

# **ETAT D'AVANCEMENT DE L'ANALYSE DES CAROTTES DE GLACE DU CHIMBORAZO (EQUATEUR)**

**Hervé BONNAVEIRA, Jean-Denis TAUPIN, Maria-Angelica GODOI, Patrick GINOT,  
Michel POURCHET, Ulrich SCHOTTERER, Willibald STICHLER**

**juin 2001**

**IRD**

**INAMHI**

**PSI**

**LGGE**

**LSCE**

# Clima provoca caos y desinformación

**Expedición • 20 científicos franceses, suizos y ecuatorianos estuvieron durante 16 días en las alturas**  
**El Chimborazo, una cumbre que guarda secretos**

## Misión a 6.310 metros



■ CUMBRE DEL CHIMBORAZO.— Bernard Franco y otro científico manipulan el perforador para extraer el hielo.



El volcán Chimborazo encierra en sus entrañas una serie de datos sobre los cambios del clima y otros factores que influyen en nuestro convivir, pero llegar a él y estudiarlo es un reto.

La delegación está integrada por Patrick Ginot, Félix Stumphi, Ulrich Schotterer, Miguel Yustu, Franz Quispe, Etienne Bertia, Bernard Pouyand, Robert Gallaire, Edson Ramírez, Patrick Wagnon, Jean Robert Petit, Francois Valla, Ramón Chango, Luis Maisincho, Laurent Cussol, Georg Hofmann.

■ Félix Stampfli, suizo, presidente de la FS Inventor SA, empresa fabricante del perforador, se encuentra también en la cumbre.



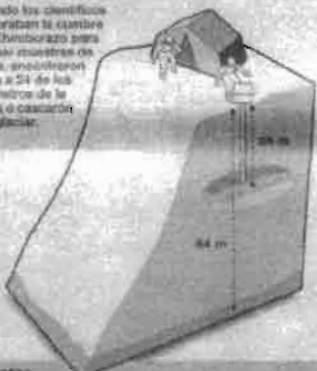
### Muestras serán analizadas en Europa

EL EQUIPO de científicos, dirigidos por Bernard Franco, investigador del IRD, al término de una semana de misión, las muestras de hielo recogidas serán analizadas en laboratorios de Grenoble (norte Francia) y Berna (Suiza).

El estudio de los isotopos del hielo nos permite detectar la evolución de fenómenos como El Niño hasta un pasado lejano, y las

### AGUA EN LA NIEVE

Cuando los científicos perforaban la cumbre del Chimborazo para extraer muestras de nieve, encontraron agua a 24 de los 64 metros de la cota o cascadas del glaciar.



#### Datos

Del lado suroccidental hacia el norte. El Tongacha y el Cotacachi, a 82°C en la cumbre de los cerros, en febrero de 1998.

El Chimborazo está hoy en calma tras una gran explosión que dejó volar cenizas y cenizas y no ha registrado ninguna explosión en los últimos 10 años.

El viento será fuerte y frío.

A4 VIERNES 11 DE DICIEMBRE DEL 2000 SUCI

### PELIGRA ABASTECIMIENTO DE AGUA

## Desaparecen nieves eternas del Ecuador

El descongelamiento de los casquetes glaciares en los volcanes andinos, podrían provocar una disminución de aprovisionamiento de agua en Quito. Lo propio ocurriría en Lima y La Paz.

### Perforación llega a su fin

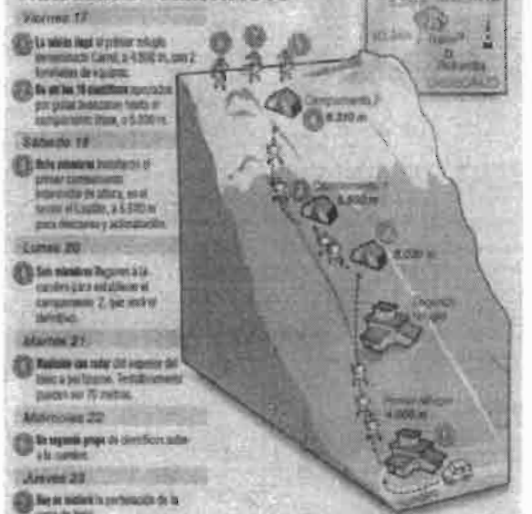
CAMPAMENTO BASE, Chimborazo.— Ayer llegó al pie del volcán el Chimborazo un equipo de científicos que transporta a Quito las muestras de hielo extraídas de la cumbre. Con esta labor y el descenso de los equipos utilizados para perforar el hielo, culminará la misión Chimborazo 2000 promovida por científicos de Francia, Suiza y Bolivia.

La expedición, que desde el 13 de noviembre se instaló en la cumbre del volcán, tuvo como propósito extraer muestras de hielo

de una gran extensión superficial. Los científicos están posteriormente analizando en sus laboratorios de Francia y Suiza para determinar la variación del clima a través de los tiempos y la periodicidad de los fenómenos El Niño y La Niña.

Las muestras de hielo obtenidas tras perforar los 63 metros del glaciar, fueron guardadas en tubos de PVC en un contenedor de plástico para evitar la contaminación, luego serán llevadas a Quito, Guayaquil y a Lima y Francia y Suiza.

### TRAVESÍA DE CIENTÍFICOS



<b>I Contexte scientifique</b>	p 3
<b>II Opération de carottage (novembre- décembre 2000)</b>	p 6
<b>III Etat des travaux effectués et en cours</b>	p 9
<b>IV Prochaines étapes et perspectives</b>	p 17

ANNEXE I: Compte-rendu des relevés de terrain

ANNEXE II: Premiers résultats sur CH24

ANNEXE III: Premiers résultats sur CH17

ANNEXE IV: Premiers résultats sur CH54

ANNEXE V: Premiers résultats sur CH40

# I Contexte scientifique

## Objectifs scientifiques:

Parmi l'ensemble des marqueurs paléoclimatiques, les archives glaciaires ont la spécificité de permettre de reconstituer le climat récent avec une haute résolution temporelle. Dans ce cadre, les études sur les carottages d'Antarctique ont déjà permis une reconstitution climatique sur les 4 derniers grands cycles glaciaire-interglaciaire soit environ 400000 ans représentant une épaisseur de près de 3500 m de glace.

Si l'on veut comprendre la variabilité du climat à l'échelle globale, il est nécessaire de chercher les causes de ces changements en zone tropicale (entre les deux Tropiques), zone qui reçoit le plus d'énergie et qui la redistribue vers les zones tempérées et polaires. On doit ainsi s'intéresser à la variabilité, au cours du temps, de la Zone de Convergence InterTropicale (ZCIT) qui gouverne la circulation globale des masses d'air, et plus particulièrement, pour la compréhension de la variabilité actuelle, l'occurrence accrue depuis ces 20 dernières années des événements El Niño-La Niña dont les perturbations se font sentir jusque dans les zones tempérées.

Le défi scientifique consiste à appliquer les méthodes de la paléoclimatologie glaciaire à ces régions tropicales de façon à comprendre l'évolution récente du climat et ainsi prévoir celle du futur. Les glaciers tropicaux, situés pour leur majeure partie dans les Andes d'Amérique du Sud, malgré leur très faible extension, sont donc une source unique d'informations paléoclimatiques. Cependant, leur dynamique de fonctionnement complètement différente de celle des glaciers des calottes glaciaires ou même des zones tempérées, et en particulier, la forte sublimation que les glaciers subissent pendant la saison sèche, nécessite en premier lieu une calibration sur l'actuel des différents signaux enregistrés dans les glaces avant de pouvoir les interpréter en terme climatique.

## Historique

Dans le milieu des années 80, les carottages pionniers de L.G. Thompson et de son équipe du Byrd Polar Research Center sur le Quelccaya et le Huascarán au Pérou ont justifié l'intérêt et la validité des carottes andines de haute altitude comme archive paléoclimatique. Cependant la logistique rudimentaire (absence de chaîne de froid pour conserver les échantillons sous forme solide) n'avait permis que des analyses en oxygène 18, de chimie des majeurs et des poussières.

En 1997, une expédition conjointe Byrd Polar Research Center - IRD réalisait un forage en haut du Sajama (6590 m) situé en Bolivie dans la cordillère occidentale, en préservant la chaîne de froid à l'aide de caisse isotherme rempli de carboglace durant le transport du sommet au laboratoire français et américain. Trois carottes de 132.4, 132.8 et 40 m ont ainsi été prélevées.

Après un carottage court effectué en 1998 à l'Illimani (5350 m) en Bolivie situé dans la cordillère orientale en bordure de l'Amazonie et du lac Titicaca, en juin 1999, un nouveau carottage profond y est réalisé, sous la responsabilité de l'IRD avec un partenariat suisse PSI (Paul Scherrer Institut, Berne), et le LSCE (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Saclay). Deux carottes de 136 m sont ainsi prélevées en conservant la chaîne de froid.

Enfin plus récemment, un carottage court de 15m est effectué en décembre 1999 au Chimborazo (6280 m) situé en Equateur, suivi en décembre 2000 par une opération de carottage profond, sous la direction de l'IRD avec comme partenaires l'INAMHI (Instituto National de Meteorologia y Hidrologia, Quito), le PSI, le LGGE (Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Grenoble) et le LSCE. Quatre carottes de 17, 24, 40 et 54 mètres sont ainsi prélevées en conservant la chaîne de froid.

### Localisation et choix du site

C'est de ce dernier carottage que fait l'objet ce premier rapport d'état d'avancement. Le Chimborazo est le plus grand sommet de l'Equateur (6280m) situé au Sud de Quito dans la vallée des volcans. Les analyses ont commencé à partir de mars 2001 après transfert des carottes en Suisse et en France. Après les carottages boliviens qui représentaient les influences majoritairement atlantiques sur les deux cordillères, il était intéressant de connaître l'influence des masses d'air pacifique sur l'enregistrement des signaux dans la glace et en particuliers savoir si les variations fortes de l'ENSO pouvaient être retranscrites directement ou indirectement par les marqueurs. L'ENSO marquant fortement la côte équatorienne, le choix s'est naturellement porté sur le Chimborazo dont l'altitude élevée de 6280m le préserve, en conditions normales, des processus de fonte de surface qui peuvent altérer l'enregistrement des couches sous-jacentes. Sa proximité du Pacifique, sous 1°S de latitude a aussi été un critère décisif dans le choix. Par contre la très faible amplitude thermique annuelle dans cette région et la présence de deux saisons humides risque de compliquer la datation précise de la glace (pas ou peu de saisonnalité des marqueurs). L'étude précise des phénomènes post-dépôt

et de la façon dont ils modifient le signal climatique semble aussi être un point critique, insuffisamment contraint pour l'instant.

### Références bibliographiques:

- Francou, B., P. Ribstein & B. Pouyaud, La fonte des glaciers tropicaux, *La Recherche*, no. 302, pp. 34-37, 1997.
- Ginot, P., C. Kull, M. Schwikowski, U. Schotterer & H.W. Gäggeler, Effects of post-depositional Processes on Snow Composition of a subtropical Glacier (Cerro Tapado, Chilean Andes). *J. Geophys. Res.*, Soumis, 1999.
- Ginot, P., F. Stampfli, D. Stampfli, M. Schwikowski, and H.W. Gäggeler, FELICS, A new ice core drilling system for high-altitude glaciers, *Annals of Glaciology*, in press, in press.
- Ginot, P., M. Schwikowski, U. Schotterer, H.W. Gäggeler, B. Francou, R. Gallaire, and B. Pouyaud, Climate variability reconstruction from Andean glaciochemical records, *Annals of Glaciology*, Submitted.
- Stichler, W. & U. Schotterer, From accumulation to discharge: modification of stable isotopes during glacial and post-glacial processes, *Hydrological Processes*, 14, 1423-1438, 2000.
- Thompson L.G., E. Mosley-Thompson & B.M. Arno, El Nino- Southern Oscillation events recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya Ice Cap, Peru, *Science*, 226, 50-53, 1984.
- Thompson L.G., E. Mosley-Thompson, P.M. Grootes, M. Pourchet & S. Hastenrath, Tropical glaciers: potential for ice core paleoclimatic reconstructions, *Journal of Geophysical Research*, v. 89, no. 3, p. 4638-4646, 1984b.
- Thompson L.G., E. Mosley-Thompson, J.F. Bolzan & B.R. Koci, A 15,000-year record of tropical precipitation in ice cores from the Quelccaya Ice Cap, Peru, *Science*, 229, 971-973, 1985.
- Thompson L.G., E. Mosley-Thompson, M.E. Davis, P.-N. Lin, K. A. Henderson, J. Cole-Dai, J.F. Bolzan & K.-B. Liu, Late Glacial Stage and Holocene Tropical Ice Core Records from Huascaran, Peru, *Science*, 269, 46-50, 1995.
- Thompson L.G., M.E. Davis, E. Mosley-Thompson, T.A. Sowers, K.A. Henderson, V.S. Zagorodnov, P.-N. Lin, V.N. Mikhalenko, R.K. Campen, J.F. Bolzan, J. Cole-Dai & B. Francou, A 25,000-Year Tropical Climate History from Bolivian Ice Cores, *Science*, 282, 1858-1864, 1998.

Thompson, L.G., E. Mostley-Thompson & K.A. Henderson, Ice-core palaeoclimate records in tropical South America since the Last Glacial Maximum, *J. Quaternary Sci.*, vol 15, pp. 377-394, 2000a.

Wagnon, P., P. Ribstein, G. Kaser & P. Berton, Energy balance and runoff seasonality of a Bolivian glacier, *Global Planet. Change*, 22, 4-58, 1999b.

Wagnon, P., P. Ribstein, B. Francou & B. Pouyaud, Annual cycle of energy balance of Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia, *J. Geophys. Res.*, 104(D4), 3907-3923, 1999c.

Wagnon, P., P. Ribstein, B. Francou & J. E. Sicart, The 1997-98 El Nino-Southern Oscillation warm event recorded in Bolivian glaciers, *Science*, Soumis

## **II Opération de carottage (novembre- décembre 2000)**

### Membres participants

Etienne Berthier, Bolivar Caceres, Ramon Chango, Laurent Cussol, Bernard Francou, Robert Gallaire, Patrick Ginot, Georg Hoffmann, Luis Maisincho, Jean-Robert Petit, Bernard Pouyaud, Franz Quispe, Edson Ramirez, Beat Rufibach, Ulrich Schotterer, Félix Stämpfli, Jean-Denis Taupin, François Valla, Miguel Yustu, Patrick Wagnon sans oublier les guides et les porteurs.

### Déroulement du carottage

- 17 novembre: l'équipe scientifique et logistique acheminent les 2 tonnes de matériel jusqu'à 4800m au refuge Carrel par camions 4X4 et établissent un camp de base à 5030m près du refuge Whympet.
- 18-19 novembre: 8 membres de l'expédition installent un campement intermédiaire d'altitude à 5500m dans le secteur d'El Castillo pour l'acclimatation et le repos.
- 20 novembre: 6 membres atteignent le sommet Ventimilla à 6280m et installent le campement définitif.
- 21 novembre: les mesures Radar estiment le fond rocheux entre 50 m sur les sommets et 80 m au niveau du col.
- 23 novembre: début de la première perforation au niveau du col entre les deux sommets.

- 24 novembre: arrêt du forage à 24m à cause de **présence d'eau liquide**.
- 25 novembre: déplacement de la tente du carottier sur le sommet Ventimilla, second forage, arrêt à 17m à cause d'un coincement, dégagement à l'aide d'un antigel entraînant la contamination du forage et donc son abandon.
- 26-27 novembre: troisième forage au même endroit, percement jusqu'au bed rock à 54 m.
- 28-29 novembre: quatrième forage, décalage de 10 mètres par rapport au troisième forage, blocage du carottier à 40m.
- 1 décembre: déblocage du carottier à l'antigel.
- 2-3-4 décembre: redescente du matériel et des carottes dans des sacs à dos au lever du jour puis acheminement des carottes vers Quito en caisses isothermes remplies de carboglace, stockage à Quito en chambre froide en attente de l'expédition par avion en Suisse.

### Prélèvements carottes

Le carottier remonte des runs de 90cm maximum, qui à la surface sont repertoriés, découpés en tronçons cumulés de 70cm, emballés sous gaine plastique, protégés dans un tube en PVC et enfin stockés dans un abri creusé dans la neige. Au total 4 carottes ont été extraites.

- Carotte de 24m (CH24): incomplète, 38 runs (Annexe I, tab1), tubes numérotés de 1 à 35 (Annexe I, tab2),
- Carotte de 17m (CH17): incomplète, 26 runs (Annexe I, tab3), tubes numérotés de 36 à 59 (Annexe I, tab4),
- Carotte de 54m (CH54): complète, 85 runs (Annexe I, tab5), tubes numérotés de 60 à 140 (Annexe I, tab6),
- Carotte de 40m (CH40): incomplète, 70 runs (Annexe I, tab7), tubes numérotés de 200 à 260 sauf tube 245 absent (Annexe I, tab8).

### Autres prélèvements et mesures

- copeaux sur run du carottier, environ 500g par sachet plastique hermétiquement soudé, en vue de comptages de radioactivité (M. Pourchet LGGE): aucun prélèvement sur CH24 et CH17, 34 échantillons entre 30 et 46m pour CH54 et 26 échantillons entre 20 et 40m pour CH40 (Annexe I, tableau 9)
- mesure de la densité sur CH40 et CH54 (Annexe IV et V, Documents 2)



- fractions de carotte (en général sur des chips) en vue d'étude cristallographique (P. Duval, LGGE): aucune sur CH24 et CH17, 1 échantillon sur CH54 et 5 échantillons sur CH40 (Annexe I, tableau 10)
- échantillons de givre au cours de la journée en vue d'études isotopiques (E. Ramirez, LSCE) et chimiques (P. Ginot, PSI): mené sur trois jours (Annexe I, tableau 11)

### Problème de la validité des carottes:

L'un des postulats de base pour l'interprétation du signal des carottes de glace est l'absence de phénomènes perturbateurs après le dépôt. C'est à dire: pas de sublimation, pas de fonte, pas de percolation, pas d'écoulement, pas d'érosion ou de remaniement éolien.

Pour les glaciers continentaux, il convient donc de forer :

- toujours à forte altitude où la température n'est jamais supérieure à 0°C,
- dans un endroit plat ou en creux qui constituent des zones d'accumulation sans écoulement,
- dans un endroit protégé du vent pour éviter l'ablation ou l'accumulation par ce dernier

Cependant, les études antérieures ont montré que dans le cas des glaciers tropicaux, l'une des conditions nécessaires ne pouvait être appliquée, à savoir que les phénomènes de **sublimation** sont incontournables et ils doivent, de toute façon, être corrigés avant d'interpréter les résultats finaux. Dans ce cadre, une étude des effets post-dépôts est en cours sur les différents lieux de forage.

Ainsi, pour respecter au mieux les autres conditions, le premier site de carottage du Chimborazo a été choisi au niveau d'un petit col entre le sommet Whympet et le Ventimilla. Mais la présence d'eau à 24m dans le forage a remis en question une deuxième condition nécessaire qui est l'absence de **fonte**. Cette situation inhabituelle trouve une explication dans l'éruption en début de l'année 2000 du volcan Tungurahua situé à environ 30 km à l'est du Chimborazo. Ce volcan a en effet émis des cendres qui se sont déposées sur la surface du glacier, diminuant l'albédo. Une partie de la radiation incidente est ainsi plus absorbée qu'en situation normale, entraînant le phénomène de fonte et de **percolation** jusqu'au niveau imperméable que va constituer le passage du névé à la glace qui entraîne la fermeture des pores. L'eau a pu arriver jusqu'à ce niveau soit en circulation rapide par l'intermédiaire de crevasses, dans ce cas les profils de carottes ne doivent pas être altérés, soit en circulation plus lente et généralisée à travers les pores du névé, et dans ce cas la partie névé de la carotte risque d'être fortement perturbée. C'est pour éviter ces circulations rapides d'eaux de fonte

que la tente de carottage a été déplacée sur un point haut, au sommet Ventimilla pour les trois autres forages. Mais, les premières mesures de chimie et de conductivité sur 3 des carottes montrent un fort lissage qui semble confirmer la circulation lente et l'altération de la partie supérieure de la carotte. Les résultats des mesures de températures de névé, encore en attente, autoriseront, si elles ne sont pas très froides, la percolation de l'eau de fonte à travers toutes les couches de névé jusqu'au niveau de transition névé/glace. Dans ce cas, les interprétations climatiques sur le haut de la carotte devront être réalisées seulement si l'on arrive à déconvoluer le signal. Cependant, le profil isotopique ne devrait pas être extrêmement perturbé par cette percolation.

### **III Etat des travaux effectués et en cours**

#### Calendrier des analyses

- 6 mars: acheminement de CH54 et CH40 depuis le PSI, Villigen vers les entrepôts STEF, Le Fontanil près de Grenoble et réunion préparatoire au LGGE, Grenoble pour décider du protocole d'échantillonnage des carottes Chimborazo avec comme membres participants:

IRD: Y. Arnaud, S. Caquineau, B. Francou, B. Pouyaud, P. Ribstein, J.D. Taupin, F. Vimeux, P. Wagnon,

LGGE: A. Correia, R. Delmas, H. Bonnaveira, J.R. Petit, J. Simões, K. Sturm,

LSCE: E. Ramirez, G. Hoffmann,

PSI: H. Gäggeler, P. Ginot, M.A. Godoi, S. Knüsel, U. Schotterer, M. Schwikowski.

- du 12 au 14 mars 2001: ouverture de CH54 et CH40 aux entrepôts STEF, Le Fontanil (J.D. Taupin, J.R. Petit, J. Simões, M. Godoi & H. Bonnaveira): stratigraphie sommaire, mesure et pesage des morceaux, graphes et enregistrements de conductivité électrique ECM, séparation des échantillons pour le  $^{210}\text{Pb}$  (CH40 uniquement), pour le  $^3\text{H}$  (CH54 uniquement) et les isotopes  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$  (CH54 uniquement)

- 13 mars: rapatriement de CH40 et des échantillons CH40 pour le  $^{210}\text{Pb}$  au PSI, Villigen. CH54 ainsi que tous les échantillons CH54 restant aux entrepôts STEF, Le Fontanil.

- 19 et 20 mars: fonte des échantillons CH54 pour les isotopes et envoi au LSCE à Saclay
- 16 au 27 avril: fonte des copeaux sur run de CH54 et CH40, préparation des filtres et début des comptages de radioactivité gamma au LGGE, Grenoble
- mi-avril: suite à un accord de collaboration avec l'EPN (Escuela Politecnica Nacional) d'Equateur et J.P. Eissen de l'IRD Equateur, vulcanologue, certains niveaux de cendres de CH54 sont envoyé à Quito en vue de tester la faisabilité d'analyse par microsonde pour détermination du chimisme et datation des éruptions régionales
- du 7 au 11 mai: réouverture de CH54 au LGGE, Grenoble pour stratigraphie détaillée
- 8 juin: envoi des échantillons CH54 pour le  $^3\text{H}$  au PSI, Villigen.

### 24m Ice Core

Mesures	Résolution	Lieu d'analyses	Résultats

Résultats :

- Aucune étude pour l'instant.

