

# TÉPHROSTRATIGRAPHIE DU QUATERNAIRE EN BELGIQUE

Etienne JUVIGNE

(8 figures & 1 tableau)

*Université de Liège, Département de Géographie physique, Sart-Tilman, Bât. 12, 4000 Liège, Belgique*

**RESUME.** Les caractéristiques essentielles de retombées volcaniques quaternaires trouvées dans diverses formations de Belgique sont rassemblées. Une liste exhaustive des articles traitant de tephrostratigraphie du Quaternaire en Belgique est présentée en annexe.

**MOTS-CLES:** Belgique, Pléistocène, retombées volcaniques.

**ABSTRACT.** The main characteristics of Quaternary volcanic ash-falls found in various terrains of Belgium are put together. An exhaustive list of papers dealing with Quaternary tephrostratigraphy in Belgium is presented in an appendix.

**KEYWORDS.** Belgium, Pleistocene, volcanic ash-falls.

## 1. Introduction

Les premières découvertes de minéraux attribués à des retombées volcaniques du Quaternaire en Belgique sont dues à Gullentops (1952) et Tavernier et Laruelle (1952). Depuis lors, plusieurs chercheurs ont contribué au développement de la tephrostratigraphie du Quaternaire en Belgique. Une liste détaillée des articles publiés est présentée en annexe. Le présent travail est un bilan synthétique des connaissances acquises en la matière. La plupart des considérations qui suivent ont été publiées récemment dans un autre article de synthèse concernant la tephrostratigraphie dans diverses régions du monde (Juvigné, 1993).

## 2. La Tephra du volcan du Laacher See

### 2.1. Opinions divergentes sur l'origine d'une tephra "récente" en Belgique (Fig. 1)

Le Laacher See est un lac occupant un cratère de 2 km de diamètre; il se trouve dans l'Eifel oriental, non loin de Coblenz. Il y a environ 12.250 ans ( $\pm 11.000$  a BP/ $^{14}\text{C}$ ), ce volcan a été le siège d'une éruption explosive violente, qui n'a duré qu'environ une semaine (Bogaard et Schmincke, 1985). En conséquence de cette faible durée, il n'est guère utile, du point de vue stratigraphique, de discuter l'appartenance d'une lamina tephri-

que distale, à l'un ou l'autre lit de l'épais complexe de la tephra proximale.

Gullentops (1952) a été le premier à attribuer au volcan du Laacher See des minéraux volcaniques trouvés dans des sols de haute Belgique.

Dans le marais de Vance/Lorraine, une tephra a été trouvée en place par Hulshof *et al.* (1968). Elle se trouve dans la partie du diagramme pollinique que les auteurs attribuent à l'Allerod, mais la datation  $^{14}\text{C}$  d'échantillons de tourbe, immédiatement sous-jacente, a donné des âges au moins 3000 ans trop récents (Boréal). C'est en donnant la préférence à l'interprétation du diagramme pollinique, que les auteurs ont attribué la tephra au volcan du Laacher See. Hulshof *et al.* (1968) se sont heurtés à une opposition intransigeante des spécialistes du volcanisme de l'Eifel, qui excluaient l'existence d'un lobe occidental de la Tephra du Laacher See (Erlenkeuser *et al.*, 1972).

Brousse *et al.* (1969) et Brousse et Bardintzeff (1987) ont exploité cette opposition pour mettre la tephra de Vance en corrélation avec les nappes trachytiques mises en place dans la Chaîne des Puys pendant le Boréal. Les volcans Chopine, Kilian et Vasset dans l'ordre, seraient responsables de l'émission de ces nappes (Camus, 1975).

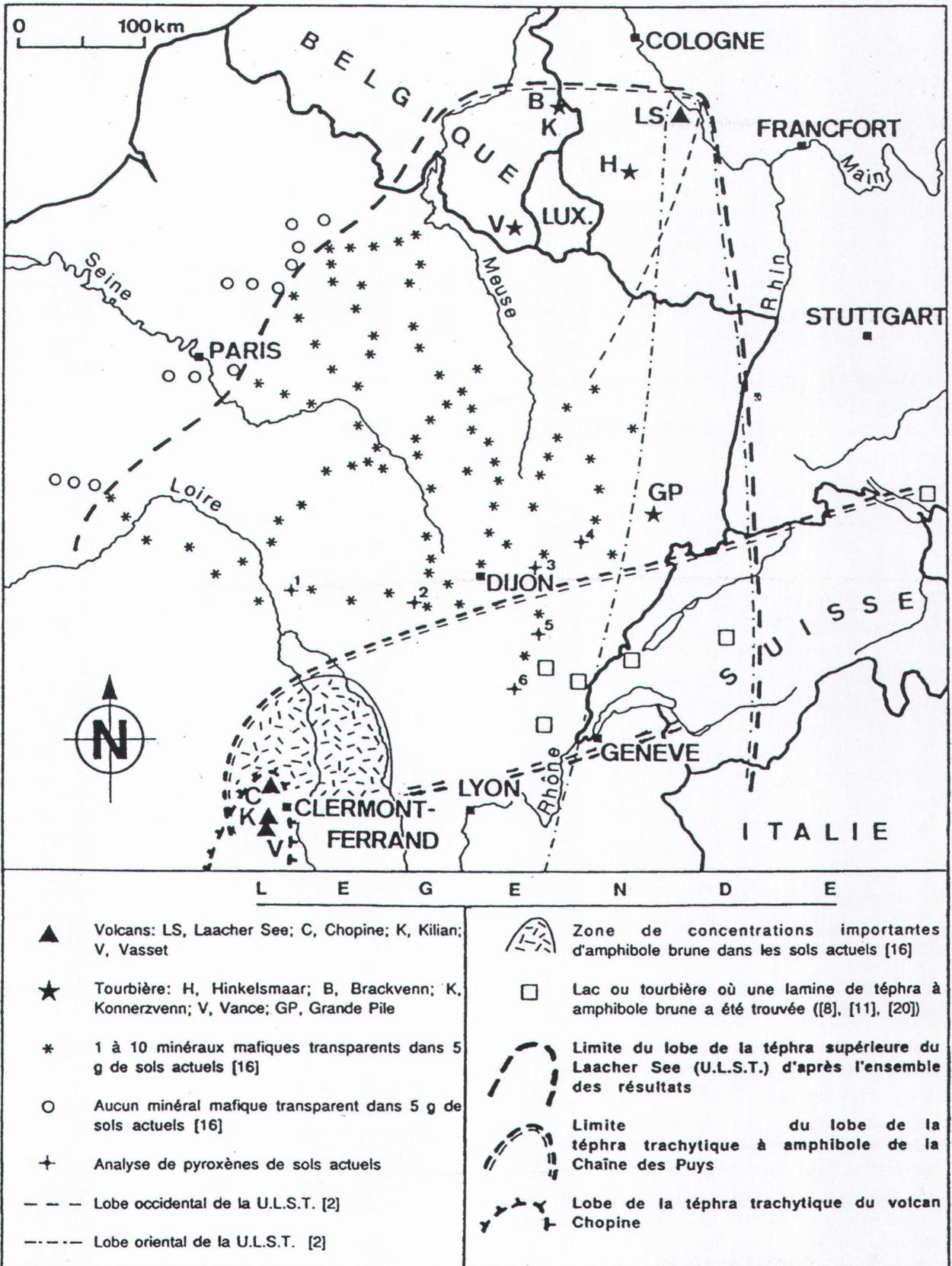


Figure 1. Zones de dispersion de la Téphra du Laacher See/ Eifel et des téphras trachytiques de la Chaîne des Puys/ Massif Central(d'après Juvigné, 1993).

C'est en raison de ce contexte contradictoire, que, dans le chapitre qui suit, les caractères de la Téphra du Laacher See en Belgique sont présentés dans le cadre d'une comparaison avec les produits proximaux d'une part du Laacher See et d'autre part des volcans trachytiques de la Chaîne des Puys.

## 2.2. Composition chimique du magma

Le magma du volcan du Laacher See est phonolithique (Frechen, 1959; Bogaard et Schmincke, 1985); celui du groupe Chopine-Kilian-Vasset est trachytique (Brousse, 1971; Camus, 1975; Arnaud, 1989).

