

# LES VARIATIONS MINÉRALOGIQUES DANS LES RETOMBÉES DE 1982 DU VOLCAN EL CHICHON (CHIAPAS, MEXIQUE) ET LEUR INTERET POUR LA TEPHROSTRATIGRAPHIE<sup>1</sup>

par

Etienne JUVIGNE<sup>2</sup>

(5 figures, 4 tableaux et 1 planche)

**RESUME.**- Des analyses quantitatives de minéraux de 74 échantillons prélevés dans les retombées des éruptions du volcan mexicain El Chichón (mars-avril 1982) ont été réalisées. La comparaison des associations de minéraux denses d'échantillons prélevés peu après les éruptions par R. Coutiño *et al.* dans chacune des trois retombées successives montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre elles. Par contre, en comparant ces associations avec celles d'échantillons prélevés aux mêmes endroits un an plus tard, il apparaît que les pourcentages d'anhydrite ont diminué de 10 0/o à moins de 1 0/o sous l'effet de l'altération (tab. 1). La part globale de la fraction dense au sein des échantillons varie fortement à l'intérieur du lobe ; elle passe d'environ 50 0/o à proximité du volcan à quelques pourcent dans les régions marginales de la zone de retombée (fig. 3). Une analyse statistique d'associations minéralogiques montre qu'il y a eu un triage des minéraux au cours du transport dans l'atmosphère (figs 4 et 5) ; cette sélection est basée sur la densité et la forme des grains. Un modèle mathématique de la relation entre les variations quantitatives internes des associations minéralogiques et la distance par rapport au volcan est proposé. Il devrait aider à résoudre des problèmes de corrélations basés sur la tephrostratigraphie en Europe occidentale.

**ABSTRACT.**- Quantitative analyses of minerals from 74 tephra samples of the March-April eruptions of El Chichón (Mexico) were made. Samples collected by R. Coutiño *et al.* from each individual ash layer shortly after the ash-falls show no difference in heavy mineral suites from all eruptions. When these samples are compared with those collected one year after the eruptions, the anhydrite (10 0/o of the heavy mineral suite at the moment of the eruptions) is found to have been virtually completely eliminated after one year of weathering (table 1). The abundance of heavy minerals varies greatly throughout the lobe (figure 3), decreasing from about 50 0/o in the vicinity of the volcano to a few percent at the margin of the lobe. Statistical analyses of mineral suites shows a sorting of the minerals in terms of both specific gravity and grain shape throughout the lobe (figures 4 and 5). General relationships between mineral composition and distance from the source vent derived from this study may be used to estimate mineralogical variations and to facilitate stratigraphical correlations in other volcanic ash-falls (figure 5). Their utility is demonstrated by a discussion of some controversies over European tephrostratigraphical correlations.

## 1.- INTRODUCTION

Le volcan El Chichón est situé au Mexique dans l'Etat de Chiapas à 75 km au nord de Tuxtla Gutierrez (fig. 1).

Une importante recrudescence de l'activité sismique s'y est manifestée en mars 1982 et trois éruptions violentes ont eu lieu respectivement les 28 mars, 3 avril et 4 avril. Au cours de chacune d'elles, une quantité importante de poussière a été projetée jusque dans la stratosphère et a été poussée vers l'Est par les vents d'altitude.

R. Coutiño *et al.*, (en préparation) ont établi les cartes d'isopaques de chaque retombée et décrit un grand nombre de séquences types réparties dans l'ensemble de la zone de dispersion. Ils ont évalué à 0,43 km<sup>3</sup> le total du volume de matière émise.

1 *Manuscrit présenté le 7 juin 1983, reçu le 4 juillet 1983.*

2 *Chercheur Qualifié au Fonds National de la Recherche Scientifique. Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, Université de Liège, 7, place du Vingt-Août, B 4000 Liège, Belgique.*

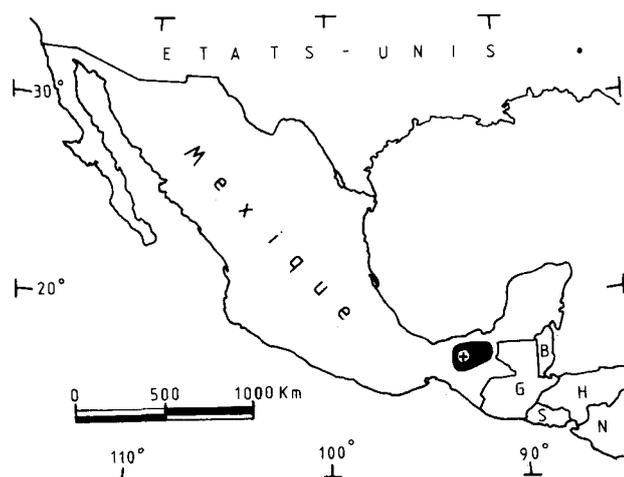


Figure 1

Localisation du volcan El Chichón (+) et de la région couverte par plus de 1 mm de poussière volcanique (en noir) ; celle-ci correspond à la région représentée en détails sur les figures 2, 3 et 4.

Location of El Chichón (+) and the area covered by more than 1 mm of rain-compacted ash (in black) ; this corresponds to the area shown in detail on figs 2, 3 and 4.

## 2.- OBJET DE LA RECHERCHE

Les retombées anciennes de poussière volcanique sont actuellement largement utilisées dans le monde et plus particulièrement en Europe occidentale et moyenne comme repères stratigraphiques. La technique des minéraux denses est largement utilisée pour identifier les retombées. Elle pose cependant des problèmes dans la mesure où l'on connaît mal les caractéristiques des variations spatiales des associations minéralogiques. Ceci entraîne nécessairement des divergences de vues importantes au niveau des tentatives de corrélation.

Analysant les retombées du volcan Quizapu (Chili), W. Larsson (1935) a démontré qu'une différenciation des éléments intervenait au cours du transport éolien.

En étudiant la retombée du 18 mai 1980 du volcan Saint Helens (Washington, U.S.A.), E. Juvigné & S. Shipley (1983) ont démontré l'existence de variations spatiales régulières du contenu en minéraux denses

et du rapport entre l'hypersthène et la hornblende expliquables par des différences de densité et de forme des grains ainsi que par des variations stratigraphiques au sein des ejecta.

La question se pose maintenant de savoir comment s'opèrent les phénomènes de sélection lorsque d'autres minéraux sont concernés. Les retombées du volcan El Chichón sont particulièrement intéressantes à ce point de vue puisque J.J. Cochemé *et al.* (1982) et J. Luhr *et al.* (1982) y ont signalé entre autre la présence de hornblende, d'un clinopyroxène, de biotite, d'apatite, de sphène et d'anhydrite.

## 3.- LES PRELEVEMENTS

Ceux-ci ont été effectués un an après les retombées (avril 83) en suivant toutes les voies carrossables dans la région où l'épaisseur originale de dépôt compacté fut supérieure à 1 mm (fig. 2).

Dans tous les cas, il s'agit d'échantillons globaux car, exception faite de la région proche du volcan, il n'était plus possible de distinguer les 3 retombées les unes des autres.

De plus, nous avons reçu du Dr. R. Coutiño des échantillons recueillis dans 6 stations (fig. 2) immédiatement après chaque retombée.