## 17m Ice Core

Mesures	Résolution	Lieu d'analyses	Résultats
Densité		PSI, Villigen	Graphe: Annexe III, p1
Chimie		PSI, Villigen	Graphes: Annexe III, p2 à 7
Isotopes		PSI, Villigen	Graphes: Annexe III, p8

### Résultats :

- Le profil de densité montre la compaction de la neige en fonction de la profondeur.
- Sur les 8 profils chimiques présentés (Sodium- Potassium- Calcium- Magnésium- Chloride- Sulfate- Ammonium- Nitrate), seuls l'Ammonium et le Nitrate présentent des variations qui peuvent être supposées saisonnières, les 6 autres espèces varient de façon plus irrégulière avec quelques pics parfois très nets. Certains graphes sont presque superposables comme Calcium- Magnésium- Sulfate très bien corrélés, les graphes Sodium- Potassium- Chloride présentent quelques similarités. Certains pics comme ceux voisins de 400 et 900 cm w.e. se retrouvent dans tous les profils mais avec des amplitudes variables. Ces profils ont alors été comparés avec les analyses chimiques de la carotte test de 1999. On note que dans les premiers mètres le cumul des espèces chimiques en 2000 est moindre qu'en 1999, alors qu'en profondeur le cumul est plus important, dénotant ainsi une zone de lessivage et une zone d'accumulation par rapport à 1999. L'hypothèse retenue est donc celle d'un lessivage des ions en haut du profil du névé dû à la fonte et à la percolation et un stockage en profondeur. Les interprétations climatiques ultérieures à partir de ces marqueurs, sur les 20 ou 30 premiers mètres risquent donc d'être difficiles.
- Le profil isotopique en  $^{18}\text{O}$  présenté en Annexe III n'est pas directement celui de CH17 mais celui de la carotte test de 1999 car les deux profils se sont révélés très semblables à la fois en oxygène 18 et deutérium. Le marqueur isotopique semble avoir ne pas avoir été affecté par le lessivage et avoir été parfaitement conservé au cours de l'année écoulée et pourra donc être utilisé directement, après correction d'éventuelles modifications post-

dépôt, comme marqueur climatique. La forte similitude entre le signal isotopique de la glace et celui des précipitations de la station météorologique toute proche d'Izobamba est une autre confirmation de l'intérêt des études isotopiques. En première approximation, les variations saisonnières permettent d'estimer l'accumulation nette à une valeur d'environ 70 cm w.e. par an.

Le comportement différent de ces marqueurs vis-à-vis de la fonte et de la percolation est lié à la localisation des éléments sur le flocon de neige. En effet, les éléments chimiques vont être incorporés principalement sur la surface du flocon lors du passage du flocon dans la partie basse de l'atmosphère, alors que les isotopes constituent la structure même du flocon. Donc le passage d'un liquide à travers le névé, va essentiellement lessiver les surfaces externes de chaque grain et donc perturber la chimie et aussi la conductivité qui représente l'acidité de la neige.

## 54m Ice Core

Mesures	Résolution	Lieu d'analyses	Résultats
Caractéristiques générales	morceau par morceau	STEF, Le Fontanil	Tableau: Annexe IV, doc 1
Densité	1 valeur par morceau	STEF, Le Fontanil	Graphe: Annexe IV, doc 2
Stratigraphie détaillée	1 cm	LGGE, Grenoble	Schémas: Annexe IV, doc 3, tubes 60 à 139
ECM	lissé à 1cm	STEF, Le Fontanil	Graphes: Annexe IV, doc 4
<sup>3</sup> H	1 éch par tube	PSI, Villigen	En attente
Isotopes	10cm, 7cm puis 5cm	LSCE, Saclay	En attente
Radioactivité gamma	1 échantillon par run de 30 à 47m	LGGE, Grenoble	Graphes et tableaux: Annexe IV, doc 5
Cendres	Choix au hasard (cf Annexe IV, doc 3)	EPN, Quito et IRD Equateur	En cours

### Résultats :

- Le profil de densité est normal avec des valeurs de 0,4 à 0,6 dans le névé et proche de 1 dans la glace profonde à partir d'une trentaine de mètres. A noter de fortes densités dans le premier mètre à relier avec la présence de glace de regel que l'on peut associer au phénomène intense de fonte dû au dépôt de cendres du Tungurahua.
- La stratigraphie détaillée révèle une carotte en bon état physique, peu de chips ou de carottes en biseau. Certains débris ont déjà été entièrement éliminés. On note assez peu d'horizons cendres jusqu'à 30 m puis très resserrés de 45 à 54 m. Le dernier tube présente quelques particules supposées du bed rock.
- Le profil de conductivité représente l'acidité de la neige, donc la résultante du bilan chimique. Les grands pics d'acidité peuvent être reliés en particulier aux grandes éruptions volcaniques stratosphériques et peuvent ainsi permettre une datation de certains

niveaux de la carotte. Ce qui peut être noté, c'est le plat entre 11 et 23 m qui résulte comme on l'a dit précédemment d'une neutralisation de l'acidité qui pourrait être due à l'accumulation des ions plus particulièrement neutre par percolation dans cette partie du profil. A partir de 35m, apparaissent brutalement de nombreux et très amples pics, ce niveau correspond à la transition névé-glace et semble constitué un niveau imperméable empêchant l'eau de percolation de descendre plus bas dans le profil. Dans cette hypothèse, à confirmer évidemment, le profil de conductivité en dessous de cette profondeur (ainsi que le profil chimique certainement) serait à l'abri de la pollution par percolation et donc on pourrait relier les pics d'acidité aux éruptions passées.

- Les comptages de radioactivité gamma permettent d'indiquer la présence de différents radioéléments. D'un particulier intérêt est le  $^{137}\text{Cs}$ , de période 30.15 ans, produit en particulier lors des essais nucléaires depuis 1954, dispersé dans la stratosphère et dont on retrouve des pics de dépôt maximum en 1964-1967 (1964-65 dans l'hémisphère Nord, plus ambiguë dans l'hémisphère Sud et Equateur) . Le spectre de radioactivité gamma donne pour chaque échantillon le nombre de coups comptés en fonction de l'énergie émise. La désintégration du  $^{137}\text{Cs}$  s'accompagne dans 85% des cas d'une émission de rayonnement gamma d'énergie 662 keV, on peut ainsi la détecter sur le spectre. De même, le  $^{210}\text{Pb}$ , le  $^{214}\text{Bi}$ , le  $^{214}\text{Pb}$ , etc, peuvent être identifiés sur le spectre par les énergies de leurs pics d'émission. Pour chaque élément, on dispose d'une calibration et on convertit les nombres de coups en activités. La quantification reste très discutable car bien souvent les incertitudes sont proches des valeurs mesurées et ne permet que d'approcher l'ordre de grandeur. On ne commentera que les résultats pour le  $^{137}\text{Cs}$ . Celui-ci n'est détecté que dans le run 41 situé entre 2922 et 2990 cm de profondeur, soit entre 1910 et 1969 cm w.e en équivalent eau. En dessous, aucune trace de  $^{137}\text{Cs}$ , même dans les niveaux très riches en poussières et susceptibles d'avoir pu fixer du Cs éventuellement lessivé. Au dessus, malgré l'absence de prélèvements mais en tenant compte de ceux effectués entre 19 et 30 m sur CH40, on peut penser qu'il n'y a pas non plus de  $^{137}\text{Cs}$ . Dans ce cas on aurait donc un pic unique de  $^{137}\text{Cs}$  entre 29 et 30 m, ce qui permettrait de fixer une date de 1964 (1967?) à cette profondeur soit une accumulation nette moyenne voisine de 80 cm/an ou

$$a_0 = 70.5 \text{ cm w.e./an en utilisant la formule de Nye: } a_0 = \frac{H}{t} \ln \left( \frac{1}{1 - \frac{z}{H}} \right), \text{ avec } a_0$$

accumulation nette en équivalent eau par an, H profondeur totale = 4166 cm w.e., t âge du run 41 = 37 ans et z profondeur du run 41 prise à 1940 cm w.e.

Cependant, comme dit précédemment, les résultats sont plus qualitatifs que quantitatifs et le pic de Césium mesuré sur le run 41 sort à peine du bruit de fond. Si justement on raisonne en terme de flux, le comptage sur cet échantillon correspondrait à une activité résiduelle d'environ 3 Bq/m<sup>2</sup> en <sup>137</sup>Cs (1 Curie= 3.7E10 Bq), soit une activité de l'ordre de 7 Bq/m<sup>2</sup> en 1964 lors du dépôt en corrigeant de la décroissance radioactive. Or les valeurs théoriques locales sont très supérieures: 1429 Bq/m<sup>2</sup> entre 0 et 10°N, 789 Bq/m<sup>2</sup> entre 0 et 10°S ou 220 Bq/m<sup>2</sup> à Chacaltaya en altitude. On ne retrouverait donc qu'une infime partie du Césium théoriquement attendu. Compte tenu de ces incertitudes, il faudra attendre les résultats du Tritium pour confirmer la datation proposée.



# **ANNEXE I**

## **Compte-rendu des relevés de terrain**

## Annexe I, tableau 1: Forage col 25m (Chimbo)

## Relevé de terrain: runs

date	run	longueur cm	profondeur mesurée	profondeur compteur	observation	longueur reconstituée	pertes sur run	causes
24/11/00								
	1	60			toute cassée, sale	60	0	
	2	78		140	qq strates de glaces (1-2 cm), propre	78	0	
	3	76		226	qq strates de glaces (1 cm), propre	76	0	
	4	67		297	moins de strates	67	0	
	5	79		375	moins de strates, gros grains	79	0	
	6	79	426	449	grains plus fin en profondeur	81	-2	
	7	84		528	2 strates de glaces de 3 cm	87	-3	
	8	75		601	grosse strate à 5 cm du fond	78	-3	
	9	60	649	674	grains + fin	70	-10	???
	10	56		750		57	-1	
	11	89		805	gros grains	89	0	
	12	57	842	875	gros grains, 1 strate	58	-1	
	13	77		950		76	1	
	14	83		1022		83	0	
	15	78	1075	1095	3 strates	76	2	
	16	74		1170	strates, gros grains	73	1	
	17	64		1235	homogène, grain moyen	64	0	
	18	34	1248	1278	homogène, grain moyen	34	0	
	19	80		1348		80	0	
	20	63		1413	strate glace de 10 cm au milieu	63	0	
	21	69	1456	1480	strates supe. À 5 cm	68	1	
	22	65		1545	strate 10-15 cm	64	1	
	23	86		1628	strates	86	0	
	24	76	1680	1707	strates	78	-2	
	25	77		1782	plus dense	77	0	
	26	72		1859	plus dense	72	0	
	27	51	1882	1902	grains moyens	51	0	
	28	14		1931	glace	14	0	
	29	20			glace	20	0	
	30	39		1980	glace surtout en haut	39	0	
	31	76		2057	glace plus dense	76	0	
	32	66	2098	2114		66	0	
	33	56		2179	glace plus dense	56	0	
	34	80		2251	glace humide à bulles	80	0	
	35	37		2290	glace tres humie	37	0	
	36	25		2322	glace + presence d'eau	25	0	
	37	33		2347	glace + presence d'eau	33	0	
	38	15	2340		glace + presence d'eau	15	0	
						2371		

arrêt forage pour cause de présence d'eau

## Annexe I, tableau 2: Forage col 25m (Chimbo)

## Relevé de terrain: tubes

tube	coupes	longueur cm	cumul tube	profondeur vraie corr.	observation
1	60(run 1) + 10(run 2)	70	70		
2	68(run 2)	68	138		
3	76(run 3)	76	214		
4	67(run 4)	67	281		
5	70(run 5)	70	351		
6	9(run 5) + 61(run 6)	70	421	406	
7	20(run 6) + 50(run 7)	70	491		
8	37(run 7) + 33(run 8)	70	561		
9	45(run 8) + 25(run 9)	70	631	614	
10	35(run 9) + 35(run 10)	70	701		
11	22(run 10) + 48(run 11)	70	771		
12	41(run 11) + 29(run 12)	70	841	813	
13	29(run 12) + 37(run 13)	66	907		
14	39(run 13) + 31(run 14)	70	977		
15	52(run 14) + 18(run 15)	70	1047	1017	
16	58(run 15) + 12(run 16)	70	1117		
17	61(run 16)	61	1178		
18	64(run 17)	64	1242		
19	34(run 18) + 36(run 19)	70	1312	1284	
20	44(run 19) + 24(run 20)	68	1380		
21	39(run 20) + 31(run 21)	70	1450	1419	
22	37(run 21) + 33(run 22)	70	1520		
23	31(run 22) + 39(run 23)	70	1590		
24	47(run 23) + 23(run 24)	70	1660	1626	
25	54(run 24) + 16(run 25)	70	1730		
26	61(run 25)	61	1791		
27	72(run 26)	72	1863		
28	51(run 27) + 14(run 28)	65	1928	1896	
29	20(run 29) + 39(run 30)	59	1987		
30	70(run 31)	70	2057		
31	6(run 31) + 66(run 32)	72	2129	2098	
32	56(run 33) + 14(run 34)	70	2199		
33	66(run 34)	66	2265		
34	37(run 35) + 25(run 36)	62	2327		
35	33(run 37) + 15(run 38)	48	2375	2340	

## Annexe I, tableau 3: Forage Ventimilla 17m (Chimbo)

## Relevé de terrain: runs

date	run	longueur cm	prof. mesurée	prof. compteur	cumul run	observation	longueur reconstituée	pertes sur run	causes
25/11/00									
	1	45			45	tres sale à 15 cm, tout cassé	45	0	
	2	30			75	glace un peu plus propre	30	0	
	3	70	230	240	145	gros grains, nbr strates 2 cm	70	0	
	4	70		306	215	gros grains, startes, tres cassées	70	0	
	5	77		384	292	gros grains, tres cassées	77	0	
	6	60		460	352	gros grains, tres cassées, névé fragile	60	0	
	7	61	530	540	413	plus compacte	61	0	
	8	70		613	483	plus compacte	70	0	
	9	75	680	683	558	qq strates de glace, 5 cm	76	-1	
	10	74		752	632	qq strates de glace, plus compacte	73	1	
	11	82		830	714	qq strates de glace, plus compacte	81	1	
	12	76	903	907	790	grains moyens, compacte	77	-1	
	13	75		982	865	grains moyens, compacte	74	1	
	14	70		1057	935	2 strates de glace 10 cm, compacte	70	0	
	15	71		1118	1006	2 strates de glace 10 cm, compacte	71	0	
	16	60		1177	1066	2 strates de glace 10 cm, compacte	60	0	
	17	58	1243	1233	1124	strate de glace compacte 10 cm	58	0	
	18	74		1315	1198	gros grains, glace	73	1	
	19	81		1385	1279	compacte, homogène, glace	82	-1	
	20	73	1469	1457	1352	compacte, homogène, glace	73	0	
	21	56		1514	1408	compacte, homogène, glace	56	0	
	22	66		1589	1474	compacte, homogène, glace	66	0	
	23	73	1662	1655	1547	compacte, homogène, glace	74	-1	
	24	51		1702	1598	glace	50	1	
	25	22		1737	1620	glace	22	0	
	26	83		1825	1703	glace compacte	84	-1	
		1703							
							1703		

arrêt forage cause coincement et dégagement avec décongéant

Annexe I, tableau 4: Forage Ventimilla 17m (Chimbo)  
relevé de terrain: tubes

tube	longueur cm	coupes	observation	longueur tube	cumul tube	prof. vraie corr.
36	75	45(run 1) + 30(run 2)		75	75	
37	70	70(run 3)		70	145	230
38	70	70(run 4)		70	215	
39	77	77(run 5)		77	292	
40	75	60(run 6) + 15(run 7)		75	367	484
41	70	46(run 7) + 24(run 8)		70	437	
42	70	46(run 8) + 24(run 9)		70	507	628
43	70	52(run 9) + 18(run 10)		70	577	
44	70	55(run 10) + 15(run 11)		70	647	
45	66	66(run 11)		66	713	
46	70	70(run 12)		70	783	896
47	70	7(run 12) + 63(run 13)		70	853	
48	70	11(run 13) + 59(run 14)		70	923	
49	70	11(run 14) + 59(run 15)		70	993	
50	72	12(run 15) + 60(run 16)		72	1065	
51	70	58(run 17) + 12(run 18)		70	1135	1255
52	70	61(run 18) + 9(run 19)		70	1205	
53	73	73(run 19)		73	1278	
54	73	73(run 20)		73	1351	1469
55	70	56(run 21) + 14(run 22)		70	1421	
56	70	52(run 22) + 18(run 23)		70	1491	1606
57	70	56(run 23) + 14(run 24)		70	1561	
58	70	36(run 24) + 22(run 25) + 12(run 26)	run 25, laissé 1 heure sur table (fusion possible)	70	1631	
59	72	72(run 26)		72	1703	
	1703					

## Annexe I, tableau 5: Forage Ventimilla 54m (Chimbo)

relevé de terrain: runs

date	run	longueur cm	prof. mesurée	prof. compteur	observation	longueur reconstituée	pertes sur run	causes
26/11/00	1	46			glace-couche sale 20 cm	46	0	
	2	85		173	grains moyens-strates	85	0	
	3	56		252	grain moyen cassé	56	0	
	4	78	306	329	irreguliere	80	-2	
	5	55		403		53	2	
	6	82		484		79	3	
	7	78		564	assez irregulier	78	0	
	8	82	627	647		82	0	
	9	64		718	neve + strates (qq)	64	0	
	10	77		796		77	0	
	11	69	843	871		69	0	
	12	90		945	regulier	89	1	
	13	77		1021	regulier	77	0	
	14	81	1090	1108	regulier	81	0	
	15	81		1187	regulier	79	2	
	16	58		1263		58	0	
	17	53	1282	1333	glace cassée	52	1	
	18	39		1388	névé + glace inclinée	39	0	
chgt tête	19	84		1428	belle mais galce penitents	86	-2	
	20	81		1501		81	0	
	21	81		1575	glace	82	-1	
	22	88		1664		88	0	
	23	76		1742	glace-neve compact	76	0	
	24	17	1747	1767		17	0	
	25	65		1842		65	0	
	26	87		1900		87	0	
	27	76		1976		71	5	???
	28	74	2048	2074	compacte, couche inclinée	75	-1	
	29	89		2146		89	0	
	30	80		2226		80	0	
	31	55		2308		55	0	
	32	75		2387		76	-1	
	33	93	2436	2463		92	1	
							0	
	34	77		2537		78	-1	
	35	72		2611	glace bulleuse	73	-1	
	36	68		2681		57	11	???
	37	68		2756		69	-1	
	38	68		2821		68	0	
	39	63	2852	2880		63	0	
	40	70		2945		70	0	
béta	41	68		3012		68	0	
béta	42	80		3109		80	0	
béta	43	60		3162	cendre 2 bandes	60	0	
béta	44	67	3200	3207		68	-1	
béta	45	67		3294	cendre à 21 et 32 du haut	67	0	
béta	46	66		3366	couche inclinées à environ 20°	66	0	
béta	47	65		3432	couche inclinées à environ 20°	65	0	
béta	48	72		3494	couche inclinées à environ 20°	72	0	
béta	49	70		3569	cendre à 52 et 62 du haut, incl 20°	70	0	
béta	50	37		3636	cendre à 11 cm du haut, inc 20°	37	0	
béta	51	96	3670	3705	copeaux avec cendre, éclatée suivant l'axe, couches à 13,28,52 cm du haut	96	0	
							0	
							0	
béta	52	66				66	0	
béta	53	64	3841	3802		64	0	
				3838 le 27/11			0	
27/11/00								
béta	54	71		3904		71	0	
béta	55	66		3967	cendre à 29,36,63 cm du haut	66	0	
2 béta	56	63		4052	cendre à 8, 58 cm du haut, incl 40°	63	0	
	57	84	4082	4129	cendre à 13 cm du haut	84	0	
béta	58	38		4195	propre	38	0	

béta	59	35		4245	cenbre à 24 cm du haut	36	-1	
béta	60	93		4285	cenbre à 26 cm du haut	93	0	
béta	61	44	4306	4346	chips	44	0	
béta	62	63		4416	propre	63	0	
béta	63	70		4483	propre	70	0	
béta	64	2	4443	4545	bulles allongées	2	0	
	65	46		4562		46	0	
béta	66	48		4605	cenbre à 38 cm du haut, incl 20°	48	0	
béta	67	45		4662	cenbre à 43 cm du haut, incl 20°	45	0	
	68	49			cenbre à 4,9,11,16,17 cm du haut, incl 20°	49	0	
	69	44	4673	4744	propre	44	0	
	70	49		4797	propre	49	0	
	71	51		4858	cassée en long	51	0	
	72	58		4890	propre	58	0	
	73	51		4947	propre	51	0	
	74	51	4932	5073	cenbre à 1,20,21,47 cm du haut, incl 20°	53	-2	
	75	51		5139	cenbre à 23,18,50 cm du haut	51	0	
	76	81		5232	cenbre à 1,4,9,20,30 cm du haut, incl 20°	81	0	
	77	66	5132	5294	cenbre à 25,36,45,47 cm du haut, incl 20°	67	-1	
	78	51		5357	cenbre à 41,49 cm du haut (10 mrcx)	51	0	
	79	45		5410		45	0	
	80	52		5430	cenbre à 10,32 cm du haut, incl 20°	52	0	
	81	70	5350	5506	cenbre à 31,62 cm du haut, incl 20°	72	-2	
	82	42		5550	chips 12 cm, cenbre à 42 cm du haut	42	0	
	83	5		5557		5	0	
	84	11		5567	chips	11	0	
	85	5	5442	5574	chips, semi-coincement arrêt, à priori bedrock	5	0	
		5336				5327		

## Annexe I, tableau 6: Forage Ventimilla 54m (Chimbo)

## Relevé de terrain: tubes

tube	coupes	longueur	cumul tube	prof. vraie corr.	observation
60	46(run 1) + 24(run 2)	70	70		
61	61(run 2) + 9(run 3)	70	140		
62	47(run 3) + 23(run 4)	70	210	249	
63	57(run 4) + 13(run 5)	70	280		
64	40(run 5) + 30(run 6)	70	350		
65	49(run 6) + 18(run 7)	67	417		
66	60(run 7) + 10(run 8)	70	487		
67	72(run 8)	72	559	627	
68	64(run 9) + 7(run 10)	70	629		
69	70(run 10)	70	699		
70	69(run 11)	69	768	843	
71	70(run 12)	70	838		
72	19(run 12) + 51(run 13)	70	908		
73	26(run 13) + 44(run 14)	70	978	1053	
74	37(run 14) + 32(run 15)	70	1048		
75	47(run 15) + 23(run 16)	70	1118		
76	35(run 16) + 35(run 17)	70	1188	1265	
77	17(run 17) + 39(run 18) + 14(run 19)	70	1258		
78	72(run 19)	72	1330		
79	71(run 20)	71	1401		
80	10(run 20) + 60(run 21)	70	1471		
81	22(run 21) + 48(run 22)	71	1542		
82	40(run 22) + 30(run 23)	70	1612		
83	46(run 23) + 17(run 24)	63	1675	1747	
84	65(run 25)	65	1740		
85	70(run 26)	70	1810		
86	17(run 26) + 53(run 27)	73	1883		
87	18(run 27) + 52(run 28)	70	1953	2048 (?)	
88	23(run 28) + 47(run 29)	70	2023		
89	42(run 29) + 28(run 30)	70	2093		
90	52(run 30) + 18(run 31)	70	2163		
91	37(run 31) + 33(run 32)	70	2233		
92	43(run 32) + 27(run 33)	70	2303		
93	65(run 33)	65	2368	2436	
94	70(run 34)	70	2438		
95	8(run 34) + 62(run 35)	70	2508		
96	11(run 35) + 49(run 36)	70	2578		
97	8(run 36) + 62(run 37)	70	2648		
98	7(run 37) + 63(run 38)	70	2718		
99	5(run 38) + 63(run 39)	68	2786	2852	
100	70(run 40)	70	2856		
101	68(run 41)	68	2924		
102	70(run 42)	70	2994		
103	10(run 42) + 60(run 43)	70	3064		
104	68(run 44)	68	3132	3200	
105	67(run 45)	67	3199		
106	66(run 46)	66	3265		
107	65(run 47)	65	3330		
108	72(run 48)	72	3402		
109	70(run 49)	70	3472		
110	37(run 50)	37	3509		
111	70(run 51)	70	3579		
112	26(run 51)	26	3605	3670	
113	66(run 52)	66	3671		
114	64(run 53)	64	3735	3841	
115	71(run 54)	71	3806		
116	66(run 55)	66	3872		
117	63(run 56)	63	3935		
118	70(run 57)	70	4005	4068	
119	14(run 57) + 38(run 58) + 18(run 59)	70	4075		
120	18(run 59) + 52(run 60)	70	4145		