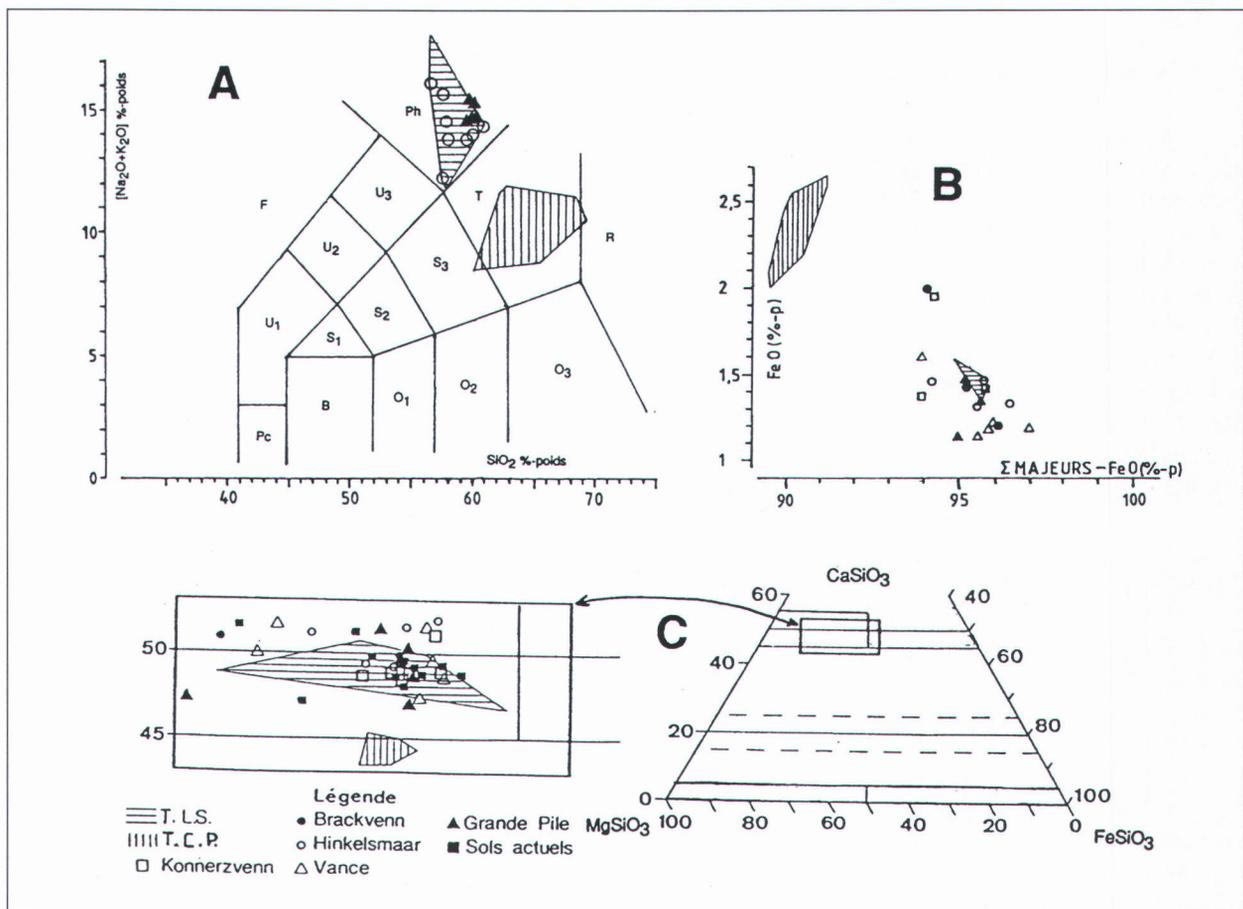
En Belgique, il n'existe encore qu'un seul site où des verres ont été trouvés dans les produits de la téphra. Il s'agit d'un rempart de palse minérale de la Konnerzvenn (Pissart et Juvigné, 1980) où la téphra est en place dans une lentille de tourbe, ce qui a permis

d'obtenir pour la retombée un âge  $^{14}\text{C}$  de  $11.030 \pm 160$  BP (GrN-8891). L'analyse des verres a été réalisée par Bogaard et Schmincke (1985); leur nature phonolithique est démontrée (Fig. 2A).

Dans tous les autres sites de Belgique où des produits de la téphra ont été signalés, les verres n'ont pas été trouvés en raison de l'altération pédogénétique dont ils ont été affectés. Il est donc important de connaître d'autres caractéristiques propres à des produits de la retombée pour la distinguer des autres décrites plus loin.

## 2.3. Associations de cristaux mafiques

L'association de la Téphra du Laacher See, aux environs immédiats du volcan, est composée essentiellement de clinopyroxène, d'amphibole brune, et de sphène (Frechen, 1959; Wörner et Schmincke, 1984; Bogaard et Schmincke, 1985).



**Figure 2.** Détermination des magmas et de deux minéraux mafiques des téphras des volcans du Laacher See, et du groupe Chopine-Kilian-Vasset, ainsi que de téphras de gîtes intermédiaires (d'après Juvigné, 1993).

Légende: T.L.S.= Téphra du Laacher See; T.C.P.= Trachyte de la Chaîne des Puys.

A. Magmas. Téphra du Laacher See (roche globale) d'après Frechen (1971), Wörner et Schmincke (1984) et Bogaard et Schmincke, (1985). Trachytes de la Chaîne des Puys (roche globale), d'après Camus (1975), Brousse (1971), Arnaud (1989), et Juvigné (1991). Les mesures dans les gîtes intermédiaires ont été effectuées uniquement sur des verres.

B. Sphènes (Juvigné, 1991); C. Clinopyroxènes (Juvigné, 1991)

Trois nappes trachytiques dans la Chaîne des Puys ont été émises pendant le Boréal, par les volcans Chopine, Kilian et Vasset (Camus, 1975). La Téphra du Chopine est à clinopyroxène et sphène, et les Téphras Kilian et Vasset sont à amphibole brune. Des découvertes récentes, faites dans le Massif Central, montrent que les retombées des volcans Chopine- Kilian- Vasset sont pratiquement synchrones, et que leur mélange est parfaitement concevable dans les gîtes où le complexe téphrique est laminaire (Juvigné, 1993). Le mélange donne donc une téphra à clinopyroxène, amphibole brune et sphène, soit de même composition que celle du Laacher See.

La Téphra du Chopine contient accessoirement des cristaux idiomorphes de zircon (Camus, 1975; Juvigné, 1987) qui n'existent pas dans la Téphra du Laacher See. Toutefois, dans les gîtes distaux, cette différence est peu fiable, car la lamine téphrique y est souvent contaminée par des sédiments locaux qui contiennent toujours des parts élevées de zircon.

#### 2.4. Détermination géochimique de cristaux mafiques

Les résultats d'analyses par microsonde de minéraux appartenant à des occurrences des Hautes Fagnes sont représentés à la Figure 2 B et C (Juvigné, 1991). Le sphène (Fig. 2B) du Laacher See est nettement plus riche en éléments majeurs, mais néanmoins plus pauvre en fer, que celui du Chopine. Le clinopyroxène (Fig. 2C) du Laacher See est plus calcique (diopside et secondairement fassaïte), que celui du Chopine (augite). De plus celui du Laacher See est toujours alumineux, parfois subsilicique et/ou sodique, tandis que celui du Chopine n'a aucun élément secondaire dominant.

#### 2.5. Répartition géographique

En Belgique, la Téphra du Laacher See n'est connue en place que dans deux gîtes: un rempart de palse minérale de la Konnerzvenn dans les Hautes Fagnes (Pissart et Juvigné, 1980) et la tourbière de Vance en Lorraine (Hulshof *et al.*, 1968). Dans l'un et l'autre cas, son épaisseur est de plusieurs millimètres et elle est visible à l'oeil nu. Cependant, ses minéraux mafiques ont été trouvés systématiquement dans les sols de haute Belgique (Gullentops, 1952; Jungerius et Riezebos, 1976; Juvigné, 1977a), si bien que l'appartenance à un lobe occidental de la Téphra du Laacher See a pu être établie dans le contexte des retombées volcaniques récentes entre le Rhin moyen et le Massif Central français (Fig. 1).