## 4.- TRAITEMENT DES ECHANTILLONS

Tous les échantillons ont été traités de la manière suivante :

1. Tamisage sous eau à l'aide des tamis de 420  $\mu\text{m}$  et 63  $\mu\text{m}$  superposés.
2. Séchage à l'étuve à 105°C de la fraction 63-420  $\mu\text{m}$ .
3. Prélèvement de 500 mg de chaque échantillon.
4. - séparation par centrifugation dans le bromoforme ( $\delta = 2,89$ ).  
- congélation du culot dans l'azote liquide.  
- agitation de la fraction flottante dans la solution restée fluide.
5. Répétition du cycle 4. deux fois.
6. Récolte sur filtre de la fraction dense et pesée.
7. Montage sur lame après quartage éventuel en cas de récolte trop abondante.
8. Détermination au microscope polarisant par la méthode du ruban (T. Van Harten, 1965) de 200 grains

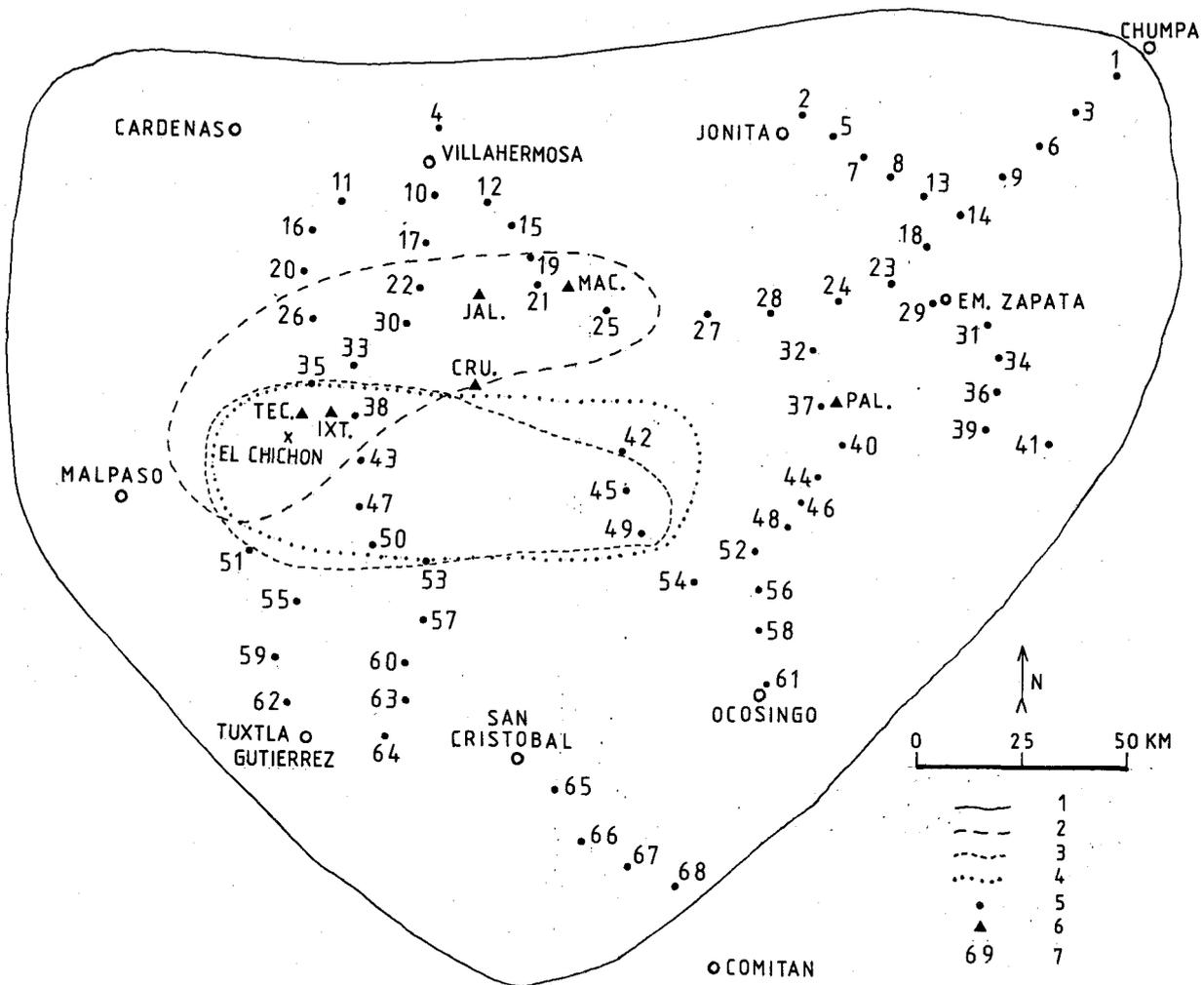


Figure 2

Localisation des points de prélèvements de retombées volcaniques du volcan El Chichón.

Légende :

1. Isopaque de 1 mm de poussière volcanique compactée pour les 3 retombées cumulées : 28 mars, 3 et 4 avril 1982 (d'après le National Geographic, 162, n° 5, novembre 1982.).
- 2, 3, 4. Isopaques de 1 cm de poussière volcanique compactée, d'après R. Coutiño et al. (en préparation).
  2. retombée du 28.03.82
  3. retombée du 03.04.82
  4. retombée du 04.04.82.
5. Localisation des prélèvements effectués en avril 1983.
6. Localisation des échantillons prélevés par R. Coutiño et al., immédiatement après les retombées.  
 TEC : Tectuapan ; IXT : Ixtacomitan ;  
 CRU : Tacotalpa Cruz ; JAL : Jalapa ;  
 MAC : Macuspana ; PAL : Palenque.
7. Numérotation des échantillons.

Figure 2

Sampling localities in the lobe of the El Chichón ash-falls.

Legend

1. Isopach of 1 mm of rain-compacted ash of March 28, April 3 and 4 after "National Geographic Magazine, 162, no 5, 1982".
- 2, 3, 4. Isopach of 1 cm of rain-compacted ash after R. Coutiño et al. (in preparation) :
  2. ash-fall of March 28.
  3. ash-fall of April 3.
  4. ash-fall of April 4.
5. Sampling sites April 1983.
6. Sites of samples collected by R. Coutiño et al. shortly after the eruptions (see details in R. Coutiño et al. in preparation).
7. Numbers of samples.

dont la plus grande largeur est comprise entre 84 et 420  $\mu\text{m}$ .

Le choix de la largeur minimum de 84  $\mu\text{m}$  après tamisage à 63  $\mu\text{m}$  tient compte de la possibilité qu'ont eue une partie des grains de la fraction intermédiaire de traverser en diagonale les mailles du tamis de 63  $\mu\text{m}$ .

Remarque : aucun traitement chimique n'a été appliqué aux échantillons.

## 5.- DESCRIPTION DES MINERAUX

Les feldspaths ont été déterminés antérieurement par J.J. Cochemé *et al.* (1982) ; ils ont une composition moyenne An 40-45. De beaux phénocristaux zonés existent dans les retombées sableuses des régions proches du volcan mais avec la distance, les esquilles prennent une place de plus en plus large (Pl. 1 : A).

Les amphiboles se présentent toujours en prismes allongés suivant l'axe C. Dans les préparations, elles sont toujours couchées et les traces de clivage parallèles à l'axe sont bien visibles (Pl. 1 : C). Elles peuvent être divisées en 3 groupes sur base de leur couleur. Le type dominant (environ 85 %) passe du vert (suivant np ou nm) à un vert brun plus foncé (suivant ng) ; il s'agit sans doute ici de la hornblende calcique et ferromagnésienne de type pargasitique décrite par J.J. Cochemé *et al.* (1982). Le deuxième type (environ 10 %) se présente essentiellement dans la gamme des bruns plus clairs suivant np ou nm, très foncés à opaques suivant ng. Le troisième type (environ 5 %) passe du brun suivant np ou nm à un rouge vif suivant ng. Les deux derniers types sont sans doute à rattacher aux oxyhornblendes décrites par J.M. Hoffer *et al.* (1982) dans les débris lithiques de l'ancien dôme andésitique pulvérisé lors de la première explosion.

Les clinopyroxènes (Pl. 1 : B) se présentent le plus souvent en prismes allongés suivant l'axe C, la couleur dominante est le vert prairie. Pour des positions particulières de quelques grains, le pléochroïsme peut passer du vert au brun ; il s'agit probablement des salites décrites par J.J. Cochemé *et al.* (1982). Les esquilles sont fréquentes.

L'anhydrite enlevée au substratum local par le magma est le quatrième minéral des éjecta dans l'ordre de fréquence. Tous les grains sont incolores. Ils se présentent en prismes trappus souvent très aplatis suivant l'axe C, si bien que les sections les plus fréquemment observées sont celles perpendiculaires à l'axe. Les traces de clivages orthogonaux sont parfaites

visibles, quelle que soit la face apparente (Pl. 1 : D).

L'apatite (Pl. 1 : E) est toujours incolore et se présente le plus souvent en prismes allongés dont l'axe C est couché dans les préparations. Dans le cas de prismes trappus, des sections perpendiculaires à l'axe peuvent être observées.