121	41(run 60)	41	4186		
122	44(run 61)	44	4230	4306	tout cassé
123	63(run 62)	63	4293		
124	70(run 63)	70	4363	4441	
					run 64 enlevé pour analyse structure
125	46(run 65) + 24(run 66)	70	4433		
126	24(run 66) + 45(run 67)	69	4502		
127	49(run 68) + 21(run 69)	70	4572	4650	
128	23(run 69) + 49(run 70)	72	4644		
129	51(run 71)	51	4695		
130	58(run 72) + 14(run 73)	72	4767		
131	37(run 73) + 33(run 74)	70	4837	4912	
132	20(run 74) + 51(run 75)	71	4908		
133	65(run 76)	65	4973		
134	16(run 76) + 54(run 77)	70	5043	5119	
135	13(run 77) + 51(run 78)	64	5107		
136	45(run 79) + 19(run 80)	64	5171		run 79 resté + d'1 heure dehors ==> début de fusion
137	33(run 80) + 32(run 81)	65	5236	5310	run 80 cassé à l'emballage
138	40(run 81) + 12(run 82)	52	5288		run 82 ==> 12cm de chips
139	30(run 82) + 5(run 83) + 11(run 84) + 5(run 85)	51	5339		
140		0	5339	5442	mini bouts avec cendres
		5339			

## Annexe I, tableau 7: Forage Ventimilla 40m (Chimbo)

## Relevé de terrain: runs

date	run	mrc	longueur cm	prof. mes.	prof. compt.	masse	d	observation	long. reconst.	perte	causes
28/11/00											
	1	nb	(80)13 + 70 c	80 ?				glace et pénitents, nombreuses impuretés	60	-20	elim. chips
	2	nb	(70) 9,9,4,30,20	150 ?	167			(70) 9,9,4,30,20	72	2	
	3	nb	(76) 13,36,7,9,4,5	231	247			névé bien blanc, destructuré à la fin	76	0	
	4	2	(76) 58,18		320			névé bien structuré	76	0	
	5	2	(80) 26,53	392	406	(53) 1340g	0,529	névé avec qq mm de glace	79	-1	
	6	4	(80) 14,15,32,14	469	491			névé avec nombreuses passées de glace	75	-5	
	7	3	(91) 35,24,31		575			névé avec qq passées de glace	90	-1	
	8	1	85		661	2250g	0,554	névé avec qq passées de glace	80	-5	
	9	4	(65) 6,25,29,5,4	715	743	(29,5) 1010g	0,717	névé avec beaucoup de glace	65	0	
	10	3	(79) 31,19,26		813			névé + qq strates de glace	76	-3	
	11	1	82		889	(81) 2015g	0,521	névé compact avec passé de glace à la fin	81	-1	
	12	1	38	909	963	(36,5) 885g	0,507	névé	38	0	
	13	2	(78) 33,44		1021	(44) 1160g	0,552	névé	75	-3	
	14	2	(70) 34,35	1052	1098	(35) 955g	0,571	mélange néve-glace	69	-1	
	15	3	(83) 24,38,21		1152	tot 2210g	0,557	mélange néve-glace, névé compact	82	-1	
	16	2	(88) 70,18		1242	(70) 1785g	0,534	mélange néve-glace	90	2	
	17	3	(72) 21,49,2	1294	1315	(68) 1835g	0,565	névé + mélange néve-glace	71	-1	
	18	1	84		1400	(83,5) 2270g	0,569	névé	84	0	
	19	1	78		1486	(76,5) 2220g	0,607	névé + mélange néve-glace	78	0	
	20	1	16					mélange néve-glace	16	0	
	21	3	(92) 1,46,46	1567	1576	tot 2555g	0,581	névé densifié	94	2	
	22	2	(73) 12,61		1652	(72,5) 2110g	0,609	névé compact	71	-2	
	23	1	84		1735	2520g	0,628	névé compact avec passés de glace 1-2 cm	84	0	
	24	1	81,5		1821	2540g	0,652	névé compact	81,5	0	
	25	1	82		1918	2585g	0,660	névé compact	82,5	0,5	
	26	3	(73) 35,26,12		2005	(73) 2425g	0,695	névé compact	73	0	
béta	27	1	88	2049	2084	2925g	0,696	névé compact	88	0	
béta	28	2	(40,5) 10,5,30		2145	(40,5) 1405g	0,726	mélange névé-glace	40,5	0	
béta	29	1	74		2218	2565g	0,725	mélange névé-glace	75	1	
béta	30	2	(67,5) 23,44,5		2290	(67,5) 2275g	0,705	mélange névé-glace	67,5	0	
béta	31	1	50		2361	1730g	0,724	mélange névé-glace	50	0	
béta	32	2	(88) 54,34		2416	(88) 3140g	0,747	vers glace franche	87,5	-0,5	
béta	33	2	(92) 56,36	2463		(92) 3310g	0,753	glace	91	-1	
29/11/00											
béta	34	1	90		2595	3285g	0,764	glace	90	0	
béta	35	1	91,3		2674	3440g	0,789	glace	92	0,7	
béta	36	nb	(94) 20,21,13,20,20		2772			glace très cassé	94	0	
béta	37	1	32,5		2815			glace	32,5	0	
béta	38	1	93	2863	2867	3610g	0,812	glace	92,5	-0,5	
béta	39	1	19					glace	19	0	
	39bis	1	73					glace	72	-1	
changement de tête											
béta	40	nb	(62) 6,4,16,8,9,13	3025	3022			glace très cassée	40	-22	élim. chips
béta	41	nb	(43) 20,20		3072			glace	20	-23	élim. chips
arrêt cause pluie verglaçante à 11h00											
reprise 12h30											
béta	42	2	(20) 15,5		3068			glace	20	0	
béta	43	2	(62) 57,5			(57) 2280g	0,837	glace	62	0	
béta	44	5	(84) 27,23,6,17,8		3237			glace, beaux mrcx	81	-3	
	45	1	14		3219			glace	14	0	
	46	2	(16) 11,5					glace	16	0	
	47	1	7					glace	7	0	
	48	1	(18) C,C,16					glace	16	-2	
béta	49	2	(18) 6,12					glace	20	2	
béta	50	3	(49) 7,21,20	3362	3390			glace	48	-1	
béta	51	2	(10) C,9		3436			glace	9	-1	
béta	52	4	(53) 15,18,10,7		3411			glace	50	-3	
béta + 52	53	3	(69) 33,22,13		3528			glace	68	1	
béta	54	7	(80) 16,9,4,20,10,16,4		3607			glace, cendre sur 1 et 4° mrc, inclinaison 25°	79	-1	
béta	55	3	(19) 9,5,4					glace, couche de cendre 1er mrc	18	-1	

béta	56	3	(23) 5,4,11		3577			glace, cendre 1er et surtout 3e mrc	20	-3
béta	57	2	(21) 14,7	3648	3636			glace	21	0
	58	1	2					chips	2	0
béta	59	nb	(70) chips					chips	70	0
béta	60	1	30		3736			glace	30	0
béta	61	1	64		3762			glace, inclinaison couche cendre à 21 cm	62	-2
béta	62	1	20		3841			glace	20	0
béta	63	2	(87) 70,17		3865			glace, couche cendre 2nd mrc	85,5	-1,5
2 béta	64	nb	(50) 34,C		3895			glace, cendre très concentrée	50	0
	65	chips	15		3945			glace	15	0
	66	chips	5					glace	5	0
	67	chips	5					glace	5	0
	68	3	(5) C,4,C					glace	5	0
béta	69	nb	70	4059				glace très cassée + chips	70	0
forage bloqué à 17h45, prof. Estimée 40,30 m										
	70	chips	5	4064						-101

déblocage le 1er décembre, reste de carotte  
d'environ 5 cm dans le carottier (chips) non  
sauvegardé à caude du dégivrant

## Annexe I, tableau 8: Forage Ventimilla 40m (Chimbo)

Relevé de terrain: tubes

tube	coupes	longueur	cumul tube	prof. vraie corr.	observation
200	60 (run 1)	80	80		reduction des chips
201	72 (run 2)	72	152		
202	71 (run 3)	71	223	226	
203	5(run 3) + 58(run 4)	63	286		
204	18(run 4) + [26 + 26](run 5)	70	356	365	
205	27(run 5) + [14 + 15 + 11](run 6)	67	423	434	
206	[21 + 14](run 6) + 31(run 7)	66	489		
207	[4 + 24 + 31](run 7) + 10(run 8)	69	558		
208	70(run 8)	70	628		
209	5(run 8) + 65(run 9)	70	698	715	
210	[31 + 19 + 19](run 10)	69	767		
211	7(run 10) + 62(run 11)	69	836		
212	19(run 11) + 38(run 12) + 12(run 13)	69	905	921	
213	[19 + 44](run 13)	63	968		
214	[34 + 35](run 14)	69	1037	1052	
215	[24 + 22 + 15 + 7](run 15)	68	1105		2nd Mrc cassé 38 = 22 + 15
216	14(run 15) + 57(run 16)	71	1176		
217	[15 + 18](run 16) + [21 + 15](run 17)	69	1245	1259	
218	[33 + 2](run 17) + 33(run 18)	68	1313		33 cassé en 17 et 16
219	51(run 18) + 18(run 19)	69	1382		
220	60(run 19) + 8(run 20)	68	1450		
221	8(run 20) + [46 + 17](run 21)	71	1521	1536	
222	31(run 21) + [12 + 26](run 22)	69	1590		
223	33(run 22) + 37(run 23)	70	1660		
224	47(run 23) + 22,5(run 24)	69,5	1729,5		
225	59(run 24) + 11(run 25)	70	1799,5		
226	71,5(run 25)	71,5	1871		
227	[35 + 26 + 12](run 26)	73	1944		
228	69(run 27)	69	2013	2030	
229	19(run 27) + [10,5 + 30](run 28) + 9(run 29)	68,5	2081,5		
230	66(run 29)	66	2147,5		
231	[23 + 44,5](run 30)	67,5	2215		
232	50(run 31) + 19,5(run 32)	69,5	2284,5		
233	[34 + 34](run 32)	68	2352,5		
234	[56 + 13](run 33)	69	2421,5	2441	
235	22(run 33) + 48(run 34)	70	2491,5		
236	42(run 34) + 28(run 35)	70	2561,5		
237	64(run 35)	64	2625,5		
238	[20 + 21 + 13](run 36)	54	2679,5		mrc tres abimés run 36
239	[20 + 20](run 36) + 32,5(run 37)	72,5	2752		mrc tres abimés run 36
240	70(run 38)	70	2822	2840,5	
241	22,5(run 38) + 19(run 39) + 27(run 39bis)	68,5	2890,5		
242	45(run 39bis) + [6 + 4 + 12](run 40)	67	2957,5	2990	
243	[5 + 8 + 9 + 13](run 40) + [20 + 11](run 41)	111	3068,5		run 40 garde que les gros Mrcx
244	9(run 41) + [15 + 5](run 42) + 39(run 43)	68	3136,5		run 41 garde que les gros Mrcx
246	[18 + 5](run 43) + [27 + 18](run 44)	68	3204,5		
247	[5 + 6 + 17 + 8](run 44) + 14(run 45) + [11 + 5](run 46)	66	3270,5		
248	7(run 47) + 16(run 48) + [6 + 12](run 49) + [7 + 21](run 50)	69	3339,5	3342	run 48 chips éliminé
249	20(run 50) + 9(run 51) + [15 + 18](run 52)	62	3401,5		run 51 chips éliminé
250	[10 + 7](run 52) + [33 + 15,5](run 53)	65,5	3467		
251	[6,5 + 13](run 53) + [16 + 9 + 4 + 20](run 54)	68,5	3535,5		
252	0 + 16 + 4)(run 54) + [9 + 5 + 4](run 55) + [5 + 4 + 11](run 55)	68	3603,5		
253	[14 + 7](run 57) + 2(run 58)	23	3626,5	3650	à cause chips sur run 254

254	70(run 59)	70	3696,5		garde que les chips les + grosses
255	30(run 60) + 40(run 61)	70	3766,5		
256	22(run 61) + 20(run 62) + 24,5(run 63)	66,5	3833		
257	[44 + 17](run 63)	61	3894		
258	[34 + 16](run 64)	50	3944		
259	15(run 65) + 5(run 66) + 5(run 67) + 5(run 68)	30	3974		on garde les + grosses chips
260	70(run 69)	70	4044	4059	
		4044			

Annexe I, tableau 9: prélèvements des copeaux sur run

Carotte de 54m			Carotte de 40m		
n° du run	masse en g	observations	n° du run	masse en g	observations
#41	477,1		27	529	
#42	427,8		28	576,6	
#43	531,5		29	527,8	
#44	430		30	549,4	
#45	556,4		31	603,6	
#46	497,2		32	494,2	
#47	528,8		33	558,6	
#48	531,4		34	559,2	
#49	678,9		35	528,5	
#50	560,8		36	586,8	
#51	596,1	très sale	37	545,1	
#52	628,8		39	586,1	
#53	591,5		40	519,4	
#54	449,2		41	405,5	
#55	451,7		42	603	
#56	495	sale	43	550,7	
#56bis	478,1		44	569,9	
#58	418,1		49	482,5	
#59	396,2		50	536,9	
#60	432,1		51	531,3	
#61	519,8		52 + 53	540,5	
#62	461,3		53	435,7	
#63	406,8		54	449,4	
#64	459,5		55	407,5	sale
#66	436,7		56	526,6	sale
#67	562,6	très sale	57	506,6	sale
			59	491,7	
			60	627,1	
			61	511,9	
			62	746,6	
			63	394,3	
			64	556,5	sale
			64bis	466,7	très sale
			69	534,9	

Annexe I, tableau 10: prélèvements de fragments de carottes

Carotte	Echant.	Lieu de prélèvement	Profondeur en cm
24m	0		
		Aucun	
17m	0		
		Aucun	
54m	1		
		les 2cm du run 64	4545
40m	5		
		les 4cm du fond du run 9 = bas du tube 209	715
		à 19cm du fond du run 27 = début du tube 229	2030
		fin du run 35 = fin du tube 237	2625
		le début du 4ème morceau du run 36 = début du tube 239	2680
		les 4cm du fond du run 54 = à 26cm du début du tube 252	3561

Annexe I, tableau 11: prélèvement de givre  
Récupération total sur hautbant de la tente forage

Date	heure prelevt	cm de givre	meteo	observations
28/11/00				
	10h00	3	vent-brume	
	11h30	1	vent-brume	
	13h20	1	vent-brume	
	14h45	1	vent-brume	
	16h20	1	soleil	
	18h20	0	soleil	
	20h45	2		
29/11/00				
	6h00	4	brumeux	
	10h00	3	soleil + vent	givre regele
	11h30	1	brumeux	givre regele
	13h20	1	soleil	givre regele
	14h45	0,5	soleil	
	16h20	tres peu	soleil	
	18h20	0		
30/11/00				
	10h00?			