#### 2.6. Granulométrie

L'évolution de la granulométrie a été établie par des mesures effectuées au microscope sur la largeur des amphiboles brunes (Juvigné, 1977a). Il en ressort qu'en haute Belgique ces minéraux sont plus petits que 300 µm et que l'on constate une lente diminution de la taille d'Est en Ouest.

### 3. La Téphra d'Eltville

Cette téphra est connue en Hesse (Allemagne) depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle (Fig. 3). Eltville est une localité de cette région où se trouve le téphrostratotype loessique décrit par Semmel (1967). La téphra a été découverte à Rocourt par Rohdenburg et Semmel (1971), puis dans d'autres coupes de loess en Moyenne Belgique orientale par Juvigné et Semmel (1981).

#### 3.1. Occurrences et position strati-graphique

La Téphra d'Eltville est visible à l'oeil nu dans plusieurs coupes de loess du Pléniglaciaire weichselien de moyenne Belgique orientale (Juvigné et Semmel, 1981; Meijs *et al.*, 1983). Elle se présente sous la forme d'une lamine d'épaisseur millimétrique et discontinue dont la couleur gris foncé contraste nettement avec celle de la couche de loess pulvérulent brun jaunâtre (10YR5/6) dans lequel elle se trouve. L'âge de la téphra reste imprécis entre 16 et 30 ka (voir Juvigné et Wintle, 1988).

#### 3.2. Caractéristiques de la Téphra d'Eltville en Belgique

##### 3.2.1. Le magma

D'une part, aucune esquille de verre volcanique déterminable par microsonde n'a été trouvée dans les échantillons (ce matériau semble avoir été totalement argilisé). D'autre part, la lamine de téphra est contaminée par du loess adjacent, et contient probablement des xénolithes du Paléozoïque inférieur. Dans ces conditions, les analyses de roches globales ne permettent qu'une approche assez lointaine de la composition du magma juvénile (Tab. 1).

Les analyses ont été faites sur une très petite quantité de téphra (environ 1 g) prélevée avec grand soin pour limiter autant que possible la contamination par du loess adjacent. Néanmoins, la composition globale de la téphra brute (Tab. 1, col. B) ne ressemble à celle d'aucun magma de l'Eifel (voir par exemple Schmin-

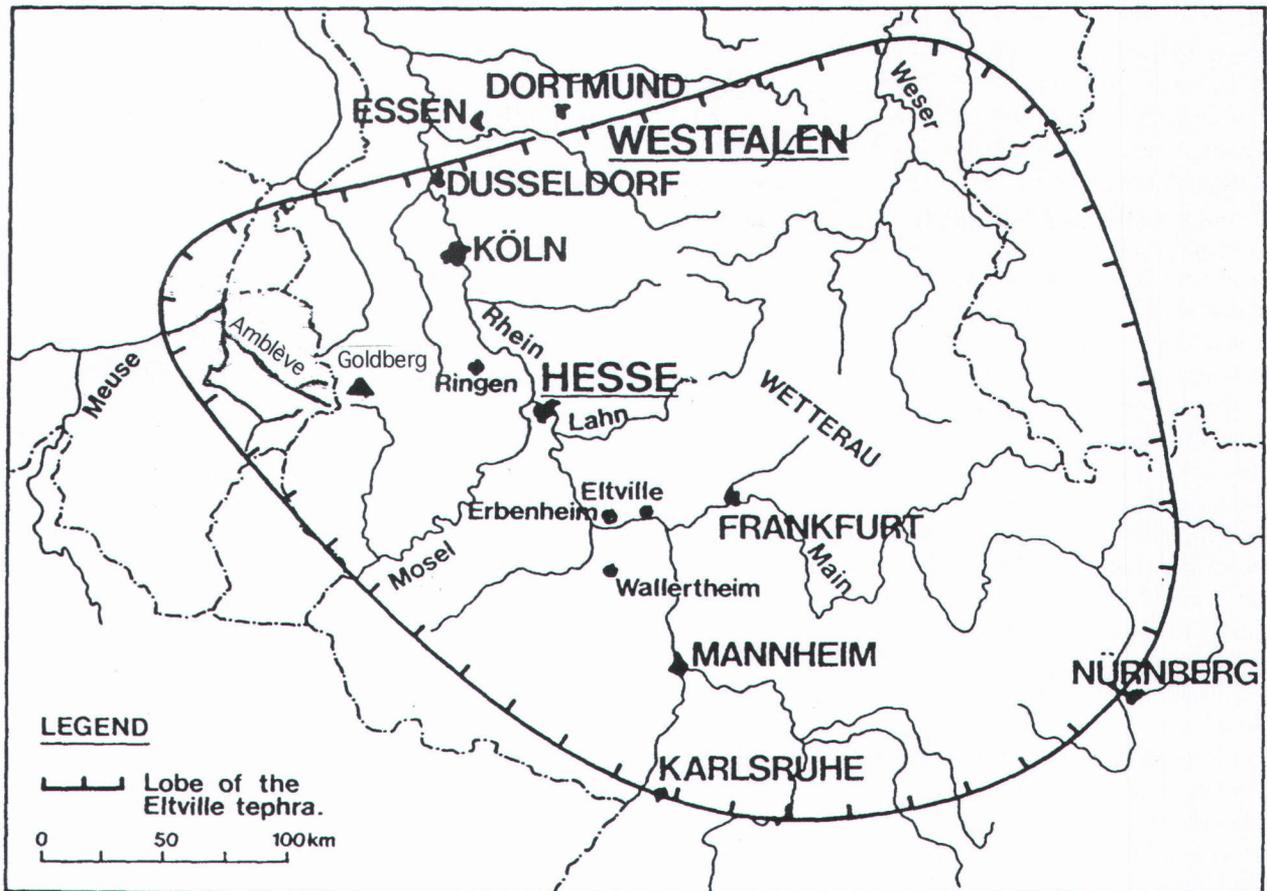


Figure 3. Zone de dispersion de la Téphra d'Eltville (modifié d'après Meijs *et al.*, 1983).

	A	B	C	D	E
SiO <sub>2</sub>	80.78	70.41	84.33	< 70.41	64.60
TiO <sub>2</sub>	0.98	1.46	0.82	> 1.46	0.93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.24	12.01	7.84	> 12.01	18.66
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16	0.35	0.02	> 0.35	?
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	3.73	6.45	2.61	> 6.45	7.66
MnO	0.10	0.14	0.05	> 0.14	1.07
MgO	0.97	3.34	0.74	> 3.30	2.09
CaO	0.92	2.92	0.75	> 2.92	0.52
Na <sub>2</sub> O	0.52	0.50	0.28	± 0.50	0.71
K <sub>2</sub> O	2.60	2.32	2.56	< 2.32	3.57
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>99.9</b>	<b>100</b>	<b>99.81</b>	

Tableau 1. Approche de la composition chimique du magma juvénile de la Téphra d'Eltville.

A: loess juste au-dessus de la téphra; B: composition globale de la téphra brute; C: loess juste en-dessous de la téphra; D: domaines des parts d'éléments majeurs qui tendent à annuler la contamination par le loess; E: composition moyenne des roches du Paléozoïque inférieur (d'après des données de Wilmart, 1984).

cke *et al.*, 1983); on peut citer entre autres, la part de silice nettement trop élevée, et le total  $[CaO + Na_2O + K_2O]$  beaucoup trop faible. Si on compare la composition de la téphra brute avec celle du loess adjacent (Tab. 1, col. A et C), on peut définir des domaines de parts d'éléments majeurs qui tendent à annuler la contamination par le loess (Tab. 1, col. D). Ces tendances sont compatibles avec les magmas de l'Eifel, mais elles sont tellement imprécises qu'une détermination reste impossible. La composition moyenne des roches du Paléozoïque inférieur (Tab. 1, col. E) atteste que la présence d'une part importante de xénolithes peut altérer la composition du magma juvénile. D'une telle contamination, on peut attendre notamment une augmentation de la part de  $SiO_2$  et un abaissement des parts de  $MgO$  et de  $CaO$ . Enfin, pour comprendre la déviation chimique de la téphra par rapport à la composition du magma juvénile, il faut encore tenir compte de la mobilité de certains éléments chimiques qui survient lors de l'altération du verre.

En conclusion, le magma de la Téphra d'Elville ne peut être déterminé avec précision sur la base des données disponibles actuellement. Les résultats obtenus n'ont de valeur que pour comparer entre eux des résultats obtenus dans des conditions identiques de gîtes et de traitement.