La biotite (Pl. 1 : F) est toujours brun foncé. Elle présente toujours sa face 001. Les faces latérales sont souvent mal apparentes mais des sections pseudo-hexagonales sont parfois visibles.

Le sphène (Pl. 1 : G) est rare. Sa forme est souvent massive, les faces et traces de clivage bien apparentes. Sa couleur jaune laiton et surtout sa biréfringence très élevée empêchent de le confondre avec n'importe quel autre minéral de l'association.

La magnétite doit être observée à la loupe si l'on veut en distinguer les faces. La photo H de la planche 1 montre des sections dans des octaèdres.

## 6.- MODIFICATION DE L'ASSOCIATION DE MINERAUX DENSES TRANSPARENTS EN FONCTION DU TEMPS

L'association a été établie pour chacune des 3 retombées dans les 6 stations pour lesquelles nous avons reçu des échantillons du Dr. R. Coutiño (voir paragraphe 3 et fig. 2).

Dans aucune des 6 stations, nous n'avons constaté d'évolution significative des associations de la première à la troisième retombée, si bien que dans le tableau 1, nous ne présentons que des valeurs moyennes pour l'ensemble des 3 retombées, d'abord par station et ensuite pour l'ensemble des 6 stations (tab. 1, moyennes 1). En outre, une association moyenne a été calculée pour des échantillons prélevés un an après les éruptions aux 6 points respectivement les plus proches des stations précédentes, soit 21, 22, 30, 35, 37 et 38 sur la figure 2 (tab. 1, moyenne 2).

La comparaison des moyennes 1 avec les moyennes 2 montre que les grains d'anhydrite ont pratiquement disparu en l'espace d'un an. Seule l'altération de ce minéral peut expliquer le changement observé.

Pour juger de la stabilité des autres minéraux, nous avons recalculé les moyennes 1 et 2 en excluant l'anhydrite de l'association. Nous avons ainsi obtenu les moyennes 3 pour les 6 stations TEC, IXT, CRU, JAL, MAC et PAL (fig. 2) et les moyennes 4 pour les

Tableau 1

Associations de minéraux denses transparents pour 6 stations où des prélèvements ont été effectués immédiatement après les retombées des 28.3, 3.4 et 4.4.1982. Les pourcentages sont basés sur 4 échantillons pour les stations TEC, IXT et CRU, 2 échantillons pour JAL et MAC et 1 échantillon pour PAL ; la position de ces 17 échantillons peut être vérifiée sur les figures rapportées par R. Coutiño et al. (1983). Les moyennes 1 et 3 sont calculées sur base des valeurs cumulées des 17 échantillons et non des pourcentages moyens par station. Les moyennes 2 et 4 sont calculées sur base des associations obtenues pour les 6 points de prélèvements respectivement les plus proches des 6 stations précédentes, soit 21, 22, 30, 35, 37 et 38 (figure 2).

Table 1

Transparent heavy mineral suites at 6 localities where samples were collected from each individual ash layer by R. Coutiño et al. (in preparation) ; see fig. 2 for sample sites. Moy. 1 & 3 : mean percentages for all samples from the 6 preceding localities (Moy. 1 includes anhydrite, Moy. 3 does not include anhydrite). Moy. 2 & 4 : mean percentages for samples collected one year after the eruptions close to the six preceding localities.

	T E C	I X T	C R U	J A L	M A C	P A L	Moy. 1 $\pm$ 3 $\sigma$ n = 3400	Moy. 2 $\pm$ 3 $\sigma$ n = 1200	Moy. 3 $\pm$ 3 $\sigma$ n = 3016	Moy. 4 $\pm$ 3 $\sigma$ n = 1195
Clinopyroxène	22,9	31,4	16,3	16,0	16,8	6,0	20,7 $\pm$ 2,07	18,7 $\pm$ 3,39	23,0 $\pm$ 2,31	18,7 $\pm$ 3,39
Amphibole	67,9	60,0	64,0	66,0	65,5	72,5	64,9 $\pm$ 2,46	76,6 $\pm$ 3,66	72,0 $\pm$ 2,46	76,6 $\pm$ 3,66
Anhydrite	4,8	5,3	15,1	12,0	14,0	16,5	9,9 $\pm$ 1,53	0,4 $\pm$ 0,54	exclue	exclue
Apatite	4,0	2,6	3,6	5,8	2,0	4,0	3,5 $\pm$ 0,96	3,8 $\pm$ 1,65	4,2 $\pm$ 1,11	3,8 $\pm$ 1,65
Sphène	0,5	0,8	1,0	0,3	1,3	1,0	0,8 $\pm$ 0,45	0,6 $\pm$ 0,66	0,7 $\pm$ 0,45	0,6 $\pm$ 0,66

6 points de prélèvements 21, 22, 30, 35, 37 et 38. Nous constatons que les valeurs se recouvrent en tenant compte des erreurs standards. Le contenu en clinopyroxène, amphibole, apatite et sphène n'est donc pas affecté par une année d'exposition aux agents atmosphériques et biologiques.

En conclusion, les variations qui auraient pu survenir au sein du magma entre la première et la troisième éruption n'ont pas affecté l'association de minéraux denses transparents.

L'anhydrite entraînée par le magma à concurrence d'environ 11 % des minéraux denses transparents a disparu de l'association par altération au contact des agents atmosphériques.

## 7.- VARIATIONS SPATIALES DU CONTENU EN MINÉRAUX DENSES

Le contenu en minéraux denses (transparents + opaques) est exprimé en pourcent sur la carte de la figure 3a pour chacun des 74 points de prélèvement. Il a été obtenu en pesant la récolte dense (densité supérieure à 2,89) extraite de 500 mg d'échantillon dans

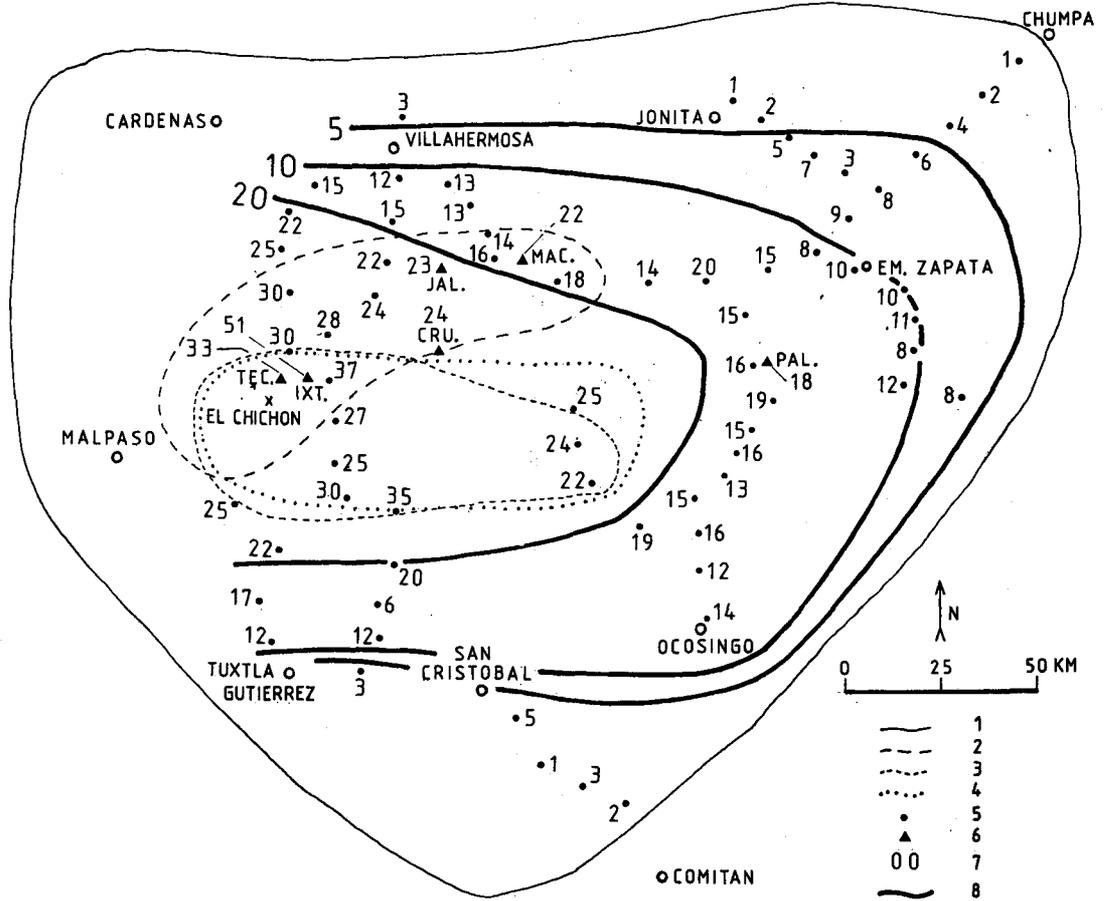
la classe 63  $\mu$ m à 420  $\mu$ m (revoir paragr. 4).