## **ANNEXE II**

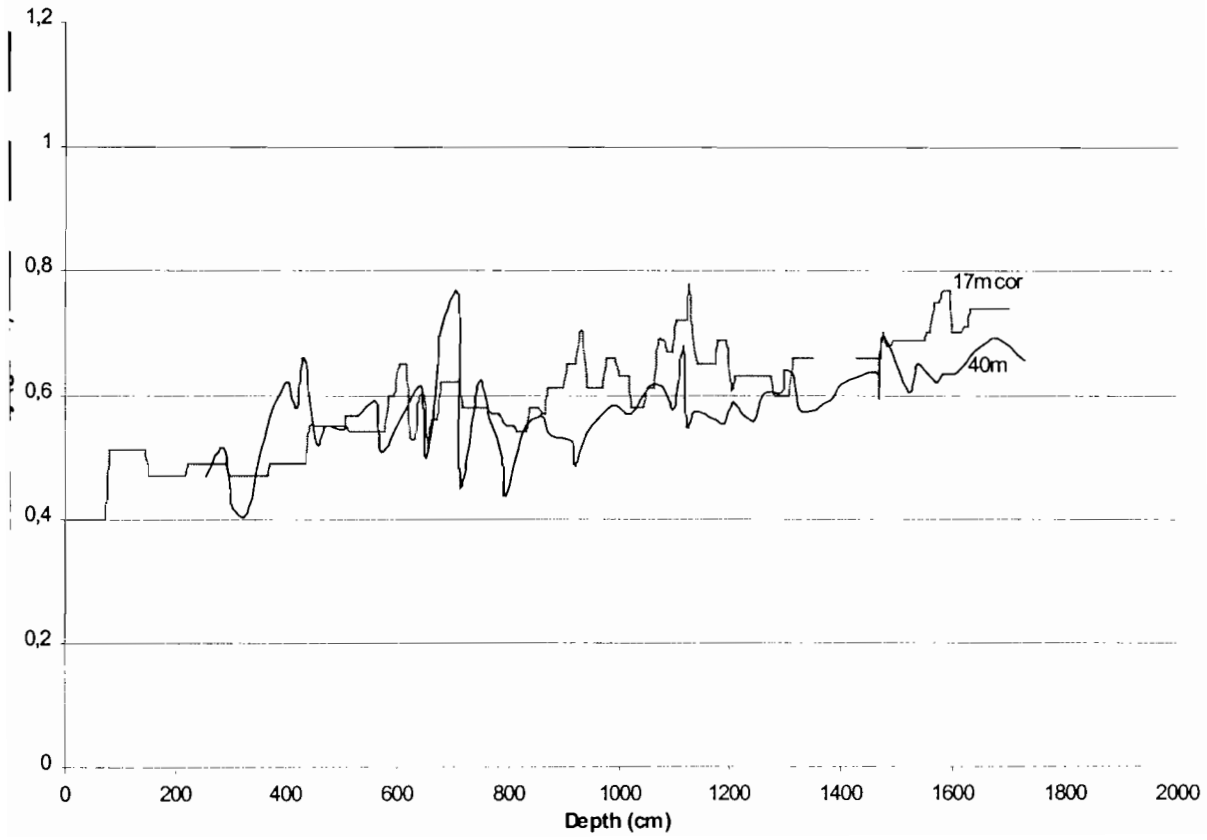
### **Premiers résultats de CH24**

Aucun résultat pour l'instant

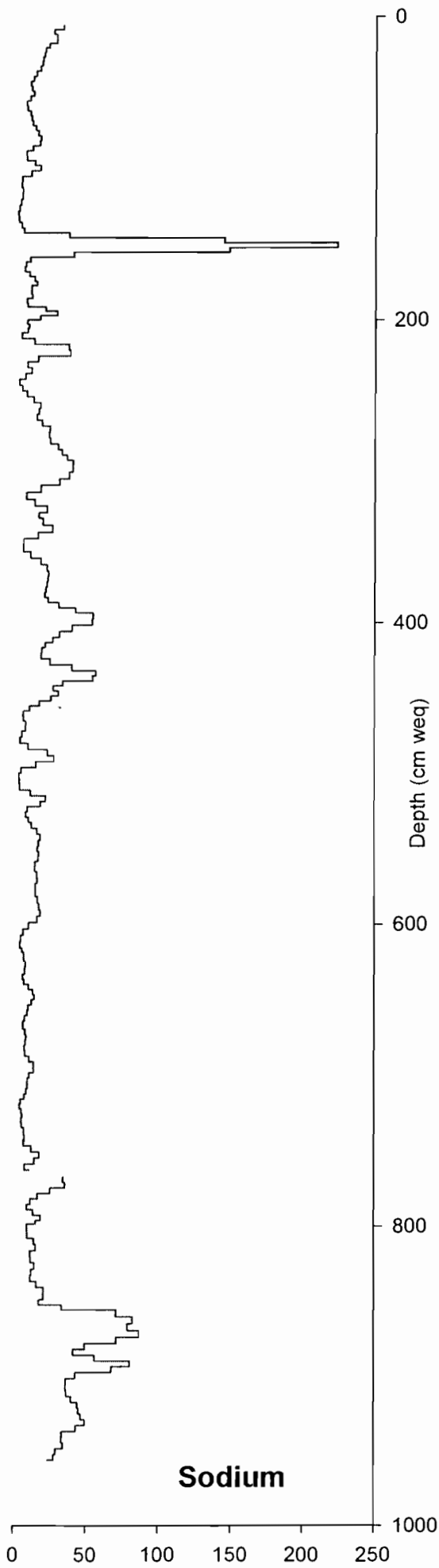
# **ANNEXE III**

## **Premiers résultats de CH17**

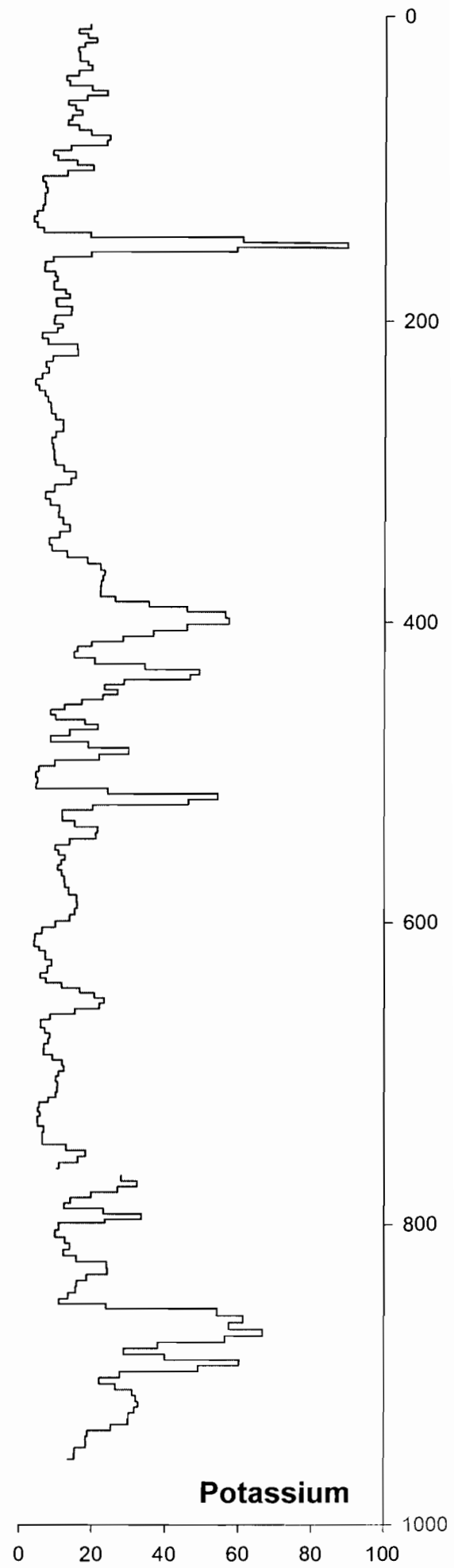
Density Chimbo 2000 - comparison



# Chimborazo 2000 : 17 m core

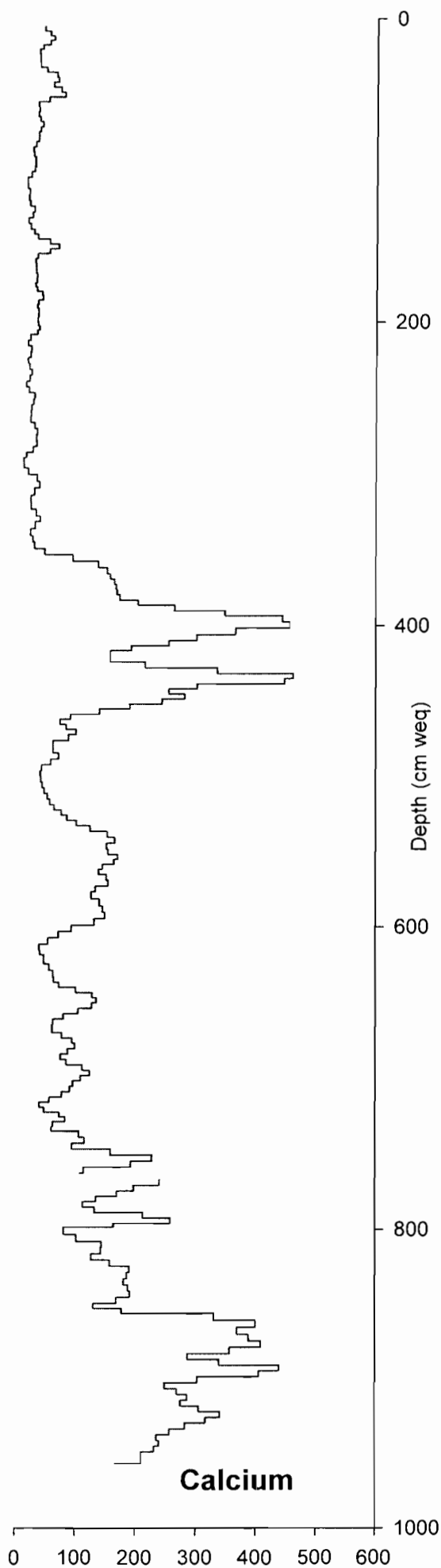


**Sodium**

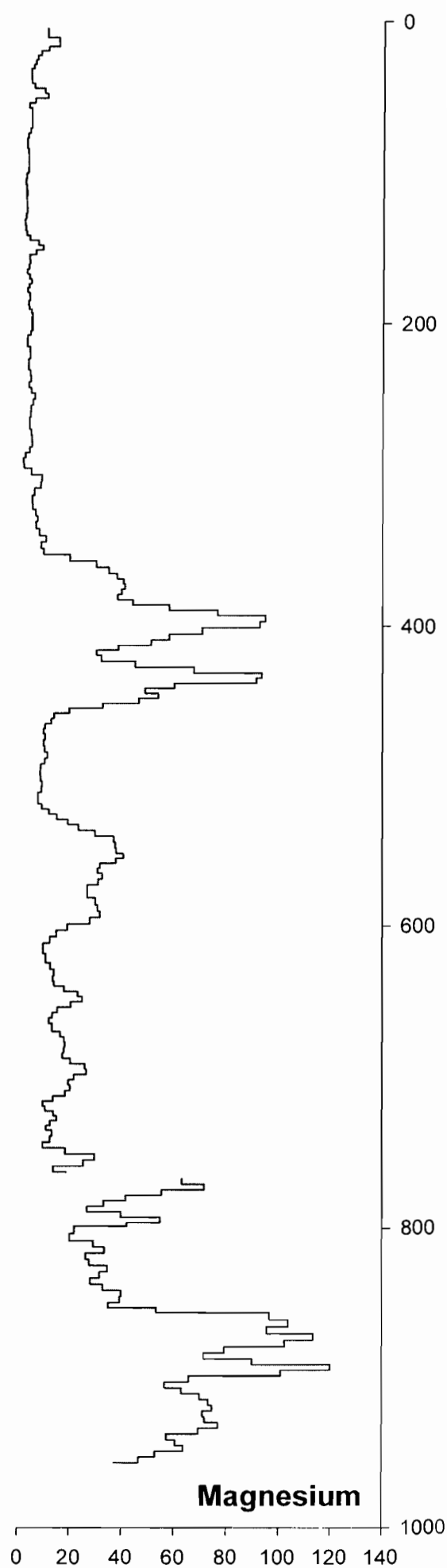


**Potassium**

# Chimborazo 2000 : 17 m core

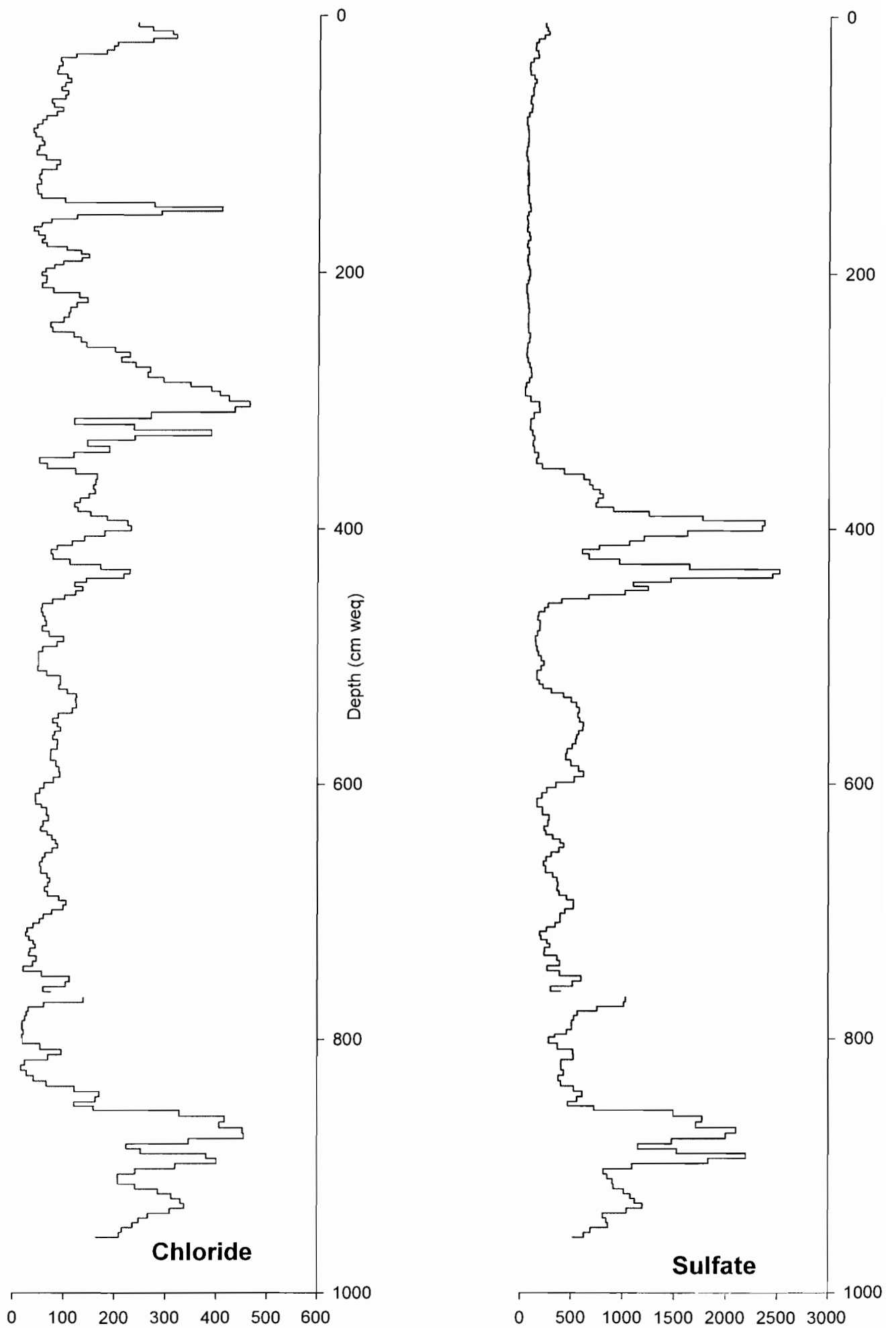


**Calcium**

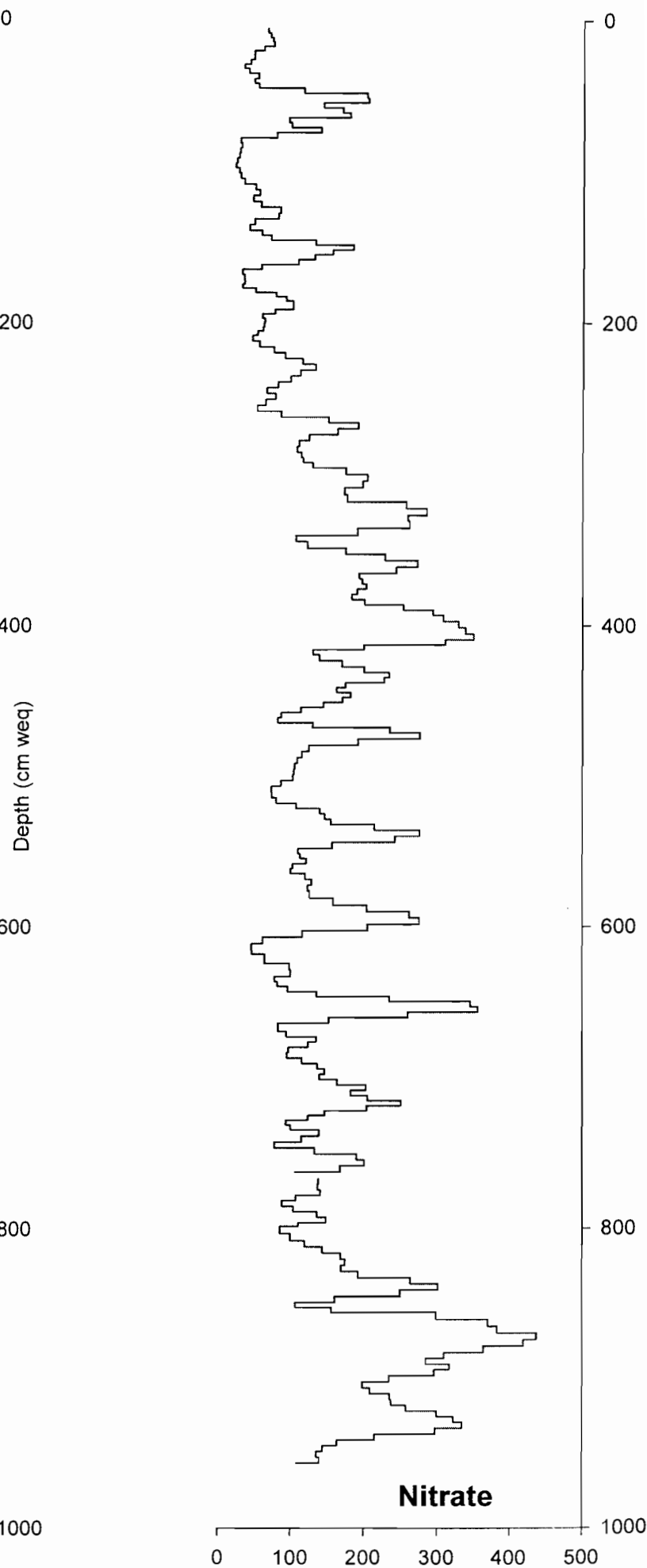
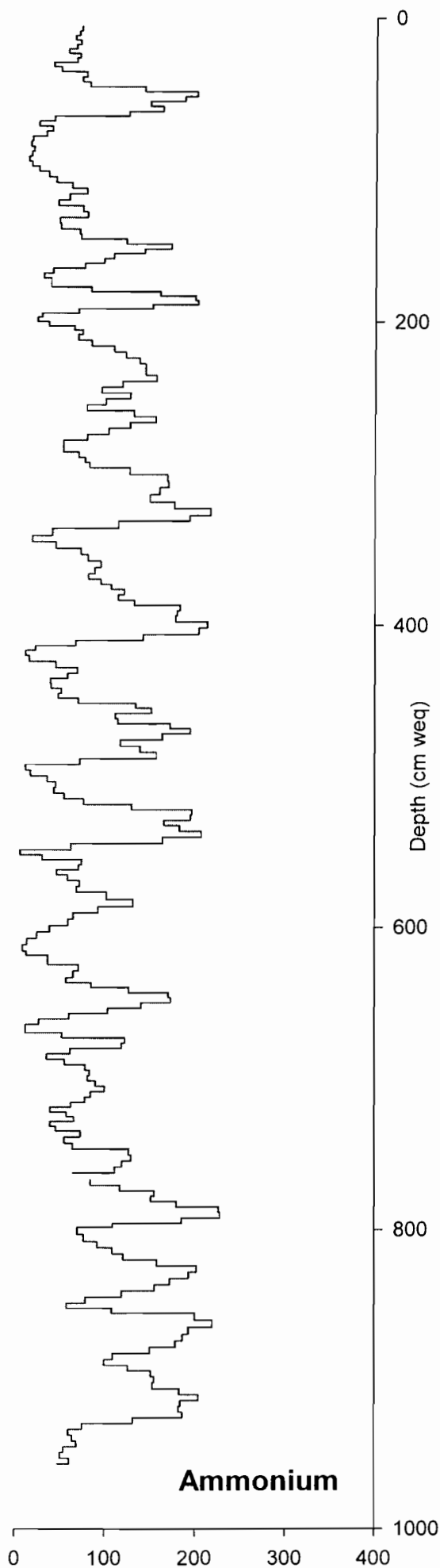


**Magnesium**

# Chimborazo 2000 : 17 m core

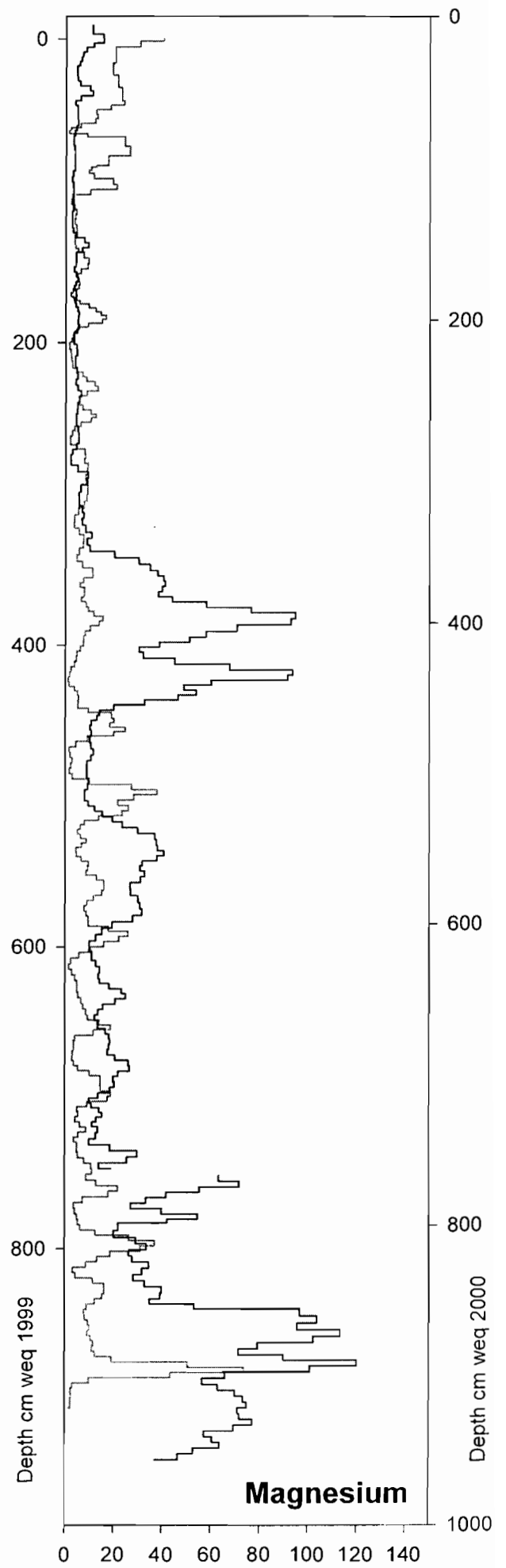
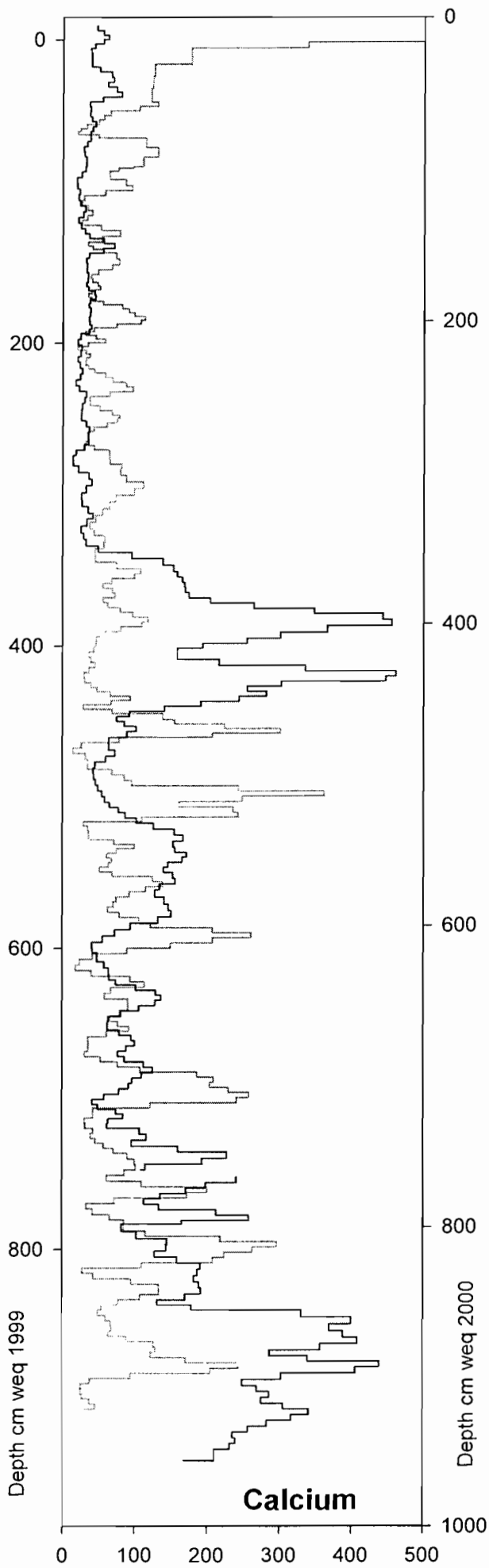


# Chimborazo 2000 : 17 m core

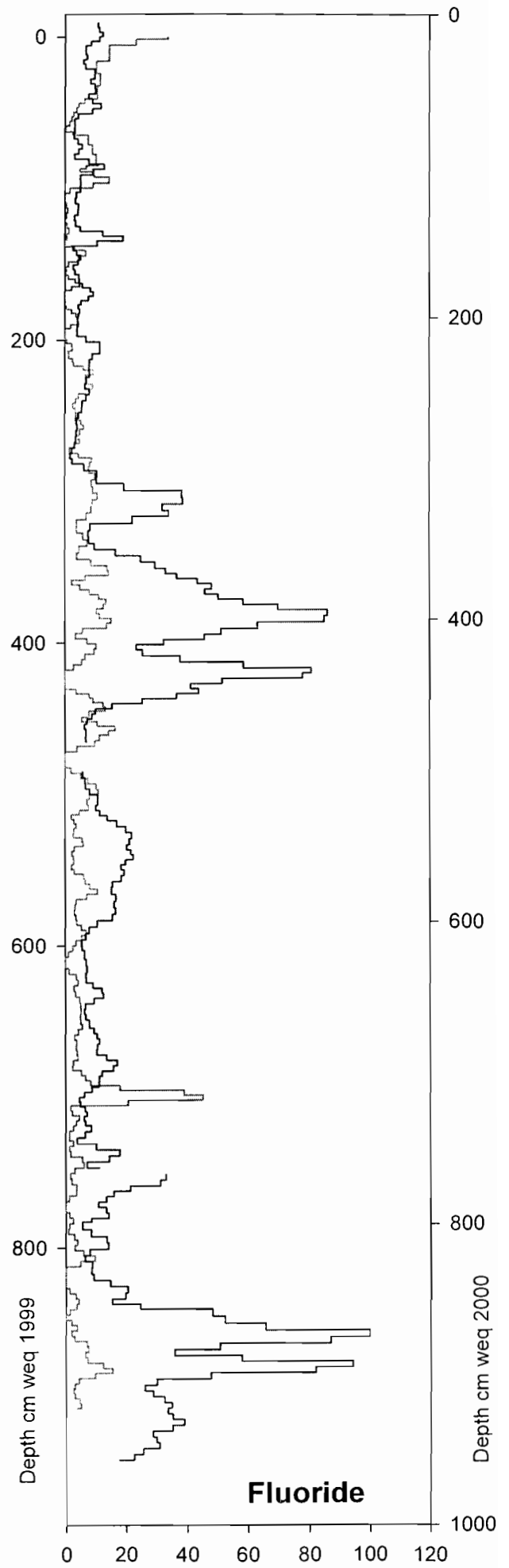
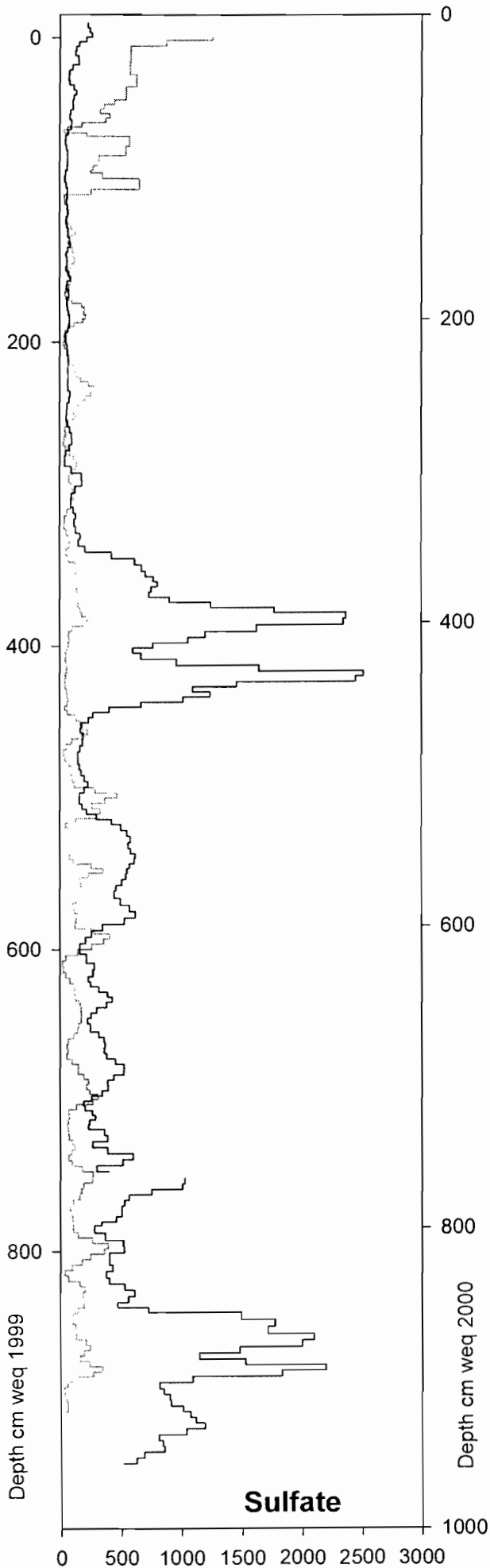