### 3.2.2. Les cristaux mafiques

Des analyses géochimiques par microsonde des cristaux de la téphra, provenant de diverses localités de Belgique et d'Allemagne ont permis de montrer que le rapport clinopyroxène/olivine est d'environ 3/2 et que les cristaux (Fig. 4) mafiques essentiels ont respectivement une composition constante depuis l'Eifel orientale jusqu'en Belgique (Juvigné, 1990): 1) clinopyroxène = diopside Hd14-45, et fassaïte alumineux, souvent subsilicique; 2) olivine = forstérite (Fo86-91); 3) amphibole brune = pargasite-kaersutite.

La part élevée d'olivine, parmi les minéraux mafiques, ne peut s'accomoder que d'un magma primitif ou très peu différencié, et les tendances observées par les analyses globales ainsi que la couleur gris foncé de la téphra ne s'opposent nullement à une telle parenté.

### 3.2.3. Granulométrie

Des mesures de largeur ont été effectuées au microscope sur les pyroxènes de la téphra. Il en résulte qu'en Belgique orientale, la taille des grains est essentiellement inférieure à 120  $\mu m$ .

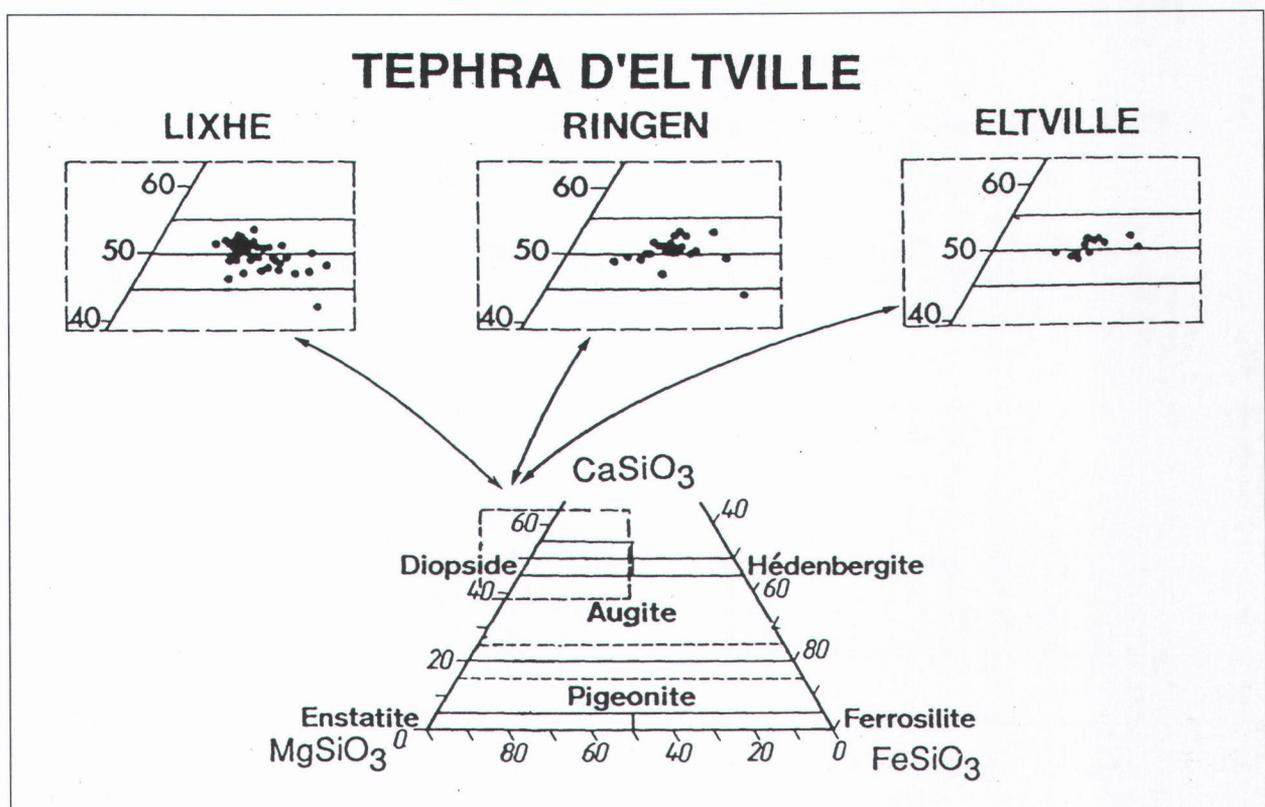


Figure 4. Détermination de pyroxènes de la Téphra d'Elville (d'après Juvigné, 1990).

### 3.2.4. Origine et zone de dispersion

Les caractéristiques géochimiques décrites plus haut sont compatibles avec les produits des deux champs volcaniques de l'Eifel. La Téphra d'Eltville est connue dans une zone de dispersion qui a été délimitée par Meijs *et al.* (1983) et qui s'étend sur une zone d'environ 300 à 400 km comprenant les champs volcaniques de l'Eifel et en ce qui concerne la Belgique, la Hesbaye orientale (Fig. 3).

Il faut souligner que l'explosivité de magmas basiques comme celui de la Téphra d'Eltville est souvent faible, et dès lors, la grande extension de la zone de dispersion de la téphra doit être mise en exergue et est probablement à mettre en relation avec une éruption phréatomagmatique.

Des occurrences de la téphra ont été trouvées de proche en proche depuis l'Eifel et la baie du Rhin inférieur jusqu'en Moyenne Belgique orientale (voir Meijs *et*

*al.*, 1983). L'épaisseur de la lamine (Meijs *et al.*, 1983) et la taille des cristaux (Juvigné et Semmel, 1981) diminuent de l'Allemagne vers la Belgique. L'évolution spatiale de l'épaisseur de la téphra est actuellement l'argument le plus fiable pour localiser l'origine dans le champ volcanique de l'Eifel oriental. Sur cette base, Meijs *et al.* (1983) ont proposé le volcan du Korrettsberg comme émetteur de la téphra, mais la datation récente de produits de cet appareil (200 ka; Bogaard et Schmincke, 1987) rend cette corrélation aléatoire. D'autre part, il n'existe aucune éruption connue dans l'Eifel oriental entre 16 et 30 ka.

Bustamante Santa-Cruz (1973, 1974) a découvert des minéraux volcaniques dans la terrasse tardiglaciaire de la Meuse à Geistigen (Limbourg) et les a attribués au volcan d'Ormont (Eifel occidentale) sur la base de la proximité de celui-ci par rapport au bassin de la Meuse (via la Warche et l'Amblève supérieures). Au-delà de l'argument de proximité, on sait aujourd'hui que plusieurs volcans de l'Eifel occidentale ont été actifs pendant la période de 16 à 30 ka (Büchel et Lorenz, 1983).

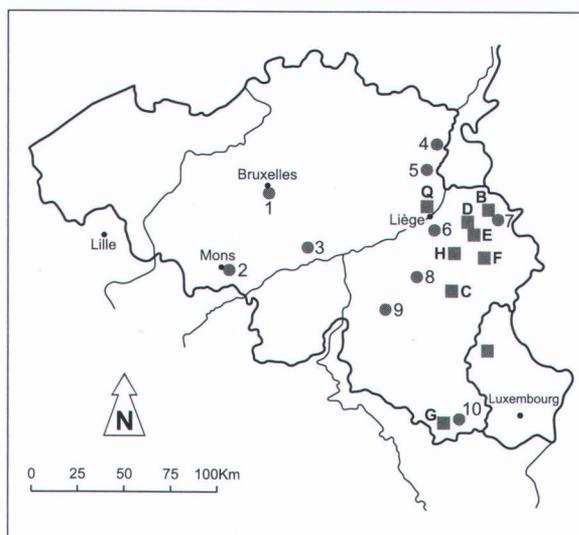
En conclusion, la Téphra d'Eltville provient d'un des champs volcaniques de l'Eifel, mais il n'existe pas encore d'argument déterminant pour identifier le volcan.