Une analyse de régression des valeurs obtenues à partir des 21 échantillons les plus proches de la direction El Chichón - Chumpa montre que la meilleure corrélation est obtenue pour la fonction exponentielle  $y = 47,49 e^{-0,01x}$  ( $r = 0,91$ ) où  $x$  est la distance au volcan et  $y$  la part minéraux denses.

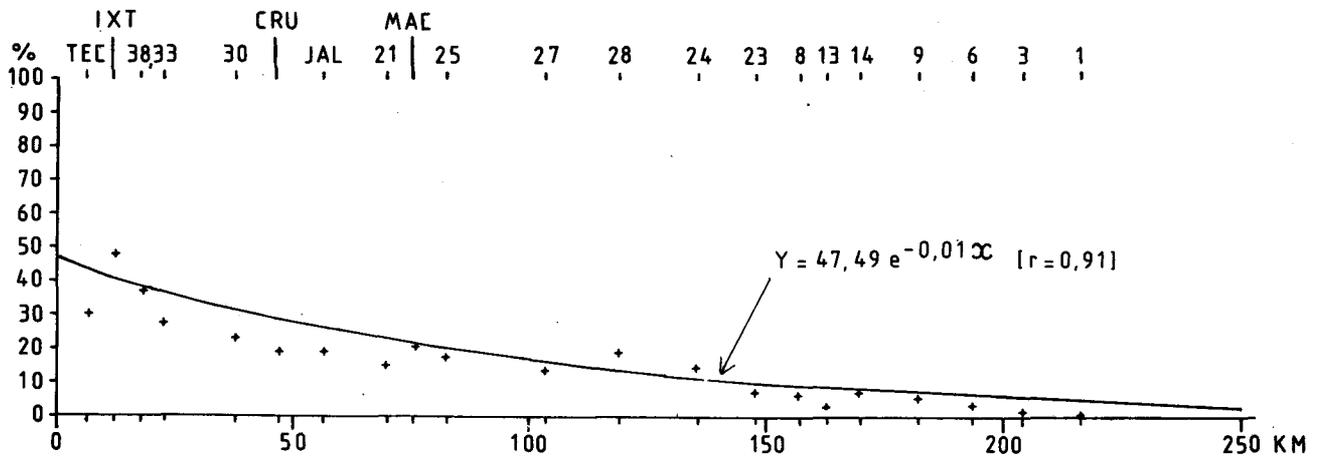
Il résulte de cette recherche que le contenu en minéraux denses diminue rapidement en fonction de la distance parcourue. Suivant la direction principale de transport, il passe de 47 % à 4 % en 250 km. Suivant des transects perpendiculaires, la diminution est plus brutale encore.

Par extrapolation de ce résultat, on peut concevoir la possibilité de mettre en corrélation des téphra à texture porphyrique avec d'autres à texture essentiellement vitreuse, pour autant que les premières soient près du point d'émission et que les secondes en soient très éloignées.

3A



3B



### 8.- VARIATIONS SPATIALES AU SEIN DE L'ASSOCIATION DE MINÉRAUX DENSES TRANSPARENTS

Cette association a été établie pour chacun des 74 points de prélèvement représentés sur la figure 2. Les résultats sont présentés dans le tableau 2 et sur les cartes de la figure 4. Ils sont exprimés en pourcent pour chacun des 4 minéraux présents : clinopyroxène, amphibole, apatite et sphène. Une analyse de régression a aussi été effectuée par minéral sur base des résultats obtenus aux 21 stations les plus proches de l'axe El Chichón - Chumpa.

Dans cette étude, il n'a pas été tenu compte de l'anhydrite dont nous avons démontré la grande instabilité au contact des agents atmosphériques en moins d'un an.

La biotite n'est pas non plus considérée ici parce que son domaine de densité est partiellement inférieur à celui du bromoforme et l'extraction de ce minéral est donc incomplète.

Les données de la figure 4 montrent que les pourcentages de clinopyroxène ont tendance à diminuer avec la distance par rapport au volcan tandis que ceux de l'amphibole augmentent. Aucune variation significative n'a été mise en évidence pour l'apatite et le sphène.

Les écarts entre les valeurs réelles et les courbes théoriques sont plus grands dans les zones proches du volcan que dans les zones éloignées. Ceci peut s'expliquer aisément par la différence de turbulence dans les régions respectives.

### 9.- RECHERCHE D'UNE ECHELLE DE SELECTION RELATIVE DES MINÉRAUX

Cette recherche n'a été effectuée que sur les échantillons pris en considération pour les analyses de régression le long de l'axe El Chichón - Chumpa. Elle a pour but d'essayer de généraliser les variations quantitatives qui se produisent au sein des associations minéralogiques au cours des transports de nuages de poussière volcanique dans l'atmosphère.

A cette fin, les 21 échantillons repris sur le transect considéré ont été traités de la façon suivante :

1. Séparation par tamisage sous eau de la fraction comprise entre 63 et 420  $\mu\text{m}$ .
2. Quartage jusqu'à isoler 300 à 500 grains.
3. Extraction de la magnétite à l'aimant et comptage à la loupe en rejetant dans l'échantillon les grains au sein desquels la magnétite n'apparaît qu'à l'état d'inclusions.

*Figure 3a.- Répartition du contenu en minéraux denses (densité >2,89)*

*Légende :*

- 1 à 6 : Voir légende de la figure 2.*
- 7. Contenu de chaque échantillon exprimé en pourcent du poids total.*
- 8. Ligne d'égal contenu en minéraux denses.*