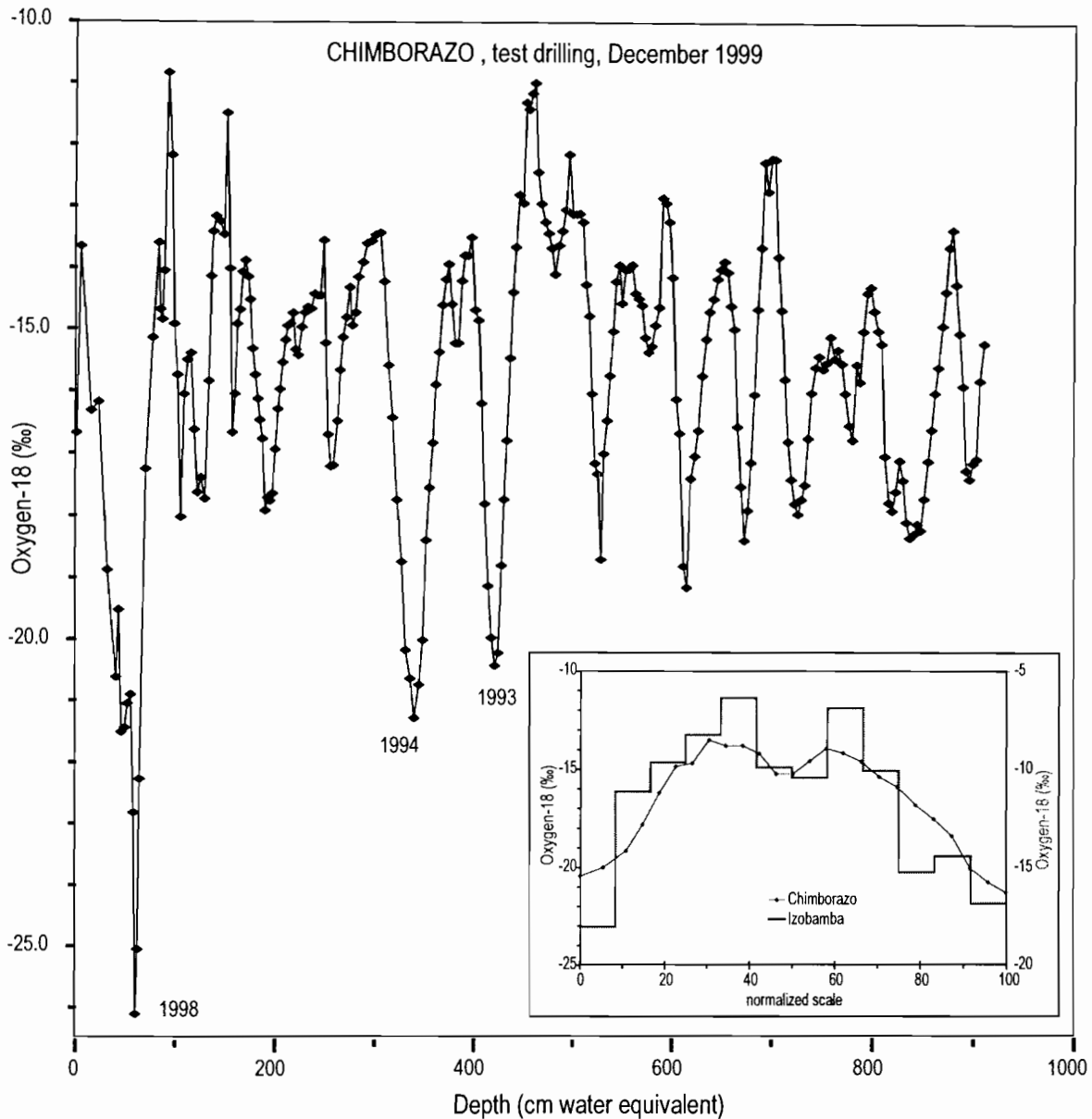
# Chimborazo 1999/2000



# Chimborazo 1999/2000



# First results from the Chimborazo ice core drilling programme



## Aim of the ice core drilling project on Chimborazo:

A major question regarding the assessment of global environmental change is:

**Are the observed changes in variability of El Niño - La Niña events a natural climate evolution or are they already reflecting the human influence on climate?**

Of particular interest are ice cores from the Andes, because they may allow reconstructing the decadal to interdecadal variability of El Niño - La Niña events by means of water isotopes (oxygen-18 and deuterium) on the South American continent. Of special interest are cold high altitude glaciers in Ecuador, a country, which suffers extremely under such climate anomalies. To test the suitability of Chimborazo, a 15m long ice core was drilled in December 1999 and analysed for oxygen-18. A comparison with direct precipitation data from the nearby situated meteorological station Izobamba revealed a strong similarity in both, the annual oxygen-18 variation in the precipitation samples and the accumulated snow on Chimborazo. Not only the back and forth movement of the intertropical convergence zone (ITCZ) is recorded (double peak in the insert of the figure) but also effect of La Niña, which causes extreme negative isotope values due to enhanced precipitation.

From these preliminary results we can conclude, that the ice core drilling project on Chimborazo will not only be a scientific success, from a timely answer regarding the magnitude of human interference with climate the general public will also benefit because of enforced political measures.

# **ANNEXE IV**

## **Premiers résultats de CH54**

## ANNEXE IV, Document 1: CARACTERISTIQUES GENERALES CH54

Rem: les profondeurs basses des morceaux ont été calculés à partir des profondeurs basses des tubes (en gras), qui sont, elles, ajustées à partir des mesures directes de profondeur lors du forage.

n tube	long LGGE	long Mrc	prof basse	équivalent en cm d'eau	masse	densite
60	63	5	28	25,4	200	0,905
		3	31	27,2	80	0,604
		13	44	37,7	465	0,810
		3	47	39,3	70	0,528
		7	54	43,2	175	0,566
		4	58	45,4	95	0,538
		7	65	50,0	205	0,663
		4	69	52,1	90	0,509
		14	<b>83</b>	57,4	235	0,380
61	67	13	113	70,7	255	0,444
		21	134	82,6	525	0,566
		24	158	95,0	550	0,519
		8	<b>166</b>	98,1	135	0,382
62	64	13	199,5	112,7	220	irrégulier
		7	206,5	115,7	115	irrégulier
		2,5	209	116,8	65	irrégulier
		4	213	118,6	100	irrégulier
		8	221	122,1	125	irrégulier
		7	228	125,1	95	irrégulier
		21	<b>249</b>	134,3	450	irrégulier
63	69	29	285	150,0	560	0,437
		17	302	155,9	260	0,346
		9	311	159,4	155	0,390
		14	<b>325</b>	165,1	250	0,404
64	69	17	349	176,7	365	0,486
		22	371	186,0	410	0,422
		20	391	194,5	375	0,424
		10	<b>401</b>	198,5	175	0,396
65	68	30	436	215,6	650	0,490
		20	456	224,5	390	0,441
		11	467	229,3	215	0,442
		7	<b>474</b>	232,5	80	irrégulier
66	71	17	496	242,9	355	0,473
		6	502	245,4	110	0,415
		38	540	264,8	855	0,509

		10	<b>550</b>	270,5	255	0,577
67	72	28	583	288,7	680	0,550
		25	608	301,9	585	0,530
		19	<b>627</b>	311,4	420	0,500
68	71	11	640	316,8	200	0,412
		52	692	342,9	1155	0,503
		8	<b>700</b>	346,4	155	0,439
69	67	26	731	363,2	620	0,540
		16	747	371,4	365	0,516
		9	756	375,4	175	0,440
		16	<b>772</b>	384,5	405	0,573
70	69	32	805	402,1	750	0,531
		38	<b>843</b>	422,8	915	0,545
71	70	43	886	447,2	1080	0,569
		27	<b>913</b>	461,7	640	0,537
72	71	19	929	470,8	480	0,572
		14	943	478,3	330	0,534
		27	970	493,7	680	0,570
		13	<b>983</b>	501,3	335	0,583
73	71	25	1008	515,7	635	0,575
		15	1023	523,7	355	0,536
		30	<b>1053</b>	541,0	765	0,577
74	70	37	1090	562,5	950	0,581
		33	<b>1123</b>	581,8	850	0,583
75	71	47	1169,5	609,8	1250	0,602
		14	1183,5	618,0	365	0,590
		2,5	1186	619,8	80	0,724
		7	<b>1193</b>	623,8	175	0,566
76	70	28	1223	641,1	715	0,578
		7	1230	644,9	165	0,534
		24	1254	659,3	640	0,604
		11	<b>1265</b>	665,8	285	0,586
77	69	16	1282	675,9	420	0,594
		39	1321	699,6	1045	0,607
		13	<b>1334</b>	707,0	330	0,575
78	72	39,5	1373	730,7	1060	0,607
		33	<b>1406</b>	751,5	920	0,631
79	71	34	1439	773,4	995	0,662
		30	1469	792,9	860	0,649

		7	<b>1476</b>	797,5	205	0,663
80	70	11	1487	804,5	310	0,638
		16	1503	814,8	455	0,644
		43	<b>1546</b>	844,1	1295	0,682
81	71	22	1567	858,6	670	0,689
		49	<b>1616</b>	891,7	1460	0,674
82	70	11	1628	899,9	335	0,689
		7	1635	904,6	205	0,663
		20	1655	917,7	580	0,656
		30	<b>1685</b>	938,5	920	0,694
83	63	46	1730	969,5	1400	0,689
		17	<b>1747</b>	981,4	525	0,699
84	66	37	1784	1005,6	1070	0,655
		28	<b>1812</b>	1025,3	870	0,703
85	70	39	1851	1052,3	1190	0,691
		31	<b>1882</b>	1075,7	1035	0,756
86	73	17	1899	1087,7	530	0,706
		29	1928	1108,8	935	0,730
		27	<b>1955</b>	1128,8	880	0,738
87	68,5	18	1974	1143,8	630	0,792
		34	2008	1168,9	1110	0,739
		17	<b>2025</b>	1181,8	570	0,759
88	69	23	2050	1200,9		
		12	2062	1210,1		
		33	<b>2095</b>	1235,3		
89	70	42	2137	1267,3		
		22	2159	1284,1		
		6	<b>2165</b>	1288,7		
90	70	52	2217	1328,4	1755	0,764
		18	<b>2235</b>	1342,1	605	0,761
91	70	37	2273	1371,8	1280	0,783
		24	2297	1391,0	845	0,797
		8	<b>2305</b>	1397,5	290	0,821
92	70	42	2345	1429,9	1500	0,808
		18	2363	1444,7	655	0,824
		10	<b>2373</b>	1452,6	350	0,792
93	65	26	2397	1471,7	915	0,797
		39	<b>2436</b>	1503,2	1390	0,807

94	71	25	2460	1522,6	895	0,810
		14	2474	1534,0	500	0,808
		32	<b>2506</b>	1560,2	1160	0,821
95	70	8	2514	1566,3	270	0,764
		62	<b>2576</b>	1618,4	2300	0,840
96	70	10	2585	1625,8	365	0,826
		28	2613	1648,9	1020	0,825
		31	<b>2644</b>	1674,8	1145	0,836
97	69	7	2652	1682,1	280	0,905
		62	<b>2714</b>	1732,8	2240	0,818
98	70	7	2720	1737,4	240	0,776
		31	2751	1762,9	1125	0,821
		33	<b>2784</b>	1790,9	1235	0,847
99	68	5	2788	1794,0	175	0,792
		64	<b>2852</b>	1848,8	2420	0,856
100	70	41	2893	1884,9	1595	0,881
		29	<b>2922</b>	1910,1	1115	0,870
101	67	67	<b>2990</b>	1969,2	2570	0,868
102	70	33	3024	1999,5	1300	0,892
		36	<b>3060</b>	2031,9	1430	0,899
103	70	9	3070	2041,4	380	0,956
		37	3107	2075,4	1500	0,918
		23	<b>3130</b>	2096,4	930	0,915
104	69	13	3147	2112,1		biseau
		12	3159	2123,8	515	0,971
		12	3171	2135,2	505	0,953
		4	3175	2138,9		biseau
		25	<b>3200</b>	2162,1	1025	0,928
105	66	24	3224	2183,2	930	0,877
		29	3253	2209,7	1170	0,913
		14	<b>3267</b>	2222,1	550	0,889
106	65	54	3321	2271,6	2185	0,916
		12	<b>3333</b>	2282,4	480	0,905
107	65	50	3383	2327,4	1985	0,899
		15	<b>3398</b>	2342,0	645	0,973
108	71	71	<b>3470</b>	2407,6	2860	0,912

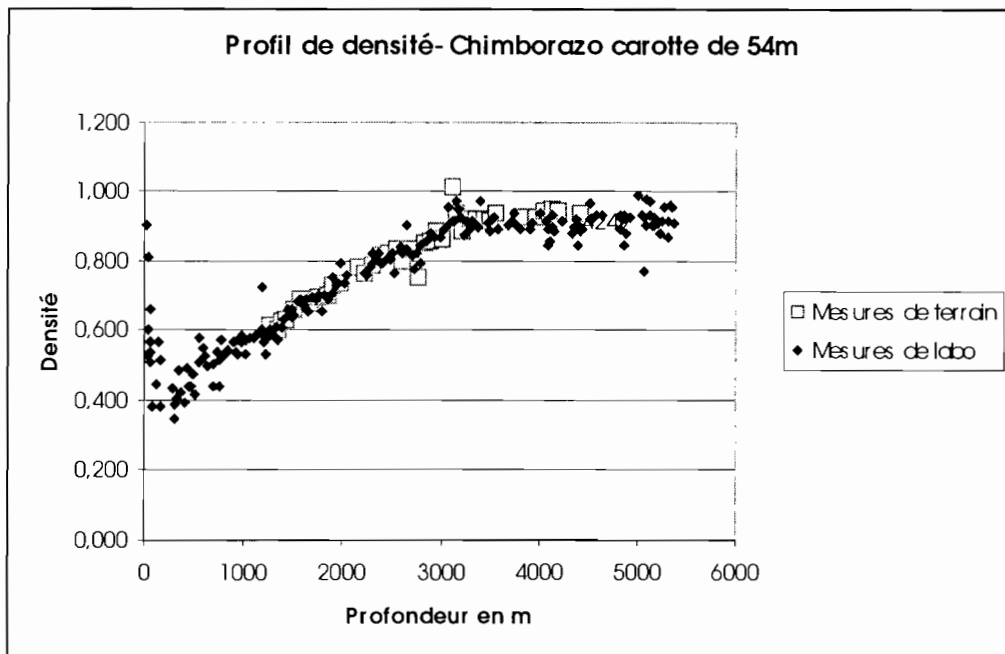


109	69	28	3499	2433,3	1095	0,885
		41	<b>3540</b>	2471,3	1680	0,927
110	38	38	<b>3577</b>	2504,3	1495	0,891
111	70	24	3605	2529,6		biseau
		40	<b>3645</b>	2565,9		biseau
112	26	26	<b>3670</b>	2588,5		biseau
113	66	16	3685	2602,1	640	0,905
		29	3714	2628,6	1170	0,913
		22	<b>3736</b>	2649,2	910	0,936
114	64	31	3765	2674,8	1210	0,884
		13	3778	2686,5	515	0,897
		22	<b>3800</b>	2706,1	870	0,895
115	70	25	3825	2728,7		
		45	<b>3870</b>	2769,4		
116	65	38	3907	2802,4	1500	0,893
		28	<b>3935</b>	2827,9	1125	0,909
117	63	63	<b>3998</b>	2887,1	2615	0,940
118	69	18	4015	2902,4	645	biseau
		25	4040	2924,9	975	biseau
		28	<b>4068</b>	2950,6	1135	0,918
119	70	15	4084	2964,8	590	0,890
		10	4094	2973,3	375	0,849
		9	4103	2981,0	340	0,855
		18	4121	2997,7	740	0,931
		17	<b>4138</b>	3013,0	675	0,899
120	70	19	4156	3029,0	745	0,888
		52	<b>4208</b>	3076,8	2110	0,918
121	42	22	4229	3096,0	890	0,916
		20	<b>4249</b>	3114,3	810	0,917
122	44	chips	<b>4306</b>	3166,1		
123	62	17	4324	3181,9	660	0,879
		9	4333	3190,0	340	biseau
		16	4349	3204,4	635	0,898
		21	<b>4370</b>	3223,7	855	0,922
124	69	21	4391	3242,7	840	0,905
		8	4399	3249,5	300	0,849
		17	4416	3264,6	665	0,885

		23	4439	3285,1	905	0,891
		2	<b>4441</b>	3286,9		
125	70	13	4457	3301,4		
		9	4466	3309,6		
		16	<b>4482</b>	3324,2		biseau
		9	4491	3332,3		
		20	<b>4511</b>	3350,8	815	0,922
126	68	7	4519	3358,5	300	0,970
		16	4535	3373,3	650	0,920
		45	<b>4580</b>	3415,2	1855	0,933
127	70	49	4628	3459,9	2015	0,931
		22	<b>4650</b>	3480,9	925	0,952
128	71	23	4674	3503,1		
		48	<b>4722</b>	3503,1		
129	64	23	4728	3508,6	630	biseau
		15	4743	3522,5		
		27	<b>4770</b>	3547,5	1070	biseau
130	70	43	4814	3588,5	1770	0,932
		15	4829	3601,9	590	0,890
		13	<b>4842</b>	3613,9	530	0,923
131	69	9	4852	3623,2	370	0,931
		10	4862	3631,7	375	0,849
		10	4872	3640,5	390	0,883
		9	4881	3648,4	350	0,880
		31	<b>4912</b>	3677,2	1270	0,927
132	72	12	4925	3689,0		
		7	4932	3695,4		
		21	4953	3714,6		
		19	4972	3731,9		
		12	<b>4984</b>	3742,8		
133	64	12	4997	3755,7	525	0,990
		52	<b>5049</b>	3804,3	2145	0,934
134	68	11	5062	3816,3	450	0,926
		5	5067	3820,1	170	0,770
		11	5078	3830,1	440	0,905
		3	5081	3833,1	130	0,981
		38	<b>5119</b>	3868,5	1565	0,932
135	67	13	5131	3880,2	560	0,975
		10	5141	3889,2	400	0,905
		10	5151	3898,6		
		3	5154	3901,3		

		5	5159	3905,9	200	0,905
		11	5170	3916,1	450	0,926
		13	<b>5183</b>	3928,1	530	0,923
136	63	24	5207	3949,9	965	0,910
		3	5210	3952,7		
		15	5225	3965,9	585	0,883
		4	5229	3969,6		
		18	<b>5247</b>	3986,1	730	0,918
137	64	1	5253	3991,6		
		1	5254	3992,5		
		4	5258	3996,2		
		4	5262	3999,8		
		7	5269	4006,5	295	0,954
		5	5274	4011,1		
		5	5279	4015,7		
		4	5283	4019,4		
		4	5287	4023,1		
		5	5292	4027,7		
		9	5301	4035,5	345	0,868
		9	<b>5310</b>	4043,8	365	0,918
138	59	12	5332	4064,9	510	0,962
		14	5346	4078,3	590	0,954
		15	5361	4092,0	605	0,913
		5	5366	4096,6		
		10	<b>5376</b>	4105,8		
139	58	3	5388	4116,9		
		9	5397	4125,2	445	irrégulier
		11	5408	4135,4	490	irrégulier
		6	5414	4140,9		
		2	5416	4142,7		
		3	5419	4145,5		
		23	<b>5442</b>	4166,7		

## ANNEXE IV, Document 2: PROFIL DE DENSITE CH54



## ANNEXE IV, Document 3 STRATIGRAPHIE DETAILLEE DE CH54

Légende:

Bottom

Top







Tube n: profondeur basse en m

Longueur des morceaux en cm:












Position des changements de texture et des figurés morceau par morceau.

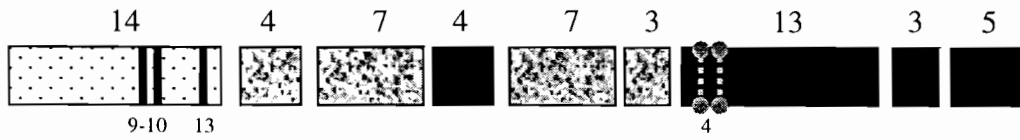
Légende des textures:

-  Névé très poreux
-  Névé consolidé
-  Mélange névé - glace
-  Glace avec porosité
-  Glace transparente
-  Zone fracturée

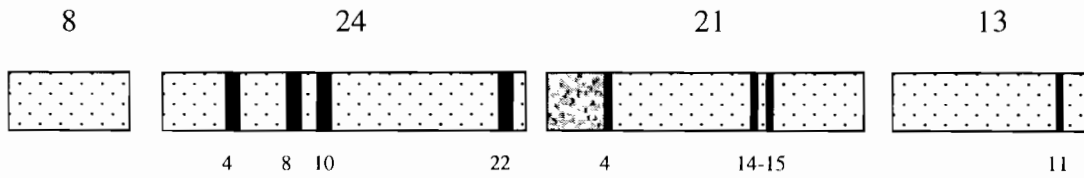
Légende des figurés

-    Niveaux de regel: de moins d'1cm, de 1 à 2cm et de plus de 2cm.
-    Horizons cendreux: fin, moyen et gros
-  Particules du bed rock
-  Isotopes
-  Cendres

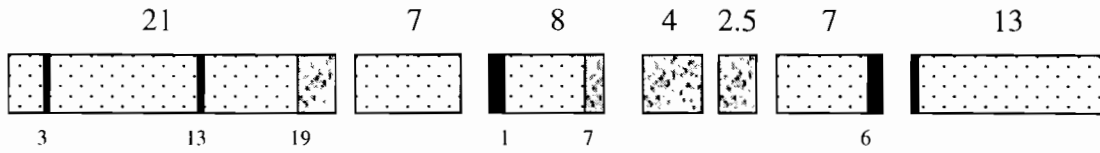
Tube 60: 0.83m



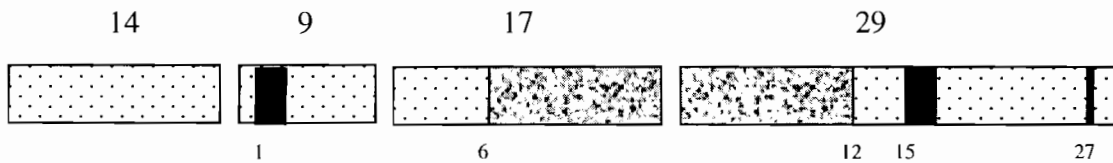
Tube 61: 1.66m



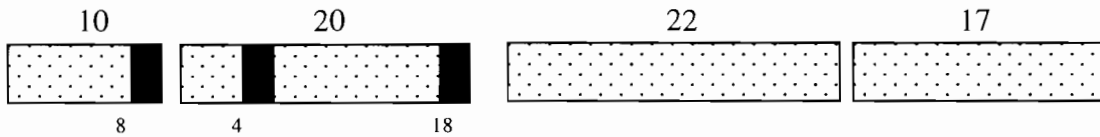
Tube 62: 2.49m



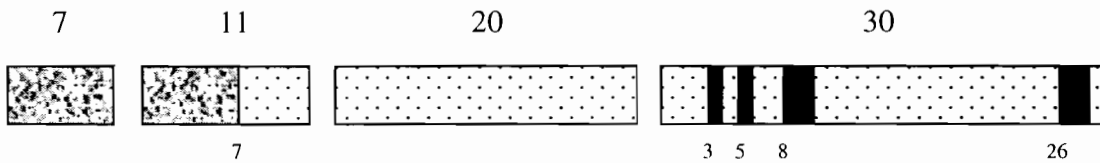
Tube 63: 3.25m



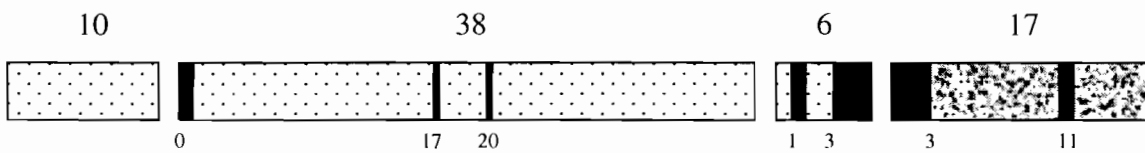
Tube 64: 4.01m



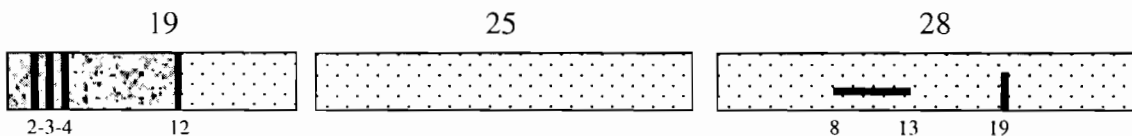
Tube 65: 4.74m



Tube 66: 5.50m



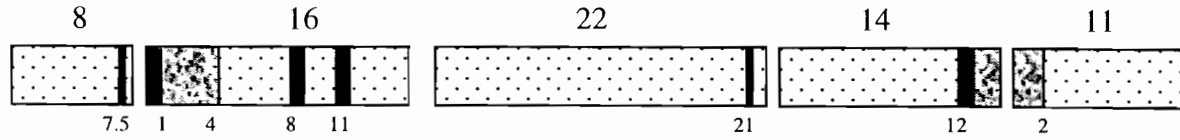
Tube 67: 6.27m



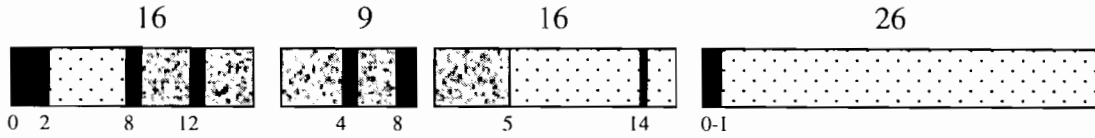
Bottom

Top

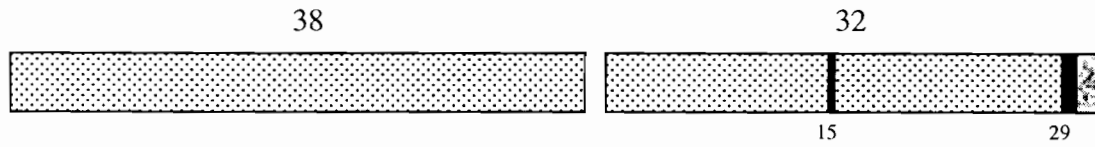
Tube 68: 7.00m (cassé pendant l'ECM: ordre? sens?)