## 4. La Téphra de Rocourt

Les premiers minéraux de cette téphra ont été découverts simultanément par Gullentops (1952) dans des limons du Plateau des Tailles et de la région de Laroche, et par Tavernier et Laruelle (1952) dans des alluvions de cours d'eau ardennais. En les découvrant dans un horizon humifère de la coupe de loess de Rocourt, Gullentops (1954) fut le premier à leur donner une signification chronostratigraphique correspondant à la transition Eem-Weichsel. Par la suite, les cristaux mafiques de cette téphra ont été trouvés dans différents sites, essentiellement en Belgique (Fig. 5).

### 4.1. Occurrences et position chrono-stratigraphique

A ce jour, aucune lamine de cette téphra n'a été signalée en place. Plus de quatre décennies après sa découverte, elle n'est toujours connue qu'en position remaniée dans une grande variété de sédiments hôtes. L'ensemble des datations effectuées sur ces derniers permet de situer le moment de la retombée entre 62 et 106 ka (voir Juvigné, 1993).



**Figure 5.** Localités où les minéraux de la Téphra de Rocourt et de la Téphra de Remouchamps ont été trouvés (d'après Juvigné, 1993).

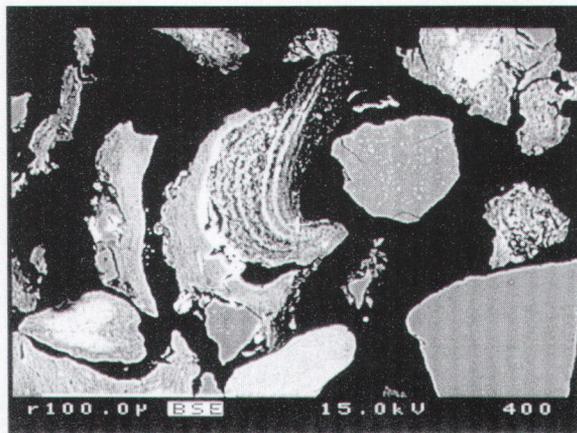
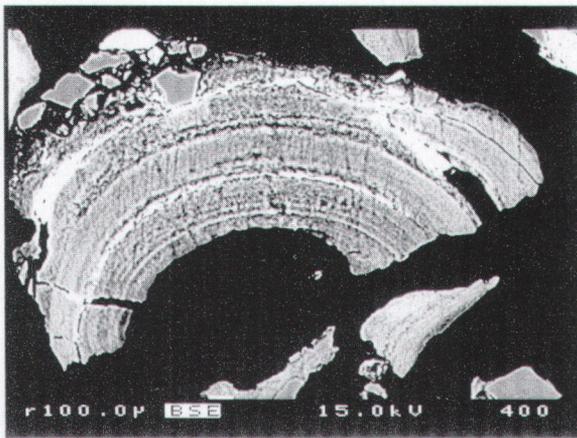
Légende: Cercles 1 à 9: Téphra de Rocourt trouvée par Juvigné (1977b, 1979a, 1979b): 1. loess à Wezembeek-Opem; 2. loess à Saint-Symphorien; 3. loess à Tongrinne; 4. terrasse de la Meuse de et à Maasmechelen; 5. loess à Kesselt; 6. très basse terrasse de l'Ourthe à Tilff; 7. vallée de la Soor et très basse terrasse de la Vesdre à Eupen; 8. loess et très basse terrasse de l'Ourthe en Famenne; 9. loess dans le méandre recoupé de la Lesse à Wanlin; 10. très basse terrasse de la Semois lorraine. Carrés: Téphra de Rocourt trouvée par Gullentops (1952, 1954): a. loess à Rocourt; b. colluvions à Eupen; c. colluvions du plateau des Tailles; Tavernier et Laruelle (1952): d. plaine alluviale de la Vesdre; e. plaine alluviale de la Hoëgne; Bourguignon (1955): g. colluvions en Lorraine; Bustamante-Santa Cruz (1973): h. très basse terrasse de l'Amblève à Coö.

## 4.2. Composition

### 4.2.1. Le magma

Ce n'est que très récemment (Juvigné *et al.*, 1996) que des verres de la Téphra de Rocourt ont été trouvés (Fig. 6). Malheureusement leur composition chimique atteste un état d'altération très avancé (moyenne de 10 analyses): SiO<sub>2</sub>, 45,66%; TiO<sub>2</sub>, 0,77%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 25,65%; FeO, 10,13%; MnO, 0,07%; MgO, 1,72%; CaO, 1,75%; Na<sub>2</sub>O, 0,17%; K<sub>2</sub>O, 2,22%; total, 88,18%.

Par rapport à la composition de l'ensemble des roches magmatiques, les verres comprennent des sommes d'éléments majeurs trop faibles ( $\pm 88\%$ ). De plus, en normalisant à 100% les valeurs citées ci-dessus, les parts d'alumine sont largement excessives ( $\pm 29\%$ ) et les pourcentages de CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O ( $\pm 4\%$ ) nettement insuffisants.



**Figure 6.** Verres volcaniques de la Téphra de Rocourt à Kesselt.

### 4.2.2. Les cristaux mafiques

Les cristaux mafiques de la téphra sont des clinopyroxènes verts et dentelés, des orthopyroxènes incolores à vert très pâle, et des amphiboles brunes. Les rapports de fréquences de ces minéraux sont très variables (Juvigné, 1977b, 1979). Des analyses géochimiques de ces minéraux mafiques de ont été effectuées à la microsonde (Bustamante Santa-Cruz, 1973; Juvigné, 1990). Les clinopyroxènes consistent essentiellement en augite et les orthopyroxènes sont de l'enstatite En<sub>85-90</sub> (Fig. 7). L'amphibole brune est de la pargasite - kaersutite du groupe des amphiboles calciques.

Une étude détaillée des cristaux mafiques (Poulet et Juvigné, 1993) a permis d'interpréter les augites et les enstatites comme des fragments de mégacristaux générés par un magma basaltique alcalin sous haute pression. Diopside et pargasite sont des phases cristallines de moyenne pression formées dans un même magma de type alcalin.

### 4.2.3. Granulométrie

Des mesures de largeurs ont été effectuées au microscope sur des amphiboles brunes de la Téphra de Rocourt de divers sites de Belgique. La taille des plus gros grains varie de 150 µm à Tongrinne (Namur) à environ 300 µm entre Rocourt, Kesselt et les Hautes Fagnes (Juvigné, 1977b).

### 4.2.4. Origine et zone de dispersion

De façon paradoxale, dans le contexte volcanique européen, l'enstatite n'est connue dans des occurrences de téphras distales qu'en Belgique (Fig. 5). Dans les champs volcaniques de l'Eifel, la présence de ce minéral n'a été signalée que dans des xénolithes de péridotite à olivine dominante, dans les produits de quelques volcans de l'Eifel occidentale (e.g. Frechen, 1971). Dans la Téphra de Rocourt, l'enstatite peut représenter jusqu'à 25% de l'association de cristaux mafiques transparents et elle n'y est pas accompagnée par l'olivine.

La taille des cristaux mafiques augmente de l'Ouest vers l'Est, ce qui indique que le volcan correspondant est dans l'Eifel. Les caractéristiques des minéraux mafiques s'accordent particulièrement avec les magmas de l'Eifel occidentale et les éruptions phréato-magmatiques qui y ont eu lieu pendant le Pléistocène supérieur. La large dispersion de la téphra (au moins 200 ka) implique une éruption particulièrement violente qui doit avoir laissé un large cratère. Le Meerfelder Maar répond à ce critère et on sait que son éruption est antérieure à 30 ka (Büchel et Lorenz, 1984).