*Amount of heavy minerals (opaque + transparent)*

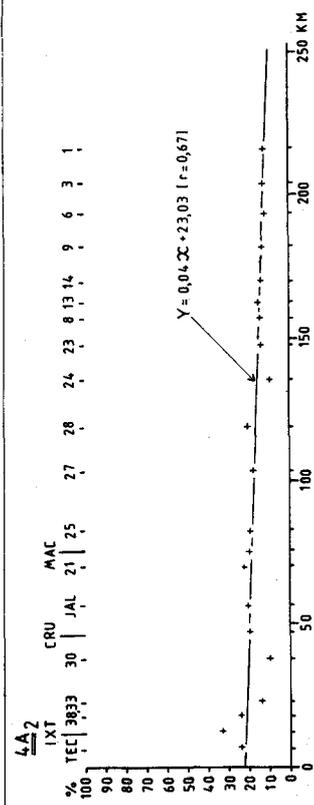
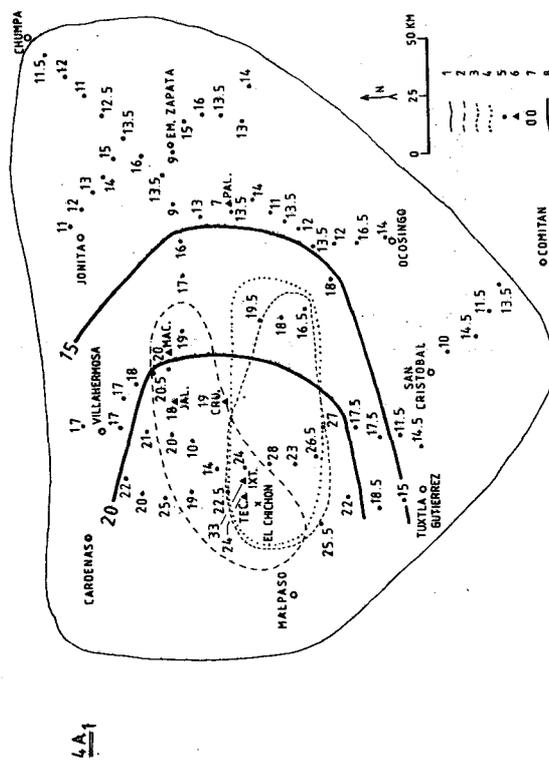
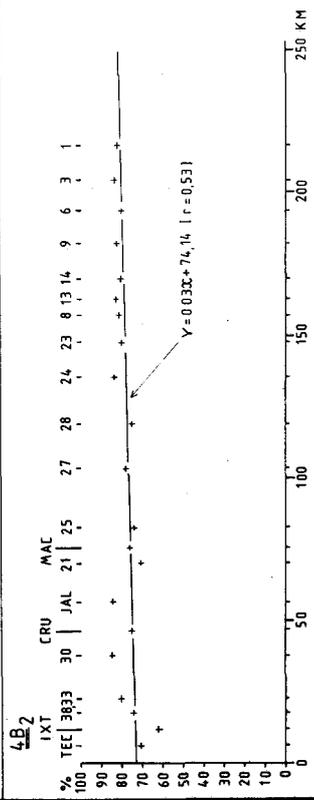
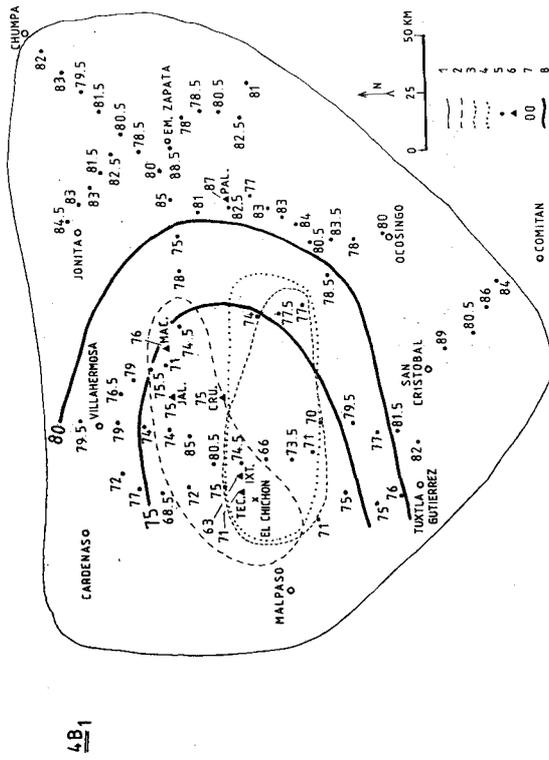
*Legend :*

- 1 to 6 : see legend of figure 2.*
- 7. Amount of heavy minerals in percent.*
- 8. Isolines of amount of heavy minerals.*

*Figure 3b*

*Analyse de régression des valeurs exprimant le contenu en minéraux denses pour 21 stations parmi les plus proches de la direction El Chichón - Chumpa (pour la localisation des stations, voir la figure 2). Les stations ont été projetées sur l'axe par rotation autour du volcan de façon à conserver les distances.*

*Regression line for 21 localities close to the main axis of the lobe (El Chichón-Chumpa).*

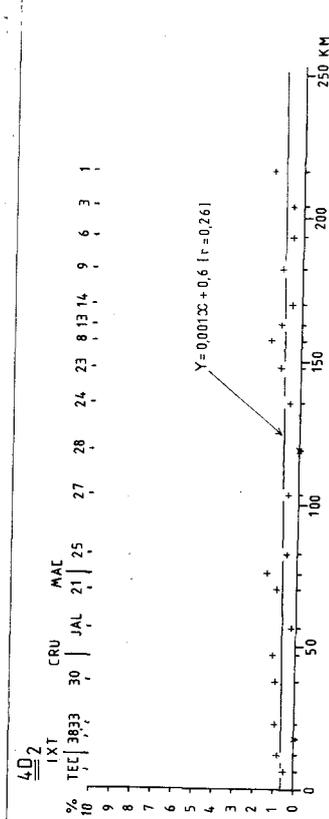
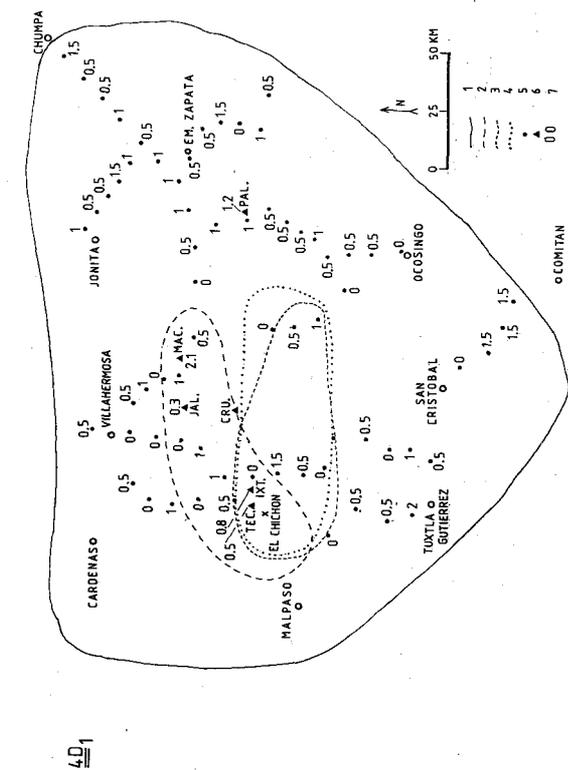


Figures 4 a and b: Distribution of percentages of transparent heavy minerals calculated within their own association.  
 4 a1 - a2 : clinopyroxène ; 4 b1 - b2 : hornblende.  
 4 a1, b1, : distribution of percentages of each mineral throughout the lobe.

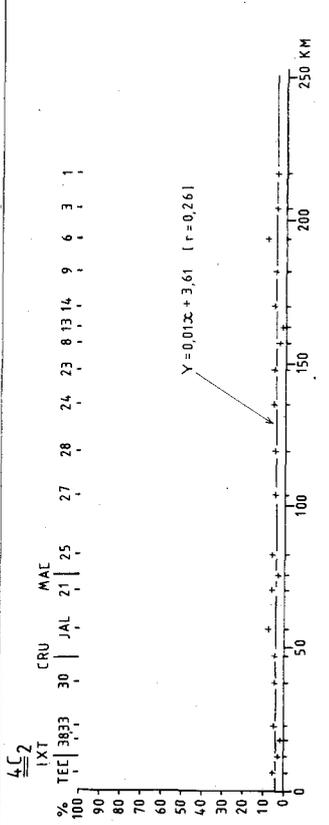
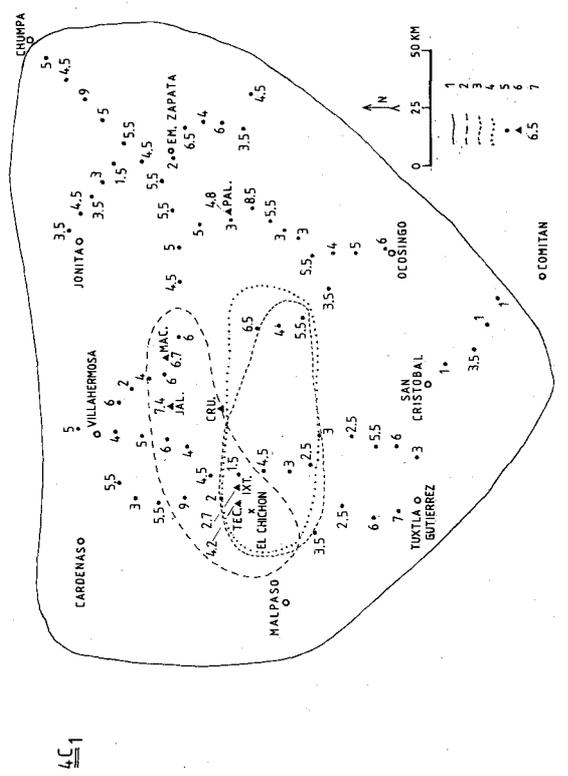
Figures 4 a et b : Répartition des pourcentages de minéraux denses transparents calculés au sein de leur association propre.  
 4 a1 - a2 : clinopyroxène ; 4 b1 - b2 : hornblende.  
 4a1, b1, : répartition des valeurs dans le lobe.