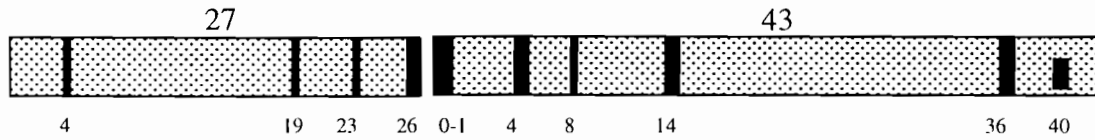
Tube 69: 7.72m



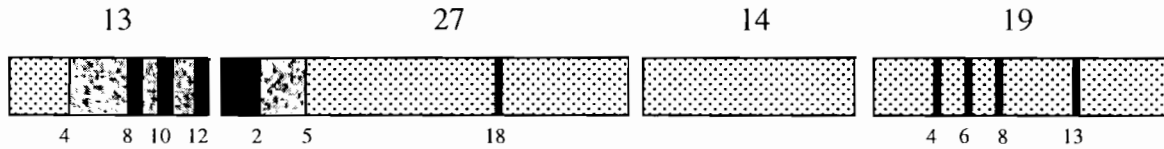
Tube 70: 8.43m



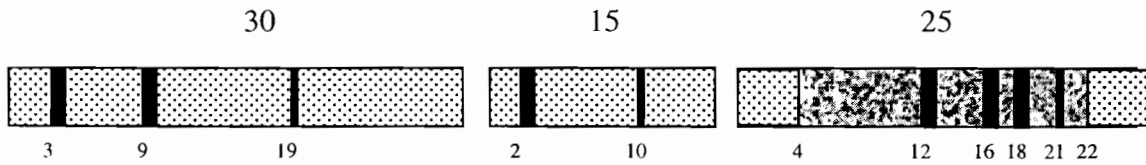
Tube 71: 9.13m



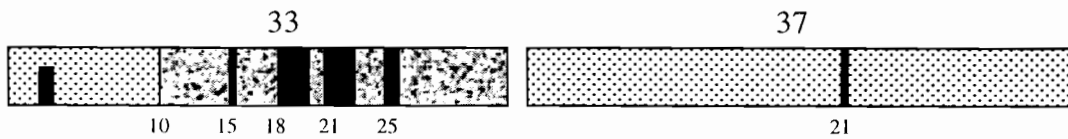
Tube 72: 9.83m



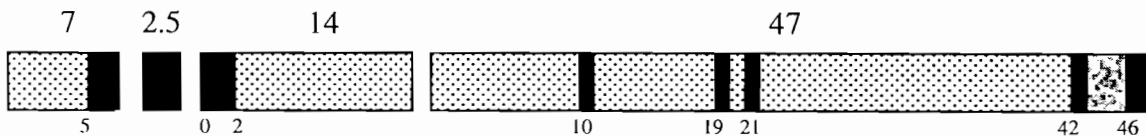
Tube 73: 10.53m



Tube 74: 11.23m



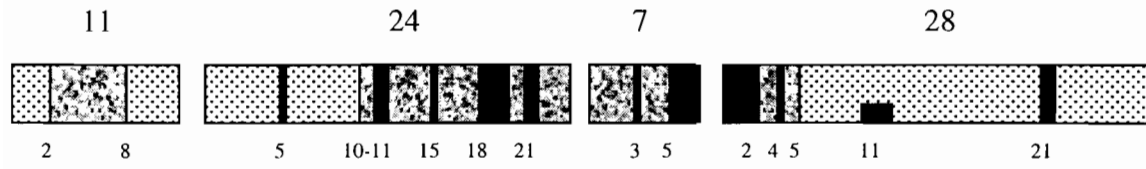
Tube 75: 11.93m



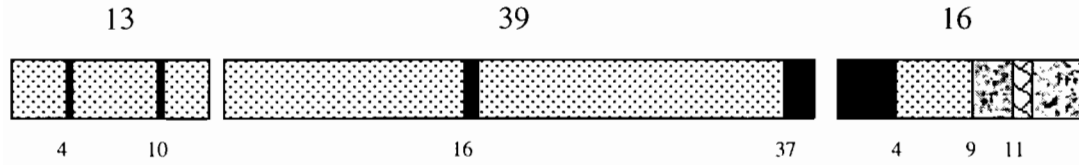
Bottom

Top

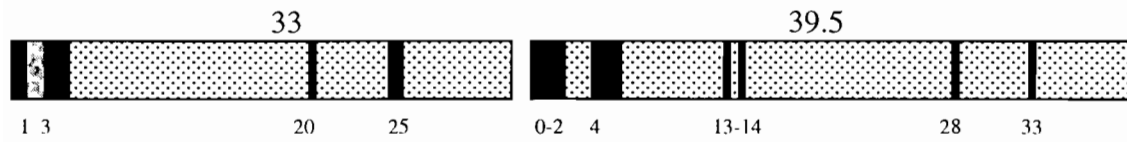
Tube 76: 12.65m



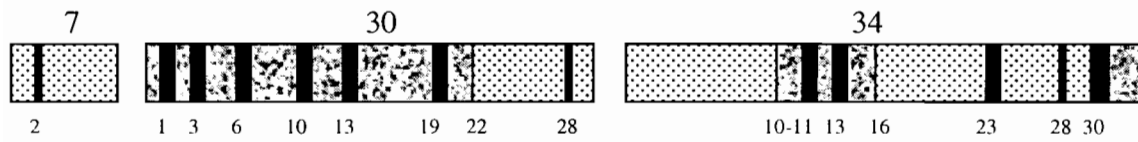
Tube 77: 13.34m



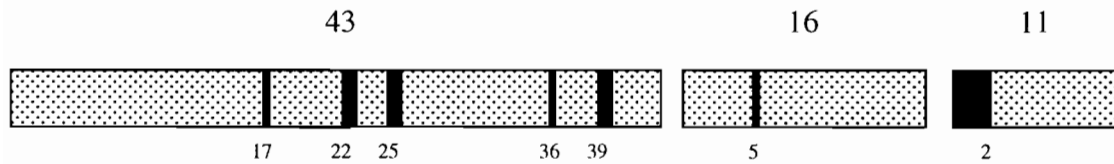
Tube 78: 14.06m



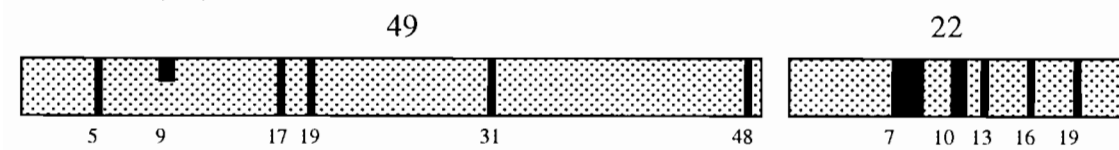
Tube 79: 14.76m



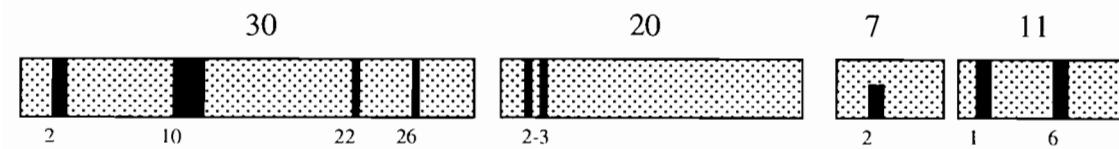
Tube 80: 15.46m



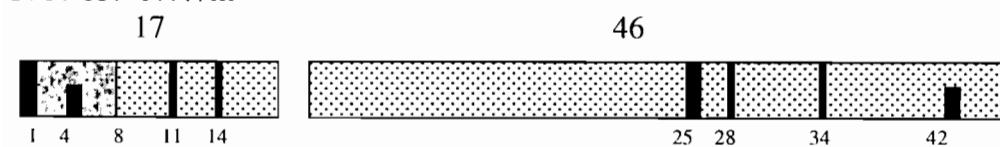
Tube 81: 16.16m



Tube 82: 16.85m

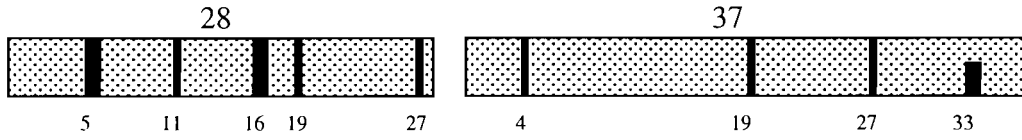


Tube 83: 17.47m

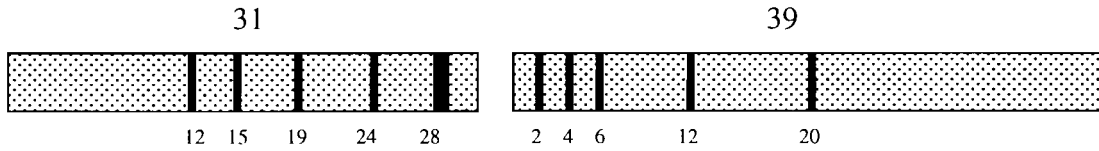




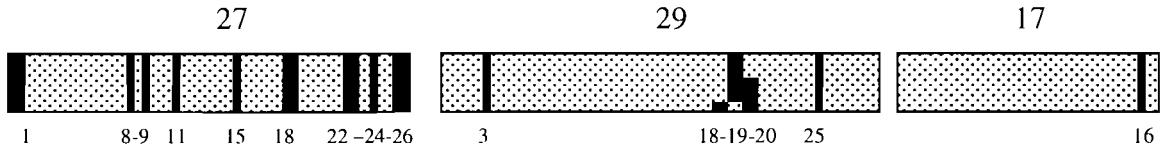
Tube 84: 18.12m



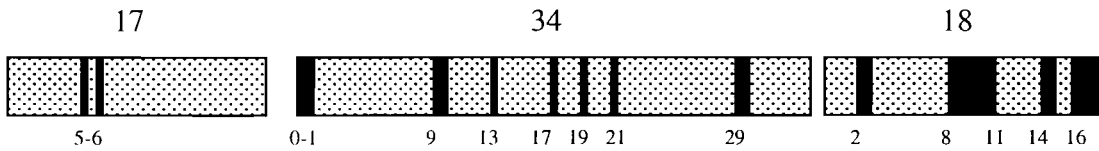
Tube 85: 18.82m



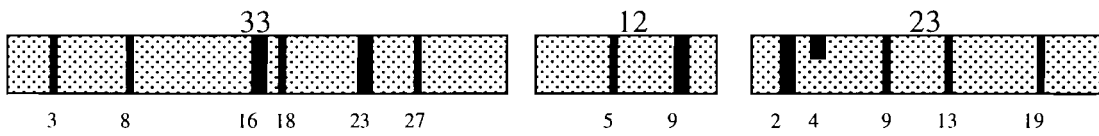
Tube 86: 19.55m



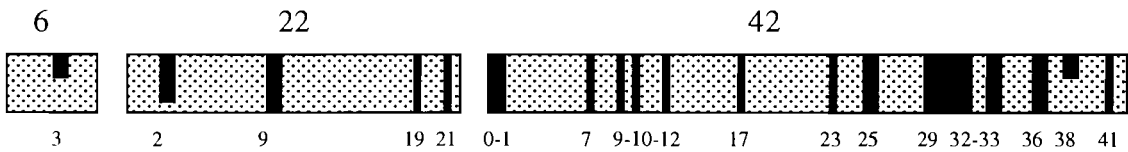
Tube 87: 20.25m



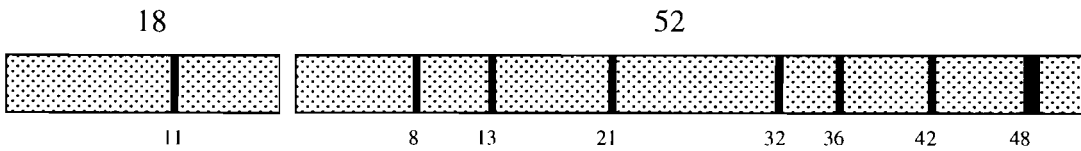
Tube 88: 20.95m



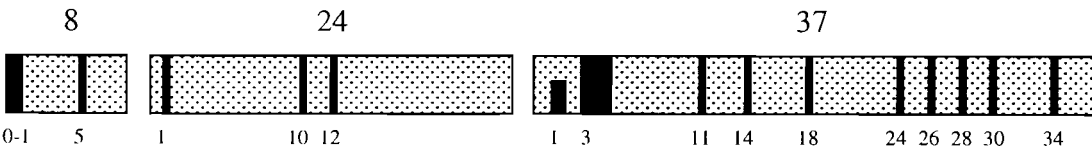
Tube 89: 21.65m



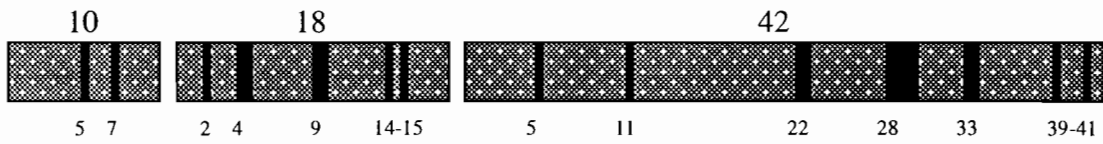
Tube 90: 22.35m



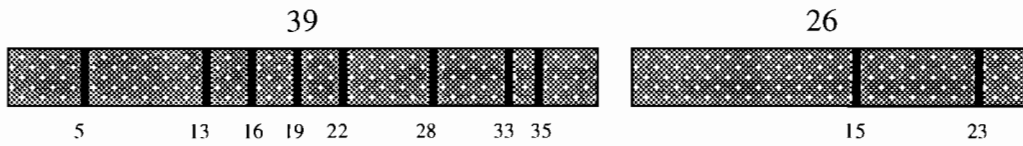
Tube 91: 23.05m



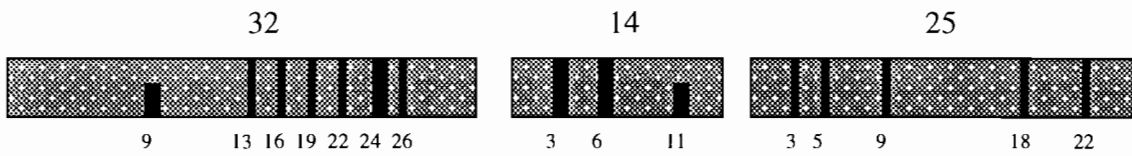
Tube 92: 23.73m



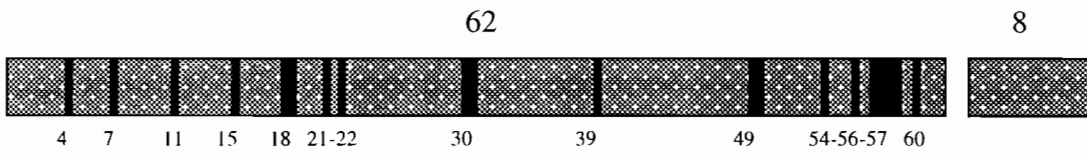
Tube 93: 24.36m



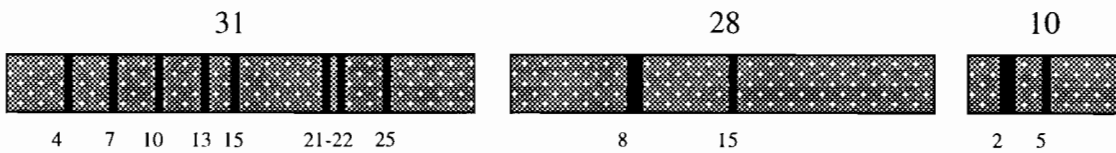
Tube 94: 25.06m



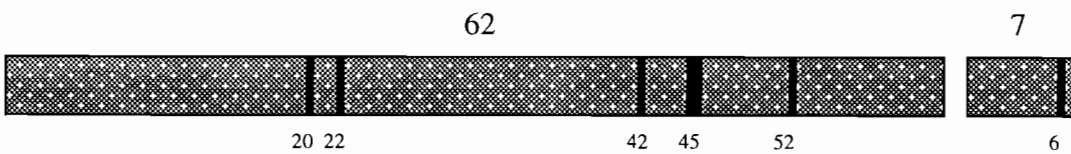
Tube 95: 25.76m



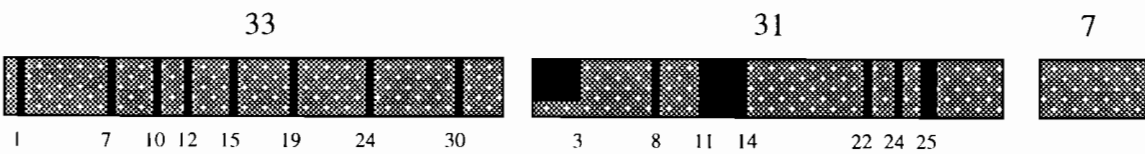
Tube 96: 26.44m



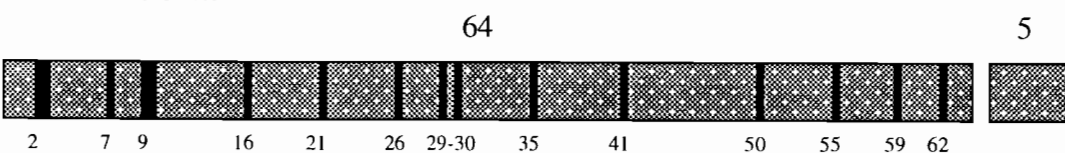
Tube 97: 27.14m



Tube 98: 27.84m



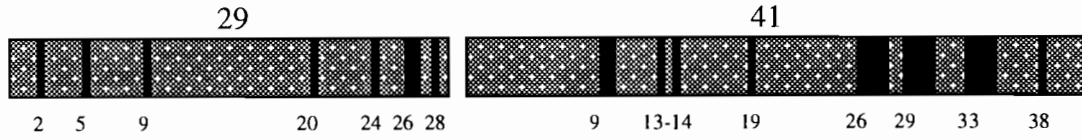
Tube 99: 28.52m



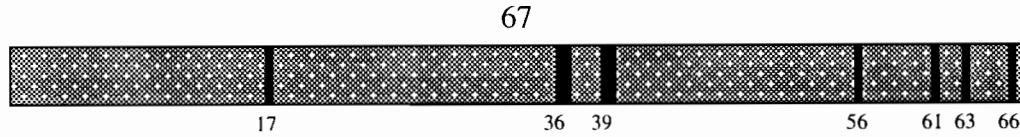
Bottom

Top

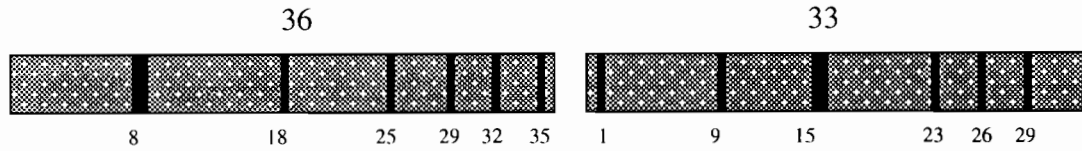
Tube 100: 29.22m



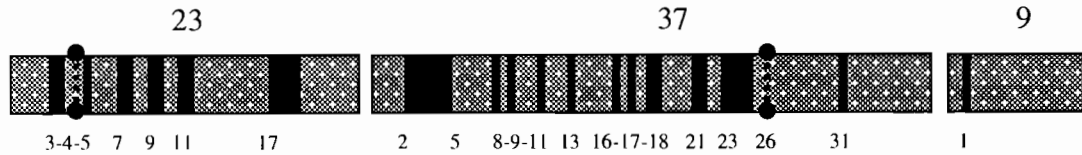
Tube 101: 29.90m



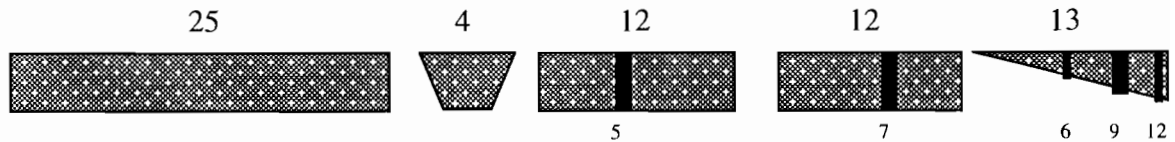
Tube 102: 30.60m



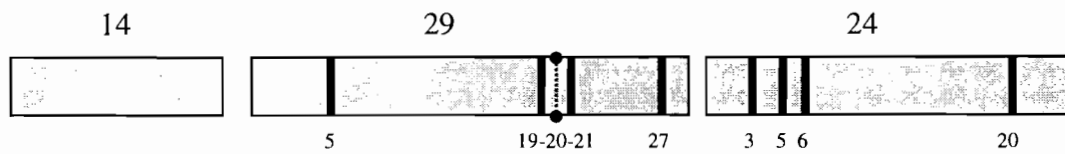
Tube 103: 31.30m



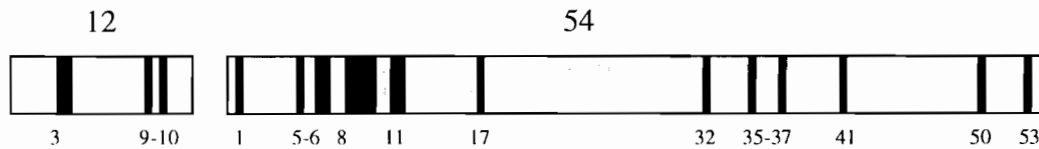
Tube 104: 32.00m



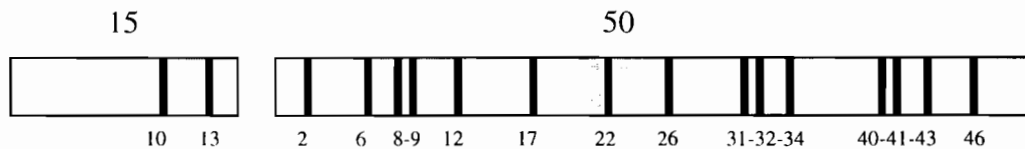
Tube 105: 32.67m