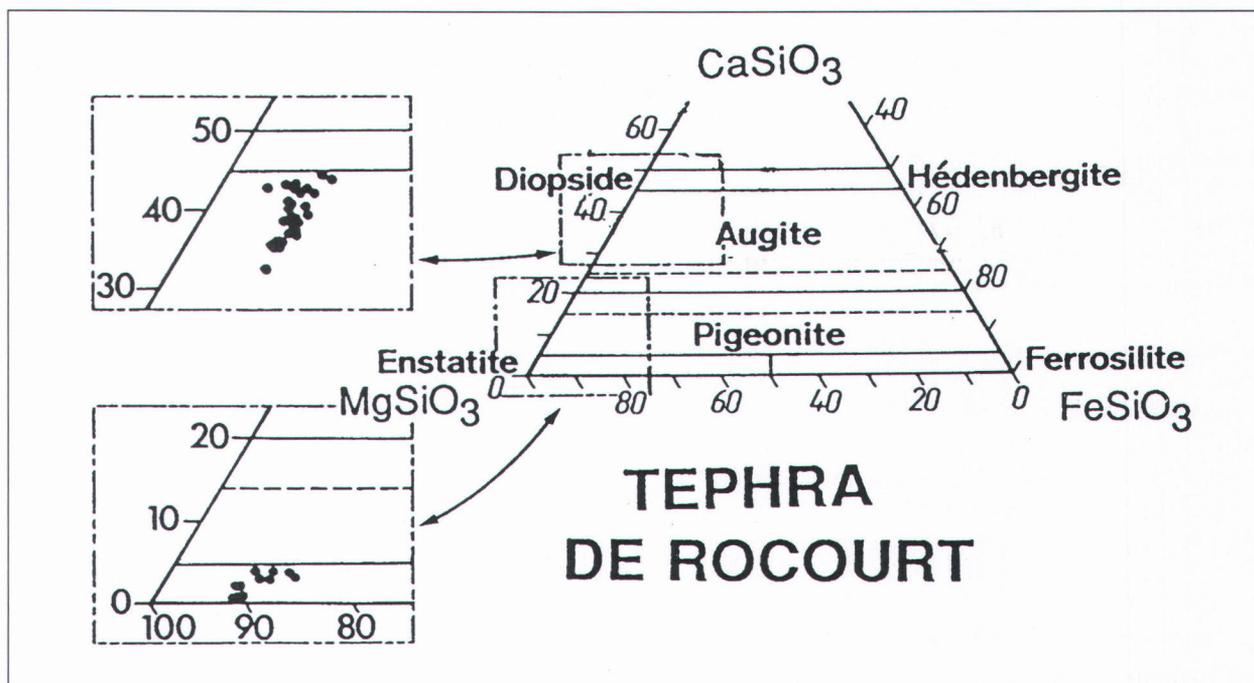


Figure 7. Détermination de pyroxènes de la Téphra de Rocourt (d'après Juvigné, 1993).

## 5. La Téphra de Remouchamps

Une recherche systématique de traces de téphras dans une trentaine d'échantillons provenant de spéléothèmes de six grottes de Belgique, nous a permis de trouver des minéraux d'origine volcanique dans deux concrétions provenant respectivement de Bohon et de Remouchamps (Gewelt et Juvigné, 1986; Fig. 8).

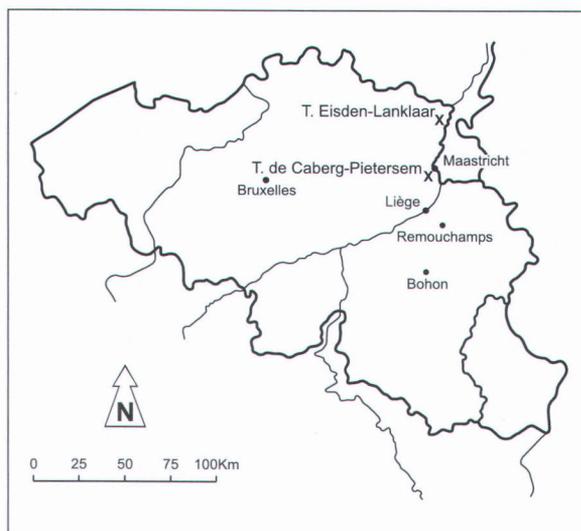


Figure 8. Localisation des grottes de Remouchamps et de Bohon où des minéraux de la Téphra de Remouchamps ont été trouvés ainsi que des terrasses de Caberg-Pietersem et d'Eisdén-Lanklaar où Bustamante Santa-Cruz a découvert des clinopyroxènes qu'il attribue à des volcans de l'Eifel actifs au cours du Pléistocène moyen.

### 5.1. Magma

Des enduits vitreux adhérent aux cristaux ont permis de déterminer le magma juvénile, qui est une rhyolithe:  $\text{SiO}_2$ , 71,26%;  $\text{TiO}_2$ , 0,17%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 12,11%;  $\text{FeO}$ , 1,01%;  $\text{MnO}$ , 0,03%;  $\text{MgO}$ , 0,37%;  $\text{CaO}$ , 1,05%;  $\text{Na}_2\text{O}$ , 2,77%;  $\text{K}_2\text{O}$ , 2,92%.

### 5.2. Cristaux mafiques

Les cristaux mafiques dominants sont une amphibole verte (ferri-tschermakite), et l'hypersthène ( $\text{En}_{68}$ ).

### 5.3. Age

La calcite contenant la téphra dans l'un et l'autre gîte, a été datée par  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ . Les âges individuels obtenus sont statistiquement identiques au niveau de 1 sigma, et leur moyenne est de  $106 \pm 6$  ka. Il est évident que les minéraux sont en position secondaire dans leurs spéléothèmes, et que par conséquent, l'âge précité doit être considéré comme un âge minimum pour la retombée volcanique. Toutefois, la gangue vitreuse conservée sur la plupart des cristaux, atteste qu'ils ont été figés dans la calcite peu après leur retombée, au terme d'un transport très bref et peu érosif.

### 5.4. Origine

La téphra ne peut être rapportée qu'à un magma très différencié de la série calco-alcaline, ce qui implique

qu'elle ne peut provenir ni de l'Eifel, ni du Massif Central français, mais d'une région volcanique plus éloignée. Une telle hypothèse n'a rien de surprenant, puisque nous savons maintenant que les nuages de poussières volcaniques effectuent des révolutions dans la stratosphère pendant quelques années. Dans le cas de la Téphra de Remouchamps, aucun grain ne dépasse 290 µm, il n'y a donc pas d'opposition à un long transport dans la stratosphère.

Remarquons que la présence de l'hypersthène a été signalée dans des alluvions de l'Ambève et de la Vesdre par Bustamante Santa-Cruz (1973, 1975) et cet auteur lui a attribué une origine locale dans le socle Paléozoïque. Cette hypothèse est pertinente, mais la corrélation avec la Téphra de Remouchamps peut aussi être envisagée.

## 6. Traces de tephres du Pléistocène Moyen ou Inférieur

Bustamante-Santa Cruz (1990) a découvert des grains d'augites aciculaires dans les alluvions des terrasses de Caberg-Pietersem (Riss inférieur) et d'Eisdenlanklaar (Riss supérieur). Il les a attribués à deux éruptions volcaniques distinctes qui seraient survenues dans l'Eifel (Fig. 8). L'état remanié des minéraux volcaniques implique que les retombées correspondantes soient respectivement synchrones ou antérieures aux nappes d'alluvions qui les contiennent.

Bustamante-Santa Cruz (1973) a découvert des clinopyroxènes dans les alluvions de la Meuse du plateau de Campine et les a également attribués au volcanisme de l'Eifel. La position chronostratigraphique actuellement supposée pour le plateau de Campine va de la transition Matuyama-Bruhnes (Juvigné et Renard, 1991) à la fin du Pléistocène inférieur (van den Berg, 1996).

Au cours de l'étude d'une tranchée de l'autoroute Bruxelles-Arlon à Bouges/Namur (Paepe, Catt, Mathieu et Thorez, inédit), quelques clinopyroxènes et sphènes ont été trouvés à l'état remanié dans deux paléosols attribués au Pléistocène moyen (Thorez, communication orale).

## 7. Conclusion

Les produits de quatre des retombées volcaniques quaternaires ont été trouvés dans diverses formations du Pléistocène supérieur de Belgique. Leurs minéraux caractéristiques sont: le sphène pour la Téphra de Laacher See ( $\pm 12.500$  ans), l'olivine pour la Téphra

d'Eltville (15.000 à 30.000 ans), l'enstatite et l'augite pour la Téphra de Rocourt (62.000 à 106.000 ans) et l'hypersthène pour la Téphra de Remouchamps (106.000 ans).

Des minéraux volcaniques sont présents dans trois des terrasses du Pléistocène moyen à inférieur final de la Meuse limbourgeoise ainsi que dans deux paléosols loessiques du Pléistocène moyen près de Namur. Les positions chronostratigraphiques des retombées correspondantes sont encore relativement imprécises dans la mesure où, dans chaque cas, leurs minéraux sont en positions secondaires.

