfin, des intrusifs acides complètent cette lignée calco-alcaline.

Au point de vue métallogénie, chaque pulsion magmatique entraîne un cortège de minéralisations constitué de skarns riches en grossulaire, andradite, datolite et carbonates, et de solutions mésothermales donnant des sulfosels et des sulfures d'Ag, Pb, Zn, Cu. Les épisodes minéralisateurs, économiquement exploitables, sont datés de 25 M.a (?) et de 9 M.a. Le gisement que j'ai découvert au NE de la feuille Rapaz semble plus récent, son minerai étant probablement associé à un plug rhyolitique.

Mots clés : Pérou - Cordillère Occidentale - Zone "imbriquée" - Stratigraphie du Crétacé - Magmatisme - Lignées Calco-alcalines - Datations K-Ar - Minéralisations hydrothermales - Tectonique - Chevauchement polyphasé - Failles listriques inverses - Raccourcissements.