Tube 106: 33.33m



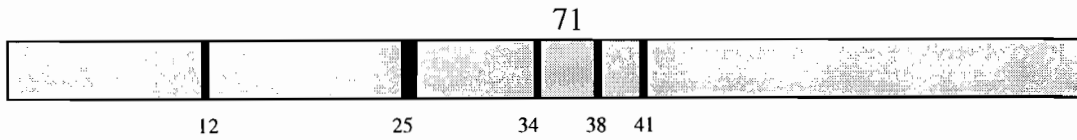
Tube 107: 33.98m



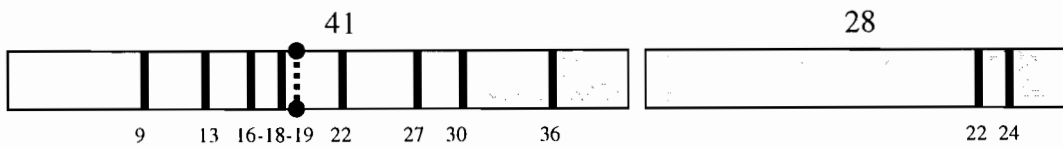
Bottom

Top

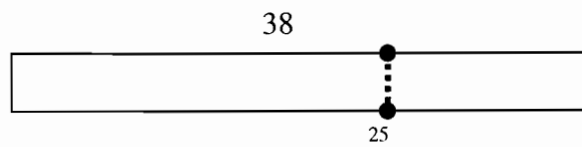
Tube 108: 34.70m



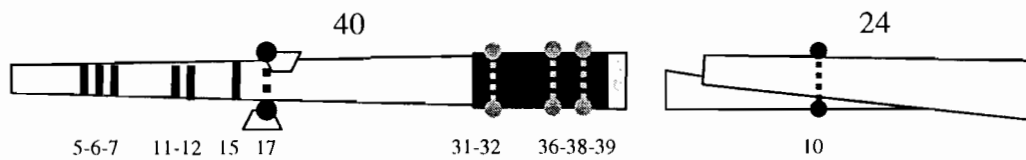
Tube 109: 35.40m



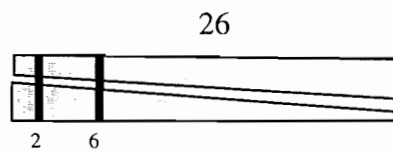
Tube 110: 35.77m



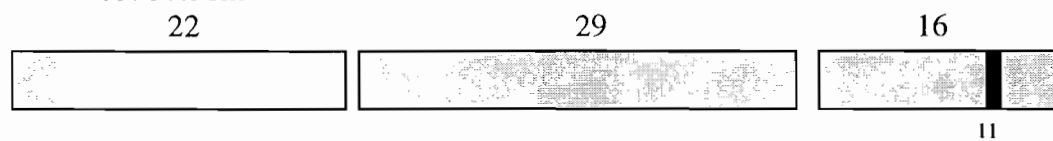
Tube 111: 36.45m



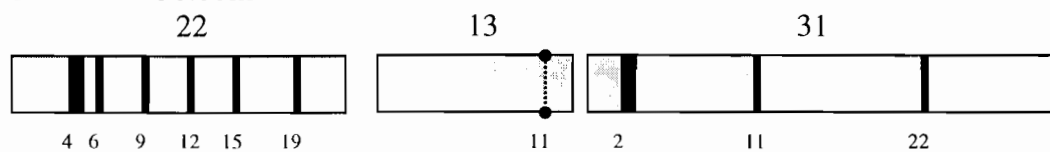
Tube 112: 36.70m



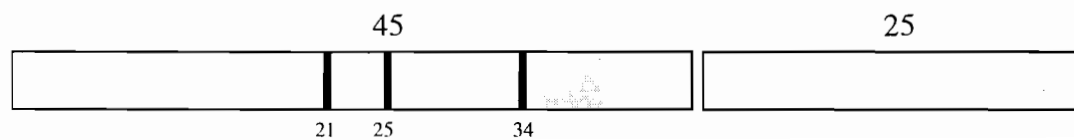
Tube 113: 37.36m



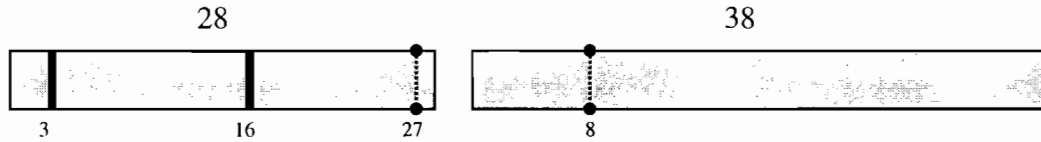
Tube 114: 38.00m



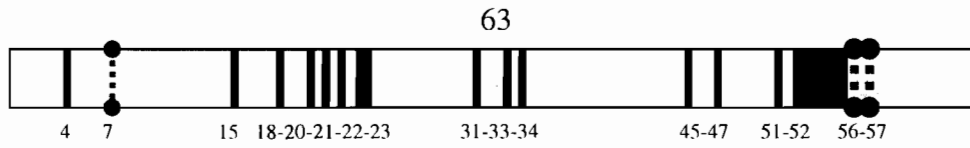
Tube 115: 38.70m



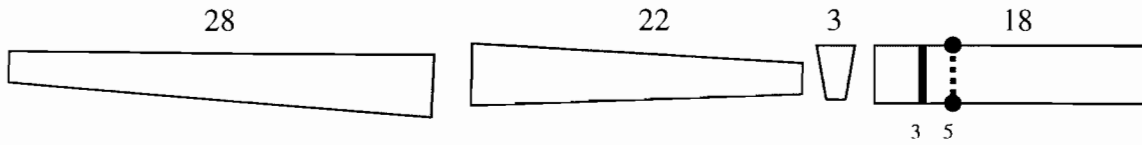
Tube 116: 39.35m



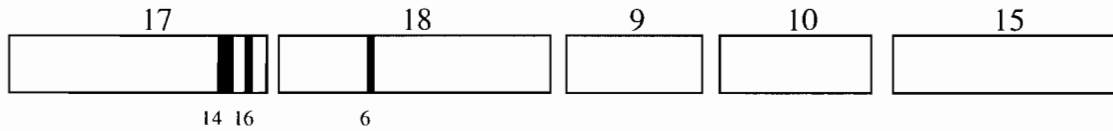
Tube 117: 39.98m



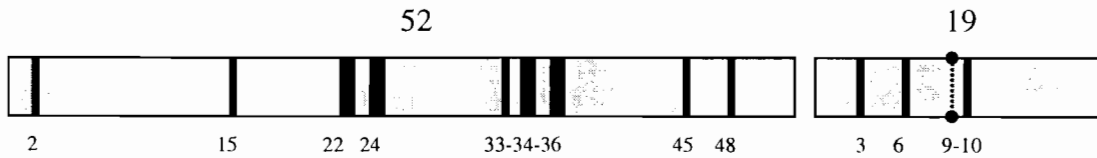
Tube 118: 40.68m



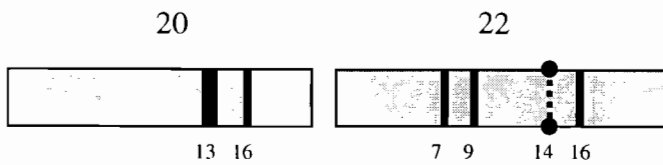
Tube 119: 41.38m



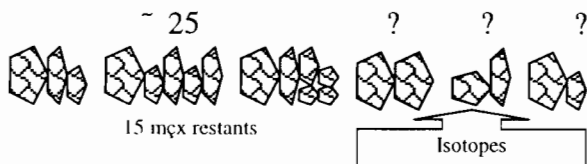
Tube 120: 42.08m



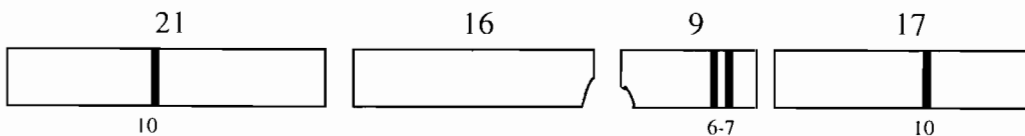
Tube 121: 42.49m



Tube 122: 43.06m



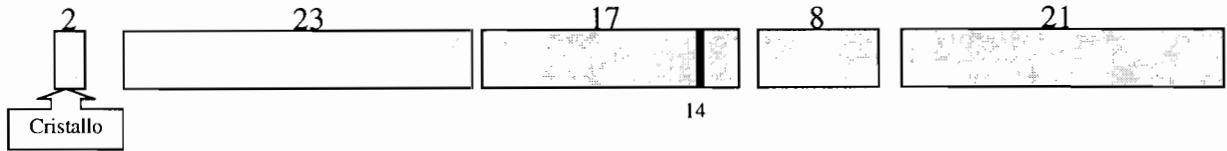
Tube 123: 43.70m



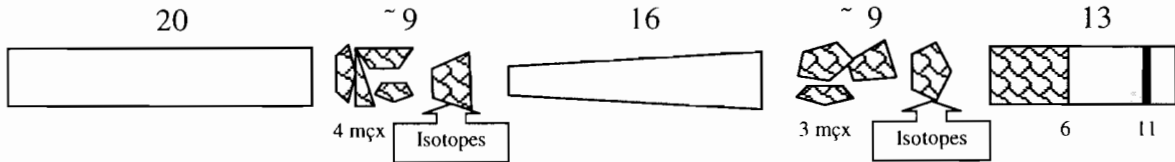
Bottom

Top

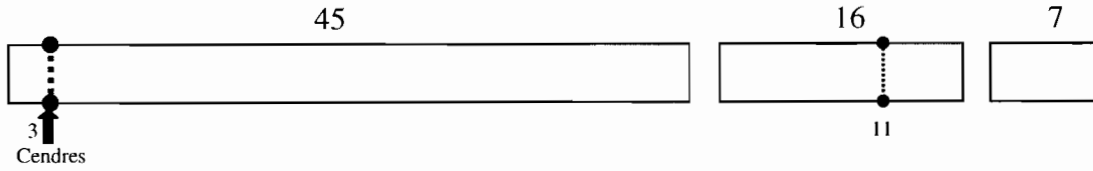
Tube 124: 44.41m



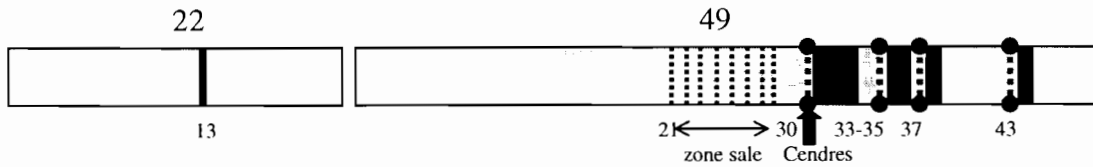
Tube 125: 45.11m



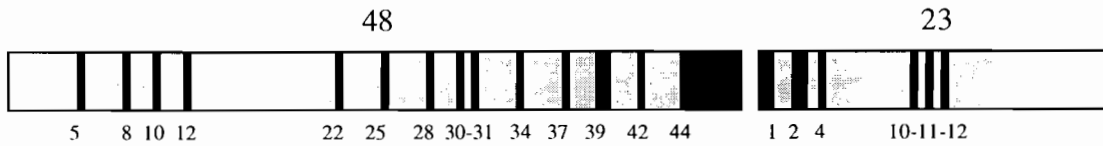
Tube 126: 45.80m



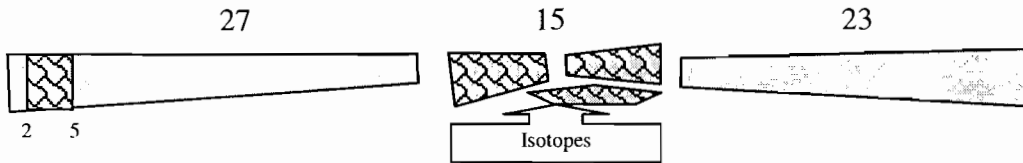
Tube 127: 46.50m



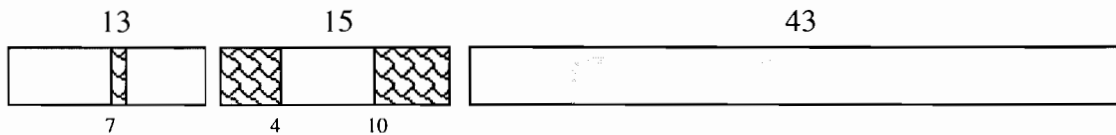
Tube 128: 47.22m



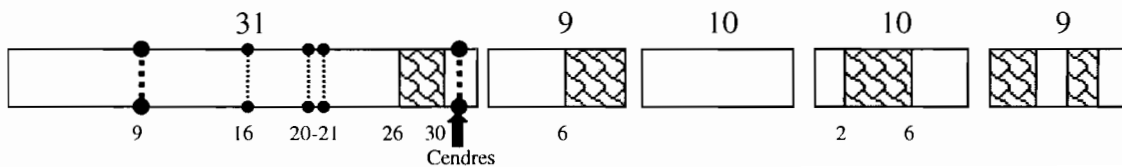
Tube 129: 47.70m



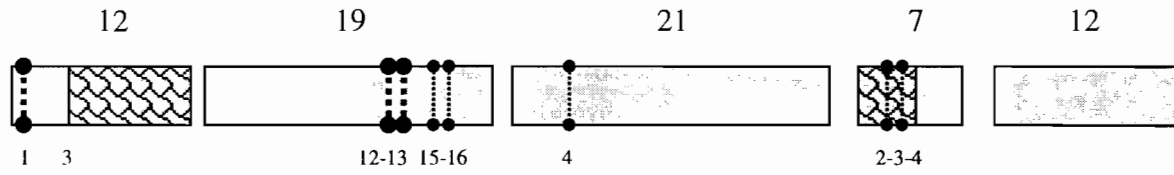
Tube 130: 48.42m



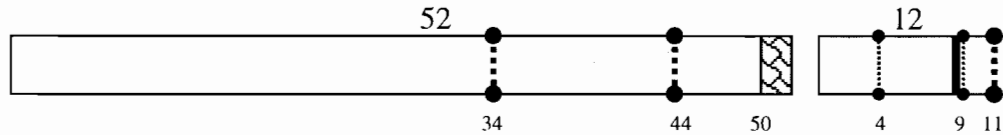
Tube 131: 49.12m



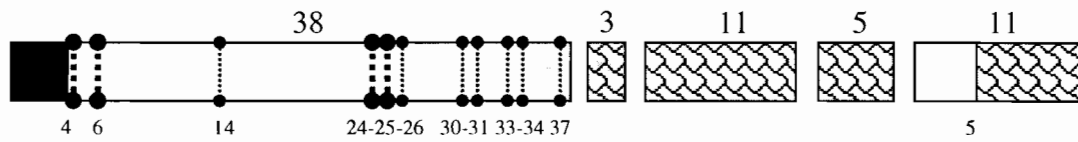
Tube 132: 49.84m



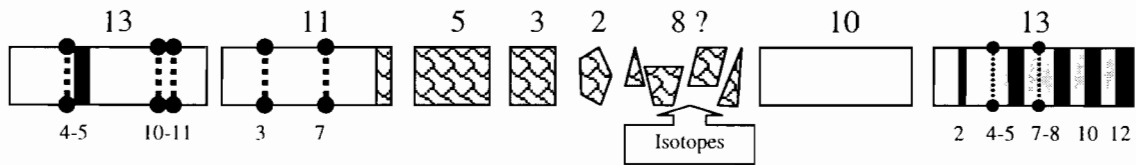
Tube 133: 50.49m



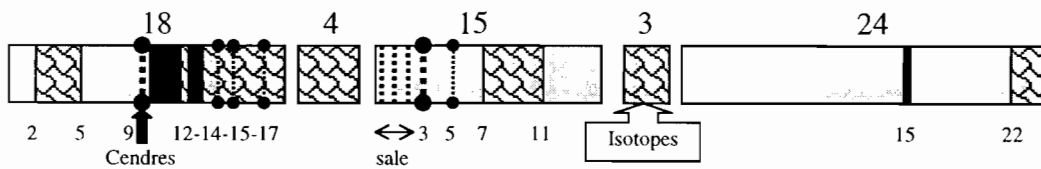
Tube 134: 51.19m



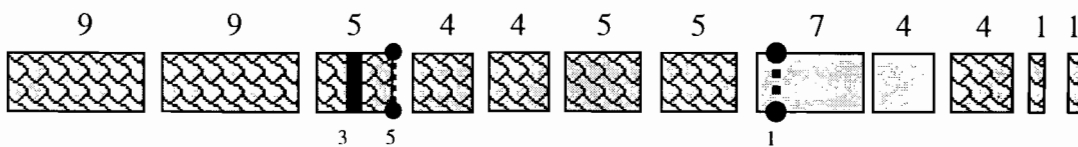
Tube 135: 51.83m



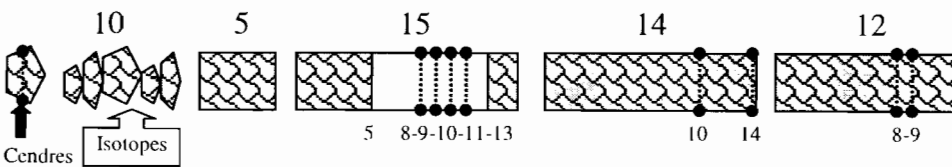
Tube 136: 52.47m



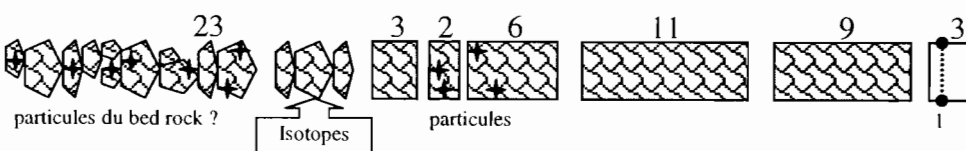
Tube 137: 53.10m



Tube 138: 53.76m

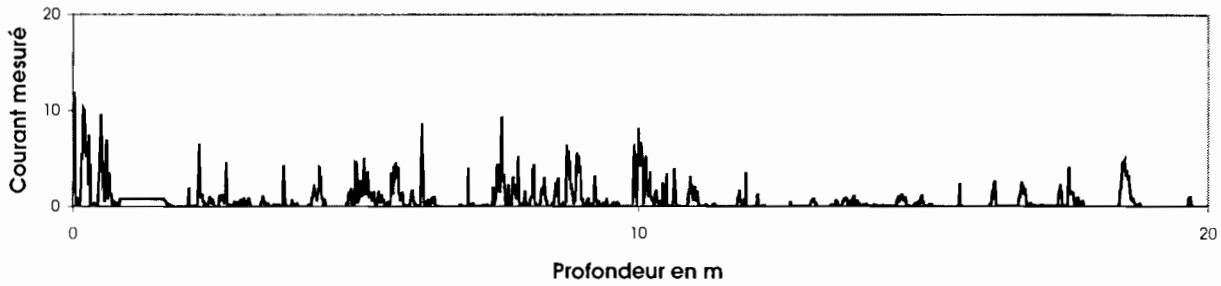


Tube 139: 54.42m

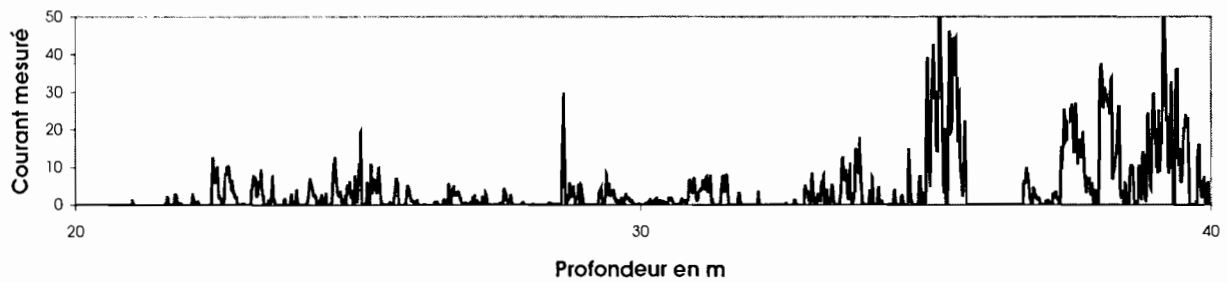


# ANNEXE IV, Document 4: PROFIL DE CONDUCTIVITE CH54

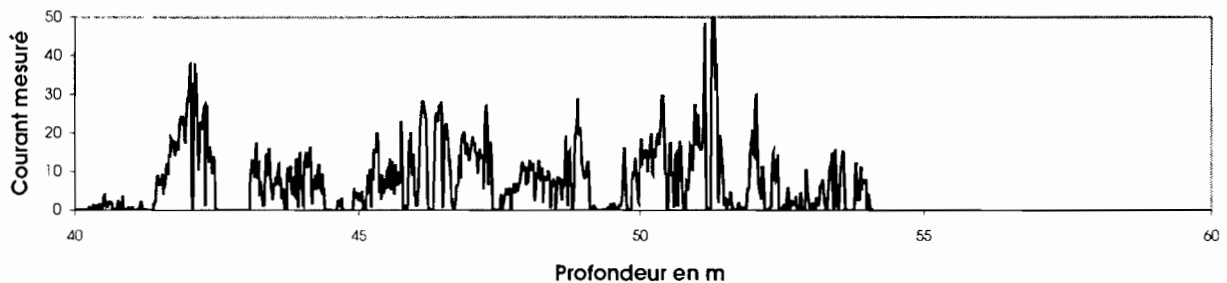
Profil de conductivité (ECM) - Chimborazo carotte de 54m