## 8. Bibliographie

ARNAUD, N., 1989. Les éruptions trachytiques de la Chaîne des Puys (MCF); apports de l'étude des enclaves congénères à l'évolution des magmas trachytiques. Rapport de DEA, inédit. Université de Clermont-Ferrand 2, Laboratoire de Géologie et de Minéralogie, Clermont-Ferrand, 36 p.

BOGAARD v.d., P. and SCHMINCKE, H.-U., 1985. Laacher See tephra: a widespread isochronous late quaternary tephra layer in central and northern Europe. *Geological Society of America Bulletin*, 96, 1554-1571.

BOGAARD v.d., P. and SCHMINCKE, H.-U., 1987. Towards a comprehensive Pleistocene tephrostratigraphy of the Middle Rhine area, West Germany: single grain  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  laser dating. 12th INQUA Congress, Ottawa, p. 132.

BROUSSE, R., 1971. Magmatologie du volcanisme néogène et quaternaire du Massif Central. In: Symposium J. Jung, *Géologie, géomorphologie et structure profonde du Massif Central français*, Plein Air Service, Clermont-Ferrand, pp. 377-478.

BROUSSE, B. et BARDINTZEFF, J.-M., 1987. Le volcanisme quaternaire, influence sur le cadre de vie. In: Miskovsky, J.-C. (éd.), *Géologie de la Préhistoire: Méthodes, Techniques, Applications*, Geopre, Paris, pp. 241-249.

BROUSSE, R., DELIBRIAS, G., LABEYRIE, J. et RUDEL, A., 1969. Eléments de chronologie de la Chaîne des Puys. *Bulletin de la Société géologique de France*, 11, 770-793.

BÜCHEL, G. und LORENZ, V., 1983. Zum Alter des Maarvulkanismus der Westeifel. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paleontologie, Abhandlungen*, 163, 1-22.

- BÜCHEL, G. und LORENZ, V., 1984. Zum Alter des Meerfelder Maars. *Courier Forschungs-Institut Senckenberg*, 65, 5-12.
- BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1973. *Les minéraux lourds des alluvions sableuses du bassin de la Meuse*. Thèse, Katholieke Universiteit Leuven, 355 p.
- BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1974. Découverte d'une éruption du volcan d'Ormont. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 97, 303-306.
- BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1975. A propos de l'origine de l'hypersthène alluvionnaire des bassins de la Vesdre et de l'Amblève. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 98, 43-45.
- BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1990. On the correlation of the Meuse terraces with the Eifel volcanic ashes. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*, 72, 14-21.
- CAMUS, G., 1975. *La Chaîne des Puys (Massif Central français). Etude structurale et volcanologique*. Thèse, Ann. Université de Clermont-Ferrand, Série Géologie et Minéralogie, 56/28, Clermont-Ferrand, 322 p.
- ERLENKEUSER, H., FRECHEN, J., STRAKA, H. und WILLKOMM, H., 1972. Neue <sup>14</sup>C Datierungen zum Alter der Eifelmaare. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 21, 177-181.
- FRECHEN, J., 1959. Die Tuffe des Laacher Vulkangebietes als quartärgeologische Leitgesteine und Zeitmarken. *Fortschritt in der Geologie von Rheinland und Westfalen*, 4, 363-369.
- FRECHEN, J., 1971. Führer zu vulkanologisch-petrographischen Exkursionen im Siebengebirge am Rhein, Laacher Vulkangebiet, Maargebiet der Westeifel. *Geologischer Führer*, 56 (2. Aufl.), Gebr. Borntraeger, Berlin-Stuttgart, 195 p.
- GEWELT, M. et JUVIGNE, E., 1986. Découverte de cendres volcaniques dans des concrétions stalagmitiques datées par <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U. Une nouvelle perspective pour la téphrostratigraphie. 9<sup>e</sup> Congreso Internacional de Espeleologia, Barcelona, agosto 1986, vol. 2, Barcelone, 70-71.
- GULLENTOPS, F., 1952. Découverte en Ardenne de minéraux volcaniques de l'Eifel. *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 38, 736-740.
- GULLENTOPS, F., 1954. Contribution à la chronologie du Pléistocène et des formes du relief en Belgique. *Mémoires de l'Institut géologique de l'Université de Louvain*, 18, 125-252.
- HULSHOF, A.K., JUNGERIUS, P.D. and RIEZEBOS, P.A., 1968. A late-glacial volcanic ash deposit in south-eastern Belgium. *Geologie en Mijnbouw*, 47, 106-110.
- JUNGERIUS, P.D. and RIEZEBOS P.A., 1976. The distribution of Laacher See ash west of the Eifel region. *Geologie en Mijnbouw*, 76, 159-162.
- JUVIGNE, E., 1977a. La zone de dispersion des poussières émises par une des dernières éruptions du volcan du Laacher See (Eifel). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 21, 323-342.
- JUVIGNE, E., 1977b. Zone de dispersion et âge des poussières volcaniques du tuf de Rocourt. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 100, 13-22.
- JUVIGNE, E., 1979. Etude stratigraphique des dépôts du méandre recoupé de la Lesse à Wanlin (Famenne). *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 15, 65-75.
- JUVIGNE, E., 1987. Un marqueur stratigraphique à large dispersion dans le Massif Central français: la retombée du volcan Chopine vieille d'environ 8500 ans. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 304, Série II, 187-190.
- JUVIGNE, E., 1990. About some widespread Late Pleistocene tephra horizons in Middle Europe. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paleontologie*, Mh, 1990/4, 215-232.
- JUVIGNE, E., 1991. Distribution de vastes retombées volcaniques originaires de l'Eifel et du Massif Central aux temps post-glaciaires dans le NE de la France et les régions voisines. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 312, Série II, 415-420.
- JUVIGNE, E., 1993. Contribution à la téphrostratigraphie du Quaternaire et son application à la géomorphologie. *Mémoires pour servir à l'Explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique*, 36, 66 p.
- JUVIGNE, E., HAESAERTS, P., MESTDAGH, H., PISSART, A. et BALESCU, S., 1996. Révision du stratotype loessique de Kesselt (Limbourg, Belgique). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 323, Série II, 801-807.
- JUVIGNE, E. et RENARD, F., 1991. Les formations post-crétacées de la carrière C.B.R. à Lixhe/Visé (Belgique). *Bulletin de la Société belge de Géologie*, 100/1-2, 163-175.

JUVIGNE, E. et SEMMEL, A., 1981. Un tuf volcanique semblable à l'Eltviller Tuff dans les loess de Hesbaye (Belgique) et du Limbourg néerlandais. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 31, 83-90.

JUVIGNE, E. and WINTLE, A.G., 1988. A new chronostatigraphy of the late Weichselian loess units in Middle Europe based on thermoluminescence dating. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 38, 94-105.

MEIJS, E., MUCHER, H., OUWERKERK, G., ROMEIN, A. and STOLTENBERG, H., 1983. Evidence of the presence of the Eltville Tuff layer in Dutch and Belgian Limbourg and the consequences for the loess stratigraphy. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 33, 59-78.

PISSART, A. et JUVIGNE, E., 1980. Genèse et âge d'une trace de butte périglaciaire (pingo ou palse) de la Konnerzvenn (Hautes Fagnes, Belgique). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 103, 73-86.

POUCLET, A. et JUVIGNE, E., 1993. La Téphra de Rocourt en Belgique: recherche de son origine d'après la composition des pyroxènes. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 116(1), 137-145.

ROHDENBURG, H. und SEMMEL, A., 1971. Bemerkungen zur Stratigraphie des Würm-Loesses im westlichen Mitteleuropa. *Notizblatt hessischen Landesamt Bodenforschung*, 99, 246-252.

SCHMINCKE, H.-U., LORENZ, V. and SECK, H.A., 1983. The Quaternary Eifel volcanic fields. In: FUCHS, K., GEHLEN, v. K., MÄLZER, H., MURAWSKI, H. and SEMMEL, A. (eds), *Plateau uplift - The Rhenish Shield - A case history*. Springer Verlag, pp. 139-151.

SEMMEL, A., 1967. Neue Fundstellen von vulkanischem Material in hessischen Loessen. *Notizblatt hessischen Landesamt Bodenforschung*, 95, 104-108.