Légende : 1 to 6 : see legend of figure 2.  
 7. Percentages of each heavy mineral.  
 8. Isolines of percentages of heavy minerals.  
 4 a2, b2, : regression lines at 21 localities close to the main axis of the lobe.

Légende : 1 à 6 : voir légende de la figure 2.  
 7. Part de chaque minéral exprimée en pourcent de l'ensemble des minéraux denses transparents.  
 8. Lignes d'égal pourcentage.  
 4 a2, b2, : analyse de régression des valeurs exprimant la part de chaque minéral dense transparent pour 21 stations parmi les plus proches de la direction El Chichón - Chumpa.



**Figures 4 a and b:** Distribution of percentages of transparent heavy minerals calculated within their own association.  
 4 c1 - c2 : apatite ; 4 d1 - d2 : titanite.  
 4 c1, d1 : distribution of percentages of each mineral throughout the lobe.  
 Legend : 1 to 6 : see legend of figure 2.  
 7. Percentages of each heavy mineral.  
 4 c2, d2 : regression lines at 21 localities close to the main axis of the lobe.



**Figures 4 a et b :** Répartition des pourcentages de minéraux denses transparents calculés au sein de leur association propre.  
 4 c1 - c2 : apatite ; 4 d1 - d2 : sphène.  
 4 c1, d1 : répartition des valeurs dans le lobe.  
 Légende : 1 à 6 : voir légende de la figure 2.  
 7. Part de chaque minéral exprimée en pourcent de l'ensemble des minéraux denses transparents.  
 4 c2, d2 : analyse de régression des valeurs exprimant la part de chaque minéral dense transparent pour 21 stations parmi les plus proches de la direction El Chichón - Chumpa.

Tableau 2

Associations de minéraux denses transparents pour 74 stations réparties dans le lobe des retombées du volcan El Chichón

Table 2

Heavy mineral suites at 74 localities throughout the lobe the El Chichón ash-falls

Ech.	Clino-pyrox.	Horn-blende	Apatite	Sphère	Ech.	Clino-pyrox.	Horn-blende	Apatite	Sphère
1	11,5	82	5	1,5	38	24	74,5	1,5	0
2	11	84,5	3,5	1	39	13	82,5	3,5	1
3	12	83	4,5	0,5	40	14	77	8,5	0,5
4	17	79,5	3	0,5	41	14	81	4,5	0,5
5	12	83	4,5	0,5	42	19,5	74	6,5	0
6	11	79,5	9	0,5	43	28	66	4,5	1,5
7	13	83	3,5	0,5	44	11	83	5,5	0,5
8	14	81,5	3	1,5	45	18	77,5	4	0,5
9	12,5	81,5	5	1	46	13,5	83	3	0,5
10	17	79	4	0	47	23	73,5	3	0,5
11	22	72	5,5	0,5	48	12	84	3	1
12	17	76,5	6	0,5	49	16,5	77	5,5	1
13	15	82,5	1,5	1	50	26,5	71	2,5	0
14	13,5	80,5	5,5	0,5	51	25,5	71	3,5	0
15	18	79	2	1	52	13,5	80,5	5,5	0,5
16	20	77	3,0	0	53	27	70	3	0
17	21	74	5	0	54	18	78,5	3,5	0
18	16	78,5	4,5	1	55	22	75	2,5	0,5
19	20,5	75,5	4	0	56	12	83,5	4	0,5
20	25	68,5	5,5	1	57	17,5	79,5	2,5	0,5
21	22	71	6	1	58	16,5	78	5	0,5
22	20	74	6	0	59	18,5	75	6	0,5
23	13,5	80	5,5	1	60	17,5	77	5,5	0
24	9	84	6,5	0,5	61	14	80	6	0
25	19	74,5	6	0,5	62	15	76	7	2
26	19	72	9	0	63	11,5	81,5	6	1
27	17	78	4,5	0,5	64	14,5	82	3	0,5
28	20	75	5	0	65	10	89	1	0
29	9	88,5	2	0,5	66	14,5	80,5	3,5	1,5
30	10	85	4	1	67	11,5	86	1	1,5
31	15	78	6,5	0,5	68	13,5	84	1	1,5
32	13	81	5	1	TEC	24,0	71,3	4,2	0,5
33	14	80,5	4,5	1	IXT	33,2	63,4	2,7	0,8
34	16	78,5	4	1,5	CRU	19,3	75,4	4,2	1,2
35	22,5	75	2	0,5	JAL	18,2	75,0	6,6	0,3
36	13,5	80,5	6	0	PAL	19,5	76,2	2,3	1,5
37	13,5	82,5	3	1		7,2	86,8	4,8	1,2

Tableau 3

Association minéralogique générale de 21 échantillons situés à proximité de l'axe El Chichón - Chumpa.

Table 3

Mineral suites of 21 samples located close to the main axis of the lobe.

Ech.	Feld-spath	Clino-pyrox.	Horn-blende	Apatite	Sphère	Magné-tite	Biotite
TEC	55,4	7,9	23,7	1,4	0,2	11,3	0
IXT	36,9	11,6	22,1	0,9	0,3	28,0	0,2
38	66,0	6,9	21,4	0,4	0	5,3	0
33	76,6	3,0	17,5	1,0	0,2	1,3	0,4
30	75,7	2,2	18,4	0,9	0,2	2,3	0,3
CRU	67,3	5,9	23,0	1,3	0,4	2,2	0
JAL	74,8	4,1	17,1	1,5	0,1	2,4	0
21	73,2	5,7	18,2	1,5	0,3	0	1,1
MAC	67,1	5,9	23,2	0,7	0,5	1,9	0,6
25	78,4	3,8	14,8	1,2	0,1	1,7	0
27	76,1	3,9	17,9	1,0	0,1	0	0,9
28	69,9	5,5	20,6	1,4	0	1,3	1,3
24	80,3	1,6	14,9	1,2	0,1	0,7	1,3
23	73,2	3,3	19,5	1,3	0,2	0	2,4
8	75,3	2,9	17,0	0,6	0,3	0	3,8
13	74,0	3,3	18,1	0,3	0,2	0,7	3,4
14	78,1	2,7	15,9	1,1	0,1	0	2,2
9	78,4	2,4	15,8	1,0	0,2	0,7	1,5
6	76,1	2,6	18,4	2,1	0,1	0	0,7
3	77,6	2,2	15,2	0,8	0,1	0	4,1
1	82,2	1,6	11,6	0,7	0,2	0	3,7

extrêmes sont ceux de la magnétite qui est réduite à l'état de traces à partir d'environ 50 km du volcan tandis que la biotite n'apparaît en courbe continue qu'au-delà de cette même distance.

Les rapports entre les pourcentages de chaque minéral et ceux de la hornblende choisie comme minéral de référence ont été calculés à chaque station.

Des rapports identiques ont été calculés pour l'anhydrite sur base des associations obtenues sur les échantillons prélevés en six stations immédiatement après les retombées (tab. 1). De la même façon, des rapports hypersthène/hornblende ont été calculés en reprenant des données obtenues sur les retombées du Mont Saint Helens (E. Juvigné & S. Shipley, 1983).

L'analyse de régression de tous ces rapports en fonction de la distance au volcan montre que la meilleure corrélation est obtenue pour les fonctions exponentielles rapportées au tableau 4.

Sur base des fonctions du tableau 4, un rapport initial théorique a été calculé pour chaque rapport

4. Montage de la récolte obtenue au terme du quartage décrit en 2. et dans laquelle les grains à inclusions de magnétite ont été remplacés.