Profil de conductivité suite - Chimbo 54m



Profil de conductivité suite - Chimbo 54m





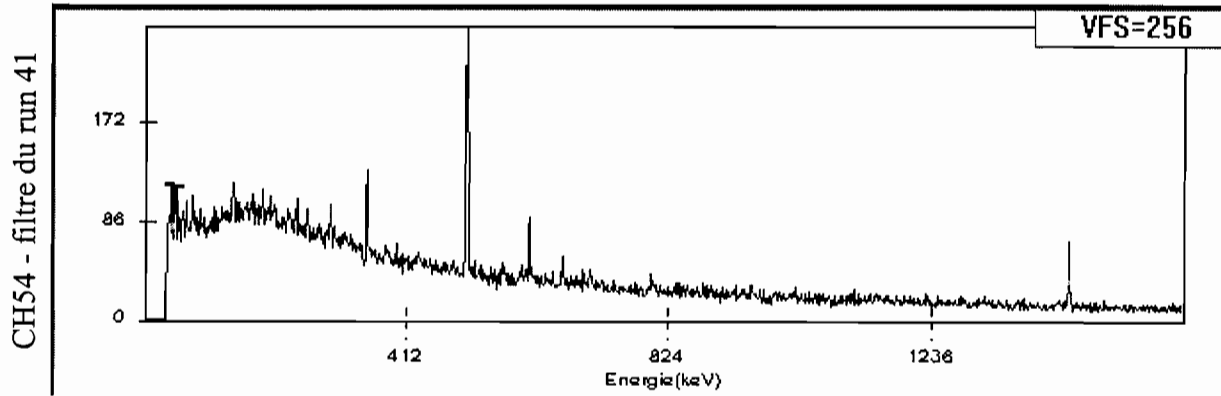
## ANNEXE IV, Document 5: COMPTAGES DE RADIOACTIVITE GAMMA CH54

Compte-rendu des rapports d'émission

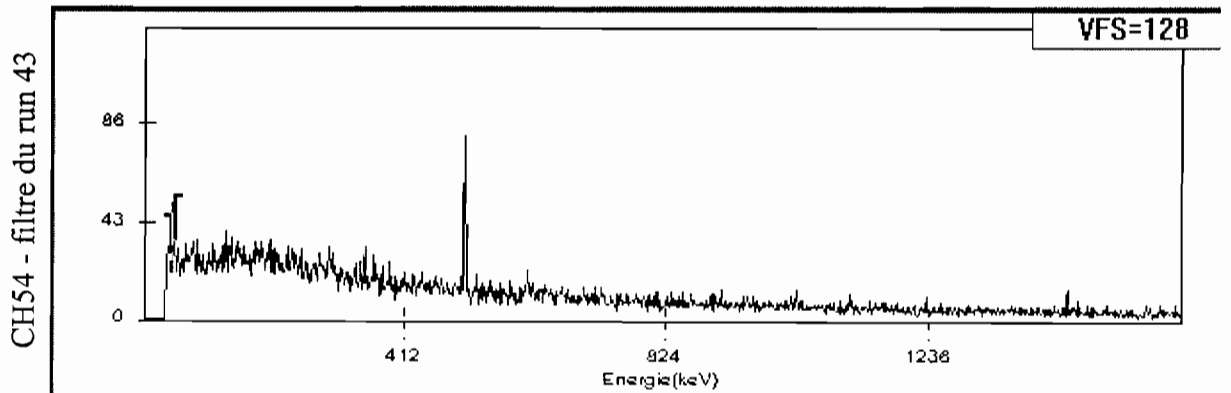
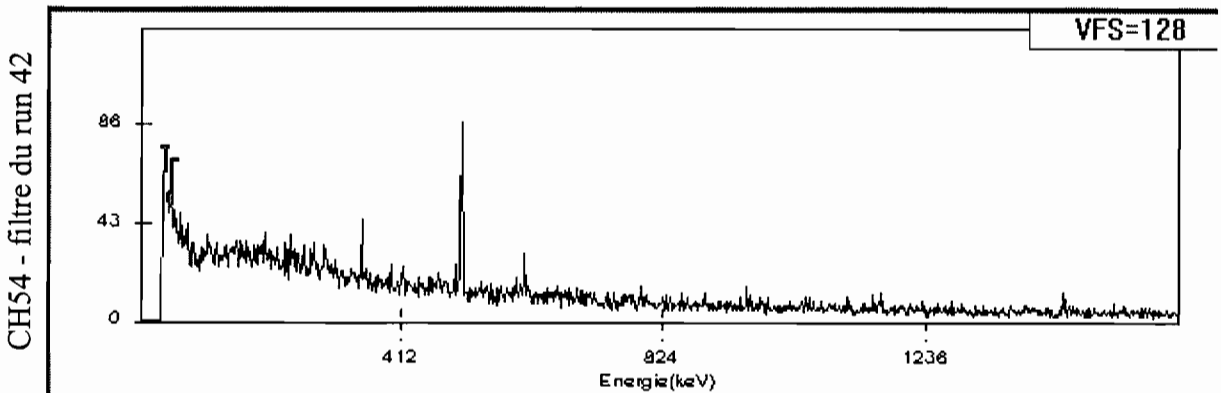
Run corres- pondant	Profondeur s haute et basse	Masse en g	Temps de comptage en s	Elément radioactif	Activité moy en microCi	Incertitude en microCi	Taux de confiance
41 à 45	2922 à 3267	2423	86022	Cs-137	9,44E-08	3,39E-08	0,993
				Pb-210	4,56E-07	2,88E-07	1
				Bi-214	6,98E-08	6,03E-08	0,486
				Pb-214	1,86E-07	4,80E-08	0,315
41	2922 à 2990	477	316822	Cs-137	6,45E-08	1,91E-08	0,988
				Bi-214	1,51E-07	4,42E-08	0,486
				Pb-214	1,03E-07	2,33E-08	0,463
42	2990 à 3070	428	85655	Cs-137	Non détecté		
				Bi-214	1,04E-07	6,82E-08	0,483
43	3070 à 3130	531	85511	Cs-137	Non détecté		
				Sn-113	1,28E-09	1,85E-08	0,942
				Pb-214	2,21E-07	4,20E-08	0,314
44	3130 à 3200	430	80868	Cs-137	Non détecté		
				Bi-214	2,76E-07	7,42E-08	0,48
45	3200 à 3267	556	116415	Cs-137	Non détecté		
				Mo-99	9,04E-09	7,84E-09	0,779
				Tc-99M	2,91E-08	2,53E-08	0,995
				Bi-214	3,29E-07	5,69E-08	0,486
				Pb-214	2,07E-07	3,17E-08	0,577
46 à 50	3267 à 3574	2797	212694	Cs-137	Non détecté		
				Pb-210	3,73E-07	1,51E-07	1
				Bi-214	1,92E-07	4,50E-08	0,646
51 à 55	3574 à 3978	2617	218137	Cs-137	Non détecté		
				Pb-210	1,91E-07	1,57E-07	1
				Bi-212	1,73E-07	2,19E-07	0,39
				Pb-212	6,43E-08	1,58E-08	0,754
				Bi-214	2,60E-07	4,03E-08	0,486
				Pb-214	2,15E-07	2,45E-08	0,729
56 à 60	3978 à 4262	2219	88057	Cs-137	Non détecté		
				Bi-214	3,29E-07	5,70E-08	0,486
				Pb-214	2,06E-07	3,18E-08	0,577
61							
62							
63							
64							
66							
67							

# Quelques spectres de désintégration gamma sur CH54

VFS= valeur maximum de l'échelle verticale (en nombre de coups)



661 keV: pic d'émission du  $^{137}\text{Cs}$



# **ANNEXE V**

## **Premiers résultats de CH40**

**ANNEXE V, Document 1:  
CARACTERISTIQUES GENERALES DE CH40**

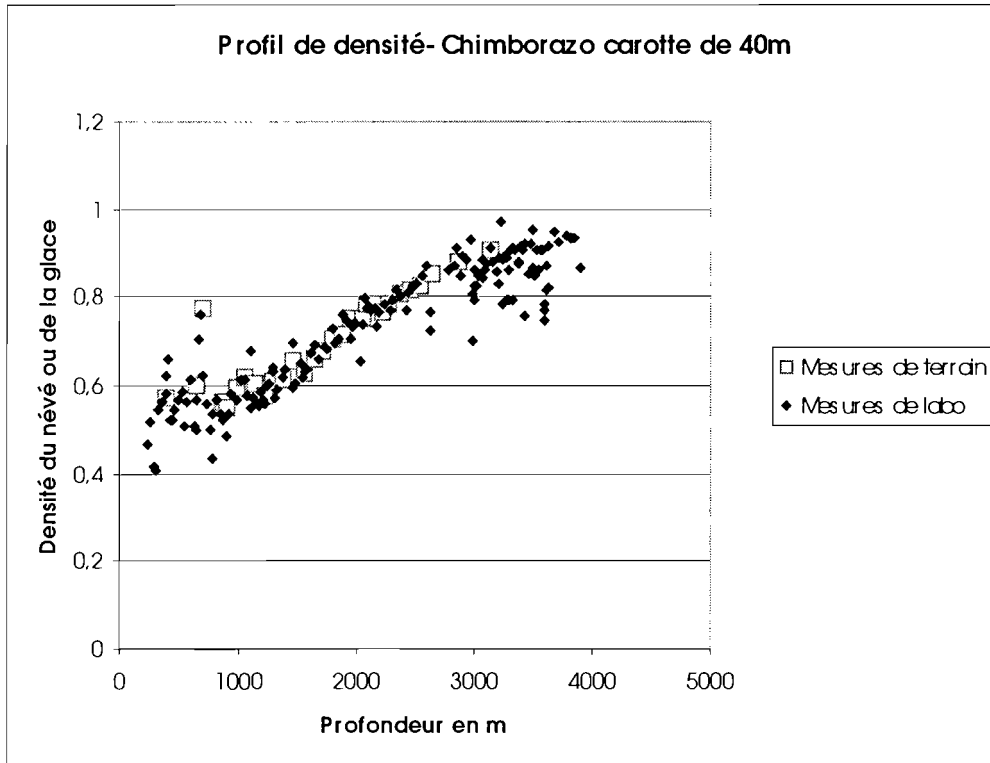
N° Tube	N° pieces in this tube	Length-cold room (cm)	Length-field (cm)	Real Depth-field (cm)	Length of each piece (cm)	Weight of each piece (g)	Sample for 210Pb (g)	Comment	Density (g/cm3)	Depth (cm)	Depth (w.e.)
200	11	62	80		10	465	125	ECM reduced. Ash layer on n°5	1,053	10	4
										+ 10 small pieces	80
201	6	72	72		6		155				0
					9						
					4						
					10						
					13						
					20						152
202	5	70	71		12		145				
					16						
					19						
					7						
					13					226	90,4
203	3	64	63		7	75	105		0,243	233	93,2
					22	455			0,468	255	103,5
					34	775			0,516	289	121
204	3	68	70		16	295	105		0,417	305	127,7
					26	470			0,409	331	138,4
					26	625			0,544	365	156,9
205	6	69	67		26	695	105		0,605	391	172,6
					12	330			0,622	403	180,1
					16	410			0,580	419	189,3
					11	320			0,658	434	199,2
206	3	69	66		23	530	110		0,522	457	211,2
					15	365			0,551	472	219,5
					31	745			0,544	503	236,3
207	4	69	69		4	100	95		0,566	507	238,6
					24	600			0,566	531	252,2
					30	780			0,589	561	269,8
					10	225			0,509	571	274,9
208	2	72	70		35	870	140		0,563	606	294,6
					37	1005			0,615	643	317,4
209	6	70	70		6	135	205		0,509	649	320,4
					5	110			0,498	654	322,9
					12	300			0,566	666	329,7
					14	435			0,703	680	339,6
					30	1005			0,758	710	362,3
					2	40			0,453	715	364,6
210	3	72	69		31	850	150		0,621	746	383,8
					21	520			0,560	767	395,6
					20	440			0,498	787	405,5

211	3	70	69		7	135	140		0,437	794	408,6
					30	710			0,536	824	424,7
					33	825			0,566	857	443,3
212	3	68	69	921	19,5	460	105		0,534	876,5	453,8
					38	880			0,524	914,5	473,7
					10,5	225			0,485	921	476,8
213	2	65	63		20	475	170		0,538	941	487,6
					45	1155			0,581	986	513,7
214	2	69	69	1052	34	855	200		0,569	1020	533,1
					35	950			0,614	1052	552,7
215	4	69	68		23	625	135		0,615	1075	566,9
					23,5	600			0,578	1099	580,5
					15	450			0,679	1114	590,6
					7	170			0,550	1121	594,5
216	3	71	71		14	355	145		0,574	1135	602,5
					37	915			0,560	1172	623,2
					19	465			0,554	1191	633,8
217	4	69	69	1259	15	390	110		0,589	1206	642,6
					18	450			0,566	1224	652,8
					21	520			0,560	1245	664,6
					16	425			0,601	1259	673,3
218	4	70	68		33	880	95		0,604	1292	693,2
					3	85			0,641	1295	695,1
					17	475			0,632	1312	705,9
					16	405			0,573	1328	715
219	2	70	69		52	1360	130		0,592	1380	745,8
					18	490			0,616	1398	756,9
220	2	69	68		61	1715	130		0,636	1459	795,7
					8	210			0,594	1467	800,5
221	3	70	71	1536	7	215	125		0,695	1474	805,3
					46	1230			0,605	1520	833,2
					16	460			0,651	1536	843,6
222	3	70	69		30,5	835	160		0,620	1567	862,5
					12,5	350			0,634	1579	870,4
					27	760			0,637	1606	887,6
223	2	71	70		33,5	995	160		0,672	1640	910,1
					37,5	1145			0,691	1677	936,1
224	2	70	69,5		47	1365	190		0,657	1724	967
					23	700			0,689	1747	982,8
225	2	70	70		59	1780	220		0,683	1806	1023
					11	355			0,731	1817	1031
226	2	72	71,5		37	1135	175		0,694	1854	1057
					35	1090			0,705	1889	1081
227	3	74	73		35	1175	170		0,760	1924	1108
					26	855			0,744	1950	1127
					12,5	390			0,706	1963	1136
228	2	70	69	2030	26,5	860	235		0,735	1989	1156
					43,5	1430			0,744	2030	1186
229	4	70	68,5		19	550	195		0,655	2049	1199
					10	325			0,736	2059	1206
					30,5	1075			0,798	2090	1230
					9,5	325			0,774	2099	1238

230	3	66	66		25	860	150		0,779	2124	1257
					21,5	730			0,769	2146	1274
					19	650			0,774	2165	1288
231	2	68	67,5		23	745	200		0,733	2188	1305
					45	1525			0,767	2233	1340
232	2	70	69,5		50	1725	230		0,781	2283	1379
					20	680			0,770	2303	1394
233	2	69	68		34	1190	195		0,792	2337	1421
					35	1260			0,815	2372	1450
234	2	70	69	2441	56	1980	205		0,800	2428	1495
					14	475			0,768	2441	1505
235	3	70	70		22	790	260		0,813	2463	1523
					31	1130			0,825	2494	1548
					17	620			0,826	2511	1562
236	2	70	70		42	1535	185		0,827	2553	1597
					28	1050			0,849	2581	1621
237	3	64,5	64		37	1420	200		0,869	2618	1653
					12	405			0,764	2630	1662
					15	480			0,724	2645	1673
238	6 app. 65		54		19	565	140	Irregular pieces.	0,673	2664	1686
					22	475			ECM reduced	0,489	2686
					21,5	495		0,521		2708	1708
					+ 3 small pieces						
239	6	70	72,5		18	490	265		0,616	2726	1719
					20	615			0,696	2746	1733
					32	1250			0,884	2778	1761
+ 1 small piece											
240	2	71	70	2841	41	1560	250		0,861	2819	1796
					30	1155			0,871	2841	1816
241	3	70	68,5		22	885	240		0,911	2863	1836
					21	785			0,846	2884	1854
					27	1065			0,893	2911	1878
242	4	70	67	2990	45,5	1780	200		0,886	2957	1918
					5	205			0,928	2962	1923
					5	155			0,702	2967	1926
					12,5	445			0,806	2990	1945
243	6	70	111		5	190	230		0,860	2995	1950
					8	280			0,792	3003	1956
					10	365			0,826	3013	1964
					14	510			0,825	3027	1976
					19	710			0,846	3046	1992
					12	450			0,849	3058	2002
244	4	70	68		9	335	225		0,843	3067	2010
					15	585			0,883	3082	2023
					5	190			0,860	3087	2027
					40	1545			0,874	3127	2062
245	missing								3127	2062	
246	4	70	68		18	725	235		0,912	3145	2079
					4	105			0,594	3149	2081
					28	1085			0,877	3177	2105
					19	720			0,858	3196	2122
247	7	71	66		6	220	180		0,830	3202	2127

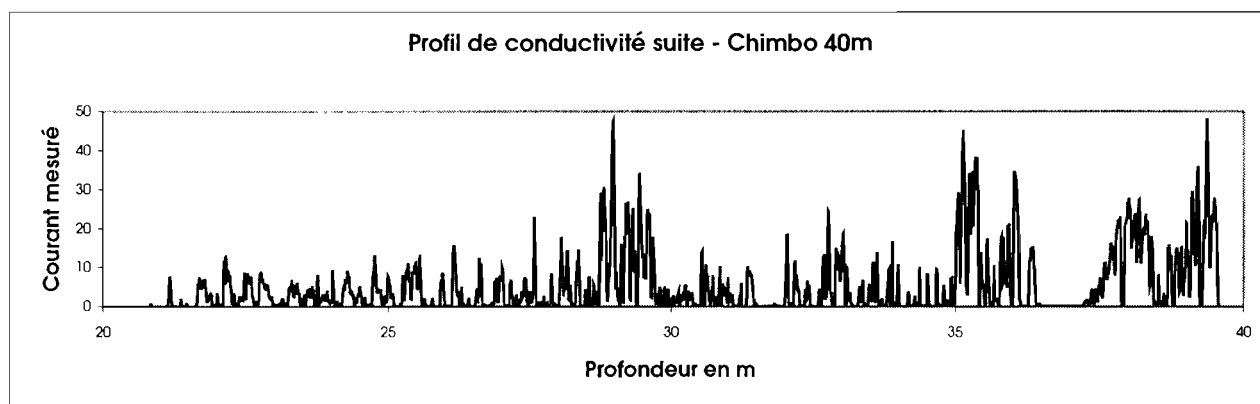
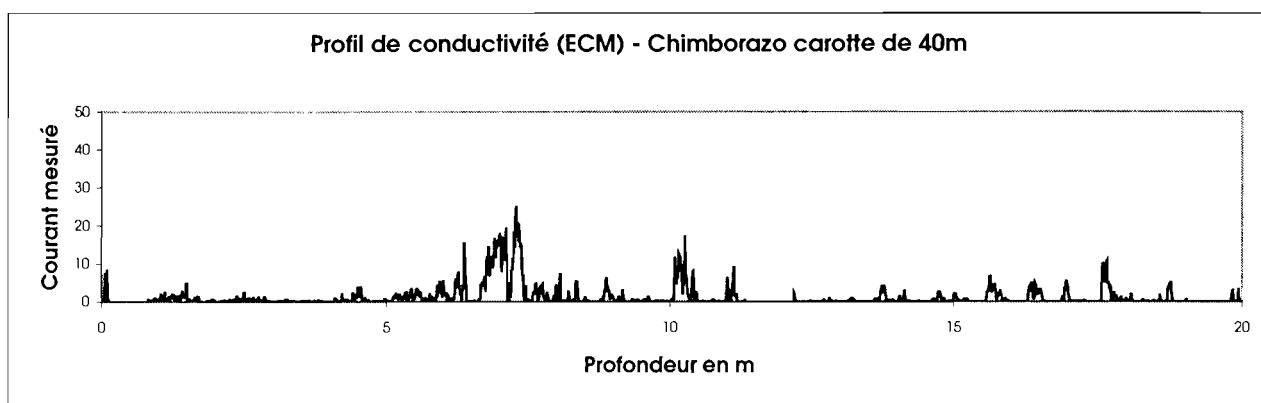
					6	235			0,887	3208	2132
					16	685			0,969	3224	2148
					10	345			0,781	3234	2155
					15	585			0,883	3249	2169
					10	395			0,894	3259	2178
					5	175			0,792	3264	2182
248	6	70	69		6	235	225		0,887	3270	2187
					15	570			0,860	3285	2200
					7	245			0,792	3292	2205
					12	480			0,905	3304	2216
					8	280			0,792	3312	2223
				3342	21	845			0,911	3342	2250
249	4+chips	63	62		20	800	225		0,905	3362	2268
					9	350			0,880	3371	2276
					15	580			0,875	3386	2289
					18	730			0,918	3404	2306
250	4	70	65,5		11	446	220		0,918	3415	2316
					9	300			0,755	3424	2322
					32	1300			0,920	3456	2352
					17	640			0,852	3473	2366
251	6	71	68,5		7	285	270		0,922	3480	2373
					14	535			0,865	3494	2385
					15	630			0,951	3509	2399
					10	375			0,849	3519	2408
					3	120			0,905	3522	2410
					21	840			0,905	3543	2429
252	9	72	68		10	380	270		0,860	3553	2438
					16	640			0,905	3569	2452
					4	75		1/2 no ECM	0,424	3573	2454
					8	320			0,905	3581	2461
					5	170			0,770	3586	2465
					5	165			0,747	3591	2469
					5,5	190			0,782	3597	2473
					5	180			0,815	3602	2477
					13	500		Ash layer.	0,871	3615	2489
253	2	21	23		13	525	105		0,914	3628	2501
				3650	8	290			0,821	3650	2519
254	chips		70				165	No ECM	0,825	3720	2577
255	2	70	70		30	1100	320		0,830	3750	2602
					40	1675			0,948	3790	2640
256	3	70	66,5		23	955	230		0,940	3813	2661
					22	910			0,936	3835	2682
					25	1030			0,933	3860	2705
257	2	63	61		45	1860	190		0,936	3905	2747
					18	690			0,868	3923	2763
258	1+chips	34	50		34	1390	140		0,925	3957	2794
								Ash layer.		3973	2809
259	chips		30				170	No ECM		4003	2837
260	12	47	70	4059			125	No ECM		4059	2889

## ANNEXE V, Document 2: PROFIL DE DENSITE DE CH40





# ANNEXE V, Document 3: PROFIL DE CONDUCTIVITE DE CH40



## ANNEXE V, Document 4: COMPAGES DE RADIOACTIVITE GAMMA CH40

### Compte-rendu des rapports d'émissions

Run correspondant	Profondeurs haute et basse	Masse en g	Temps de comptage en s	Éléments radioactifs	Activité moyenne en microCi	Incertitude en microCi	Taux de confiance
27 à 30	1961 à 2223	2183	85446	Cs-137 Pb-210 Bi-214	Non détecté 5,16E-07 1,83E-07	2,65E-07 7,82E-08	1 0,489
31 à 35	2223 à 2644	477	84530	Cs-137 Pb-210 Bi-214	Non détecté 1,26E-06 4,82E-08	3,11E-07 5,33E-08	0,997 0,485
36 à 40	2644 à 3025	428	87120	Cs-137 Bi-214	Non détecté 2,46E-07	7,17E-08	0,49
41 à 44	3025 à 3237	2129	28983	Cs-137	Non détecté A remesurer (temps de comptage trop faible)		
49 50 51 52+53 53 54 55 56 57 59 60 61 62 63 64 64bis 69							