5. Détermination et comptage de tous les minéraux légers ou denses. L'anhydrite est négligée en raison de son instabilité. Les amphiboles, clinopyroxènes, apatites et sphères ont été comptés ensemble et leurs pourcentages partiels recalculés sur base des rapports plus précis du tableau 2.

Les associations ainsi déterminées sont détaillées dans le tableau 3.

Il en ressort un accroissement net des pourcentages de feldspaths et de biotite et une diminution du contenu en minéraux denses avec la distance au volcan. Les cas

Tableau 4

Evolution de rapports minéralogiques en fonction de la distance au volcan.

y = valeurs des rapports ; x = distance au volcan.

Table 4

Trend in proportion of each mineral as a function of distance from the volcano.

yn : percentage of each mineral to percentage of hornblende at the same locality ;

x : distance from the volcano.

RAPPORTS	Fonctions $y = a e^{bx}$	Coefficients de corrélations r
Feldspath/hornblende	$y_1 = 2,83 e^{0,00223x}$	0,68
Clinopyroxène/hornblende	$y_2 = 0,31 e^{-0,003x}$	0,66
Apatite/hornblende	$y_3 = 0,05 e^{0,001x}$	0,17
Sphène/hornblende	$y_4 = 0,01 e^{-0,0006x}$	0,14
Magnétite/hornblende	$y_5 = 0,31 e^{-0,09x}$	0,77
Biotite/hornblende	$y_6 = 0,02 e^{0,01x}$	0,81
Anhydrite/hornblende	$y_7 = 0,09 e^{0,007x}$	0,77
Hypersthène/hornblende	$y_8 = 6,38 e^{0,003x}$	0,87

(x = 0). Les courbes de la figure 5 ont été obtenues en calculant pour chaque rapport minéralogique la relation : valeur du rapport à des distances x du volcan/valeur du rapport pour x = 0.

De cette façon, chaque rapport initial vaut 1 et la figure 5 montre clairement l'ordre dans lequel s'opèrent les sélections minéralogiques au cours des transports de nuages de poussière volcanique dans l'atmosphère.

Nous voyons ainsi que l'ordre préférentiel de chute des minéraux est le suivant : magnétite, hypersthène, clinopyroxène, sphène, hornblende, apatite, feldspath, anhydrite et biotite. La densité apparaît comme un facteur de sélection déterminant et l'influence de la forme est particulièrement nette dans le cas de la biotite et de l'anhydrite qui se présentent l'une et l'autre en grains très aplatis.

Les fonctions  $y_3$  et  $y_4$  ont de mauvais coefficients de corrélation. Ceci provient de la faible part de l'apatite ( $y_3$ ) et du sphène ( $y_4$ ) dans l'association. Ces fonctions devront être précisées sur base de retombées plus riches en ces minéraux.

La fonction  $y_7$  (anhydrite) a été calculée sur base de données de seulement 6 stations (tab. 1). Malgré son bon coefficient de corrélation, cette fonction devra aussi être précisée. Toutefois, les conditions de la présence

de l'anhydrite dans un nuage volcanique sont tellement exceptionnelles qu'il est peu probable qu'une telle étude puisse être faite avant longtemps.

La fonction  $y_8$  (hypersthène) a été calculée sur base de données obtenues sur la retombée du Mont Saint Helens du 18.5.80 entre 150 et 425 km du volcan le long de l'axe principal de dispersion (E. Juvigné & S. Shipley, 1983). En raison de la forme bi-lobée de la zone de retombée (A.M. Sarna-Wojcicki *et al.*, 1981), la fonction pourrait n'être pas valable dans le lobe proche du volcan. Les résultats d'analyses pétrographiques publiés par M. Kuntz *et al.* (1981) pour les dépôts proches du cratère ne peuvent être pris en considération ici en raison de différences méthodologiques importantes.

#### 10.- QUELQUES APPLICATIONS A DES PROBLEMES STRATIGRAPHIQUES POSES EN EUROPE

E. Bibus (1973) mentionne des recherches minéralogiques de J. Frechen sur le Rambacher Tuff qui, à Wiesbaden-Rambach et à Wallertheim, contient trop peu de minéraux denses pour permettre d'en établir l'association tandis qu'à Bruchköbel le contenu n'a offert aucune difficulté. Nous pensons que malgré cette différence, la corrélation de E. Bibus garde toute sa valeur et qu'il y a lieu de considérer que Rambach et Wallertheim se situent en position marginale dans le lobe tandis que Bruchköbel est dans une position plus centrale.

Une association à hornblende, clinopyroxène et sphène a été mise en évidence dans divers dépôts récents d'Europe occidentale et moyenne (A.K. Hulshof *et al.*, 1968 ; P. Jungerius *et al.*, 1968 ; P. Jungerius & P. Riezebos, 1976 ; E. Juvigné, 1977, 1978, 1980, 1983). Des difficultés de corrélation sont nées d'une part de différences minéralogiques quantitatives d'un site à l'autre et d'autre part d'âges différents résultant d'interprétation de diagrammes polliniques connexes (e.g. H. Straka, 1975 et B. Bastin *et al.*, 1974).

Les résultats obtenus sur les retombées du volcan El Chichón élargissent les possibilités de corrélation entre sites et notamment avec ceux des "Laacher See Tuffe" dont le contenu en clinopyroxène paraissait excessif (J. Frechen, 1971 et 1976).

De la même façon, des différences quantitatives observées au sein de l'association à hornblende, augite et enstatite du "Tuf de Rocourt" (E. Juvigné, 1977)

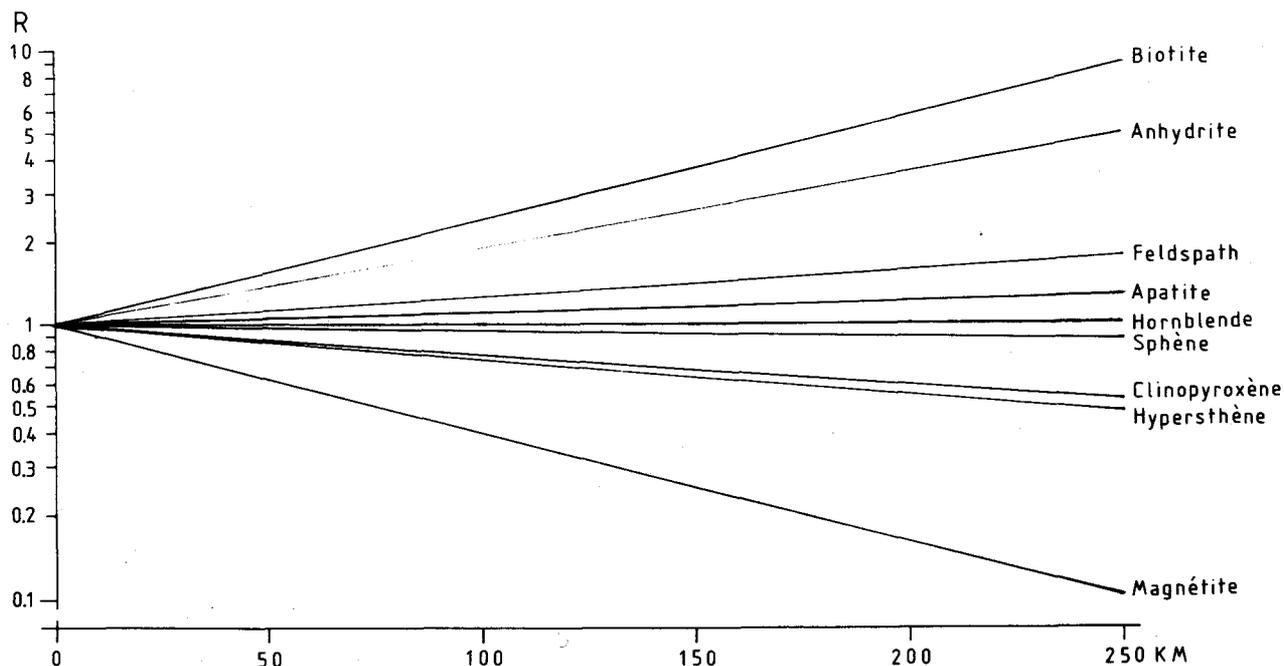


Figure 5.- Sélection de minéraux au cours du transport de nuages de poussière volcanique dans l'atmosphère.  
 abscisse : distance par rapport au volcan.  
 ordonnée :  $R = \text{pourcentage d'un minéral quelconque sur pourcentage de hornblende à une distance } x \text{ divisé par le même rapport pour } x = 0.$

Sorting of minerals in volcanic plumes using data from the Mount St. Helens ash-fall (E. Juvigné and S. Shipley, 1983) and the El Chichón ash-falls.

*x*-axis : distance from volcano.

*y*-axis : ratio calculated from functions in table 4

$$R = \frac{y_n \text{ at distance } 0 < x < 250}{y_n \text{ at distance } x = 0}$$

pourraient être un argument en faveur de l'existence de plusieurs retombées distinctes, d'autant plus que l'âge des couches qui contiennent ces minéraux varie suivant les auteurs entre 90.000 et 35.000 BP environ (P. Haesaerts *et al.*, 1981). La comparaison avec les présents résultats renforce l'hypothèse d'une seule retombée de composition variable dans l'espace.

## 11.- CONCLUSION

Les recherches effectuées sur des retombées volcaniques récentes (Mont Saint Helens, 1980 et El Chichón, 1982) montrent qu'il existe des variations quan-

titatives de leurs associations minéralogiques dans l'espace. Au cours du transport des particules dans l'atmosphère s'opère une sélection basée sur la taille des grains, leur densité et leur forme. Ce triage est tel que les retombées passent progressivement d'une texture porphyrique grossière près du volcan à une texture vitreuse très fine dans les régions très éloignées.

## REMERCIEMENTS

Je remercie très vivement le Dr. J. Guerrero, le Dr. L. Silva et le Dr. R. Coutiño (U.N.A.M.) pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans l'organisation de ma campa-

gne de prélèvement ou les renseignements divers qu'ils m'ont fournis sur les éruptions et les retombées. Le Dr. Coutiño m'a aussi remis des échantillons prélevés juste après les retombées; je lui en suis particulièrement reconnaissant.

## BIBLIOGRAPHIE

- BASTIN, B., JUVIGNE, E., PISSART, A. & THOREZ, J., 1974. Etude d'une coupe dégagée à travers un rempart d'une cicatrice de pingo de la Brackvenn. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 97 : 341-358.
- BIBUS, E., 1973. Ausbildung und Lagerungsverhältnisse quartärer Tuffvorkommen in der Wetterau. *Notizbl. hess. L-Amt Bodenforsch.*, 101 : 346-361.
- COUTIÑO, R.G., CORZO, M.M. y BORRAZ, C.C. Determinación del volumen del material arrojado y grado de explosividad alcanzado por el volcán El Chichón, Edo. de Chiapas, en preparación.
- COCHEME, J.J., DEMANT, A., DUFFIELD, W.A., GUERRERO, J., SILVA, L. & TILLING, R., 1982. L'éruption du volcán Chichónal (mars-avril 1982) dans l'état de Chiapas, Mexique. *Cr. R. Acad. Sc. Paris*, 295 (25 oct. 1982) sér. II : 737-744.
- FRECHEN, J., 1971. Siebengebirge am Rhein, Laacher Vulkangebiet, Maargebiet der Westeifel, Vulkanologisch-petrographische Exkursionen. *Sammlung Geologischer Führer*, 56 (2). Auflage. Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart, 195 S.
- FRECHEN, J., 1976. Siebengebirge am Rhein, Laacher Vulkangebiet, Maargebiet der Westeifel, Vulkanologisch-petrographische Exkursionen. *Sammlung Geologischer Führer*, 56 (3). Auflage. Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart, 209 S.
- HAESAERTS, P., JUVIGNE, E., KUYL, O., MUCHER, H. & ROEBROECKS, W., 1981. Compte rendu de l'excursion du 13 juin 1981, en Hesbaye et dans le Limbourg néerlandais, consacrée à la chronostratigraphie des loess du Pléistocène supérieur. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 104 : 223-240.
- HOFFER, J.M., GOMEZ, F. & MUELA, P., 1982. Eruption of El Chichón volcano, Chiapas, 28 March to 7 April 1982. *Science*, 218 : 1307-1308.
- HULSHOF, A.K., JUNGERIUS, P.D. & RIEZEBOS, P.A., 1968. A late glacial ash deposit in Southeastern Belgium. *Geologie en Mijnbouw*, 47 (2) : 106-111.
- JUNGERIUS, P.D. & RIEZEBOS, P.A., 1975. The distribution of Laacher See ash west of the Eifel region. *Geologie en Mijnbouw*, 55 : 159-162.
- JUNGERIUS, P.D., RIEZEBOS, P.A. & SLOTBOOM, 1968. The age of Eifel Maars as shown by the presence of Laacher See ash of Allerød age. *Geologie en Mijnbouw*, 47 (3) : 199-205.
- JUVIGNE, E., 1977a. La zone de dispersion des poussières émises par une des dernières éruptions du volcán du Laachersee (Eifel). *Zeitschr. für Geomorph.*, 21 (3) : 323-342.
- JUVIGNE, E., 1977b. Zone de dispersion et âge des poussières volcaniques du tuf de Rocourt. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 100 : 13-22.
- JUVIGNE, E., 1978. Découvertes de minéraux volcaniques dans des tourbières des Vosges (France). *Bull. Soc. Géogr. de Liège*, 14 : 205-210.
- JUVIGNE, E., 1980. Vulkanische Schwerminerale in rezenten Böden Mitteleuropas. *Geol. Rundschau*, 69 : 982-996.
- JUVIGNE, E., 1983. Two different volcanic ash-falls of Allerød age in High Belgium. *Geologie en Mijnbouw*, in press.
- JUVIGNE, E. & SHIPLEY, S., 1983. Distribution of the heavy minerals in the downwind tephra lobe of the May 18, 1980 eruption of the Mount Saint Helens (Washington, U.S.A.). *Eiszeitalter und Gegenwart*, 33.
- KUNTZ, M., ROWLEY, P., MACLEOD, N., REYNOLDS, R., MCBROOME, L., KAPLAN, A. & LIDKE, D., 1981. Petrography and particlesize distribution of pyroclastic-flow, ash-cloud, and surge deposits. *In* : P.W. Lipman and D. Mullineaux (Eds) : *The 1980 Eruptions of Mount Saint Helens, Washington*. U.S.G.S., Prof. paper 1250 : 525-539, Washington.
- LARSSON, W., 1935. Vulkanische Asche vom Ausbruch des chilesischen Vulkans Quizapu (1932) in Argentina. *Geol. Inst. Upsala Bull.*, 26 : 27-52.
- LUHR, J., VAREKAMP, J. & PRESTEGAARD, K. The 1932 eruption of El Chichón volcano, Chiapas, Mexico. *Geological Society of America, Symposium, Abstract 01430*.
- SARNA-WOJCICKI, A.M., SHIPLEY, S., WAITT, R., DZURISIN, D. & WOOD, S., 1981. Areal distribution thickness, mass volume and grain size of air-fall ash from the six major eruptions of 1980. *In* : P.W. Lipman and D.R. Mullineaux (Eds) : *The 1980 Eruptions of Mount Saint Helens, Washington*. U.S.G.S., Prof. paper 1250 : 577-600, Washington.
- STRAKA, H., 1975. Die Spätquartäre Vegetationsgeschichte der Vulkaneifel. *Beitr. Landespflege Rhld.-Pfalz, Beih.* 3 : 1-163.
- VAN HARTEN, D., 1965. On the estimation of relative grain frequencies in heavy minerals slides. *Geol. en Mijnb.*, 44 : 357-363.

**PLANCHE 1**

Minéraux des retombées du volcan El Chichón.

- A. Feldspaths
- B. Clinopyroxènes
- C. Amphiboles
- D. Anhydrite
- E. Apatite
- F. Biotite
- G. Sphène
- H. Magnétite

**PLATE 1**

Minerals of the El Chichón ash-falls.

- A. Felspars
- B. Clinopyroxenes
- C. Amphiboles
- D. Anhydrite
- E. Apatite
- F. Biotite
- G. Titanite
- H. Magnetite