TAVERNIER, R. en LARUELLE, J., 1952. Bijdrage tot de petrologie van de recente afzettingen van het Ardeense Maasbekken. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*, 34, 99-110.

VAN DEN BERG, M., 1996. *Fluvial sequences of the Maas: a 10 Ma record of neotectonics and climatic change at various time-scales*. Thesis, University of Wageningen, 170 p.

WILMART, E., 1984. *Modèle géochimique des sédiments paléozoïques du Sud de la Belgique. Méthodologie pour l'étude des sédiments pélitiques*. Rapport final au F.R.F.C., Programme 112, Université

de Liège, Laboratoires associés de Géologie, Pétrologie et Géochimie, Liège, 318 p.

WÖRNER, G. and SCHMINCKE, H.-U., 1984. Mineralogy and geochemical evolution of the Laacher See magma chamber. *Journal of Petrology*, 25, 805-835.

## Annexe

BASTIN, B. et JUVIGNE, E., 1978. L'âge des dépôts de la vallée morte des Chôdières (Malmedy). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 101, 289-304.

BASTIN, B., JUVIGNE, E., PISSART, A. et THOREZ, J., 1972. *La vallée de la Soor (Hautes Fagnes): compétence actuelle de la rivière, dépôts glaciaires ou périglaciaires*. Compte rendu de l'excursion du 3 juillet 1971. Les Congrès et Colloques de l'Université de Liège, Processus périglaciaires étudiés sur le terrain, 67, 295-321.

BASTIN, B., JUVIGNE, E., PISSART, A. et THOREZ, J., 1974. Etude d'une coupe dégagée à travers un rempart d'une cicatrice de pingo de la Brackvenn. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 97, 341-358.

BOGAARD v.d. P. and SCHMINCKE, H.-U., 1985. Laacher See tephra: a widespread isochronous late quaternary tephra layer in central and northern Europe. *Geological Society of America Bulletin*, 96, 1554-1571.

BOLLINE, A., PISSART, A., BASTIN, B. et JUVIGNE, E., 1980. Etude d'une dépression fermée près de Gembloux: vitesse de l'érosion des terres cultivées de Hesbaye. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 103, 143-152.

BOURGUIGNON, P., 1955. Minéraux volcaniques de l'Eifel dans les limons gaumais. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 78, 173-178.

BROUSSE, R., DELIBRIAS, G., LABEYRIE, J. et RUDEL, A., 1969. Eléments de chronologie de la Chaîne des Puys. *Bulletin de la Société géologique de France*, 11, 770-793.

BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1973. *Les minéraux lourds des alluvions sableuses du bassin de la Meuse*. Thèse, Katholieke Universiteit Leuven, 355 p.

BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1974a. Les minéraux lourds des alluvions du bassin de la Meuse. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 278, Série D, 561-564.

- BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1974b. Découverte d'une éruption du volcan d'Ormont. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 97, 303-306.
- BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1975. A propos de l'origine de l'hypersthène alluvionnaire des bassins de la Vesdre et de l'Amblève. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 98, 43-45.
- BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1990. On the correlation of the Meuse terraces with the Eifel volcanic ashes. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*, 72, 14-21.
- BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1992. New microprobe analyses of some Eifel volcanic minerals from the Quaternary Meuse terraces (Belgium). Preliminary notice. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*, 74, 3-7.
- BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1997. Eifel ashes: their chemical composition and lithostratigraphical utility in the Belgian Quaternary geology (assays to know the parental magmas). *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*, 76 (1), 9-22.
- BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1995a. Contribution to the chemical characterization of Quaternary Meuse alluvia river terraces by way of heavy mineral analyses. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, 1995, 255-263.
- BUSTAMANTE SANTA-CRUZ, L., 1995b. Contribution to the petrographical characterization of some minerals from the Quaternary explosive volcanic activity (Preliminary notice). *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, 1995, 529-552.
- DEWEZ, M., BRABANT, H., BOUCHUD, J., CALLUT, M., DAMBLON, F., DEGERBOL, M., EK, C., FRERE, H. et GILOT, E., avec la collaboration de ALEXANDRE-PYRE, S., GLIBERT, M. et JUVIGNE, E., 1974. Nouvelles recherches à la grotte de Remouchamps. *Bulletin de la Société royale belge Anthropologie et de Préhistoire*, 85, 5-161.
- DONNAY, J.P. et JUVIGNE, E., 1985. Analyse de variations minéralogiques par surface de tendance dans les téphras du volcan El Chichon (Chiapas, Mexique). *Eiszeitalter und Gegenwart*, 35, 147-160.
- GEWELT, M., 1985. Cinétique du concrétionnement dans quelques grottes belges: apport des datations  $^{14}\text{C}$  et  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ . *Annales de la Société géologique de Belgique*, 108, 267-273.
- GEWELT, M. et JUVIGNE, E., 1986. Les "téphra de Remouchamps", un nouveau marqueur stratigraphique dans le Pléistocène supérieur daté par  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ . *Annales de la Société géologique de Belgique*, 109, 489-497.
- GEWELT, M. et JUVIGNE, E., 1986. Découverte de cendres volcaniques dans des concrétions stalagmitiques datées par  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ . Une nouvelle perspective pour la téphrostratigraphie. 9<sup>e</sup> Congreso Internacional de Espeleologia, Barcelona, agosto 1986, vol. 2, Barcelone, 70-71.
- GULLENTOPS, F., 1952. Découverte en Ardenne de minéraux volcaniques de l'Eifel. *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 38, 736-740.
- GULLENTOPS, F., 1954. Contribution à la chronologie du Pléistocène et des formes du relief en Belgique. *Mémoires de l'Institut géologique de l'Université de Louvain*, 18, 125-252.
- HAESAERTS, P., JUVIGNE, E., KUYL, O., MUCHER, H. et ROEBROEKS, W., 1981. Compte rendu de l'excursion du 13 juin 1981, en Hesbaye et au Limbourg néerlandais, consacrée à la stratigraphie des loess du Pléistocène supérieur. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 104, 223-240.
- HULSHOF, A.K., JUNGRIUS, P.D. and RIEZEBOS, P.A., 1968. A late-glacial volcanic ash deposit in south-eastern Belgium. *Geologie en Mijnbouw*, 47, 106-110.
- JUNGRIUS, P.D. and RIEZEBOS P.A., 1976. The distribution of Laacher See ash west of the Eifel region. *Geologie en Mijnbouw*, 76, 159-162.
- JUVIGNE, E., 1973. Datation de sédiments quaternaires à Tongrinne et à Tilff par des minéraux volcaniques (note préliminaire). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 96, 411-412.
- JUVIGNE, E., 1974. Découverte de minéraux volcaniques à Kesselt (Limbourg) - Note préliminaire. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 97, 287-288.
- JUVIGNE, E., 1976. *Contribution à la connaissance de la stratigraphie du Quaternaire par l'étude des minéraux denses transparents de l'Eifel au Massif Central français, et plus particulièrement en Belgique*. Thèse, Université de Liège, 236.p.
- JUVIGNE, E., 1977a. La zone de dispersion des poussières émises par une des dernières éruptions du volcan du Laacher See (Eifel). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 21, 323-342.
- JUVIGNE, E., 1977b. Zone de dispersion et âge des poussières volcaniques du tuf de Rocourt. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 100, 13-22.

- JUVIGNE, E., 1977c. Déflation éolienne sur les alluvions de l'Ourthe au Pléistocène. *Revue belge de Géographie*, 101, 175-185.
- JUVIGNE, E., 1979a. Etude stratigraphique des dépôts du méandre recoupé de la Lesse à Wanlin (Famenne). *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 15, 65-75.
- JUVIGNE, E., 1979b. L'encaissement des rivières ardennaises depuis le début de la dernière glaciation. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 23, 291-300.
- JUVIGNE, E., 1980. Vulkanische Schwerminerale in rezenten Böden Mitteleuropas. *Geologische Rundschau*, 69, 982-996.
- JUVIGNE, E., 1983. Two different volcanic ash-falls of Alleröd age in High Belgium. *Geologie en Mijnbouw*, 62: 545-549.
- JUVIGNE, E., 1984. La téphrostratigraphie du Pléistocène supérieur en Belgique. In: Cahen, D. et Haesaerts, P. (éds), *Peuples Chasseurs de la Belgique dans leur cadre naturel*. Patrimoine de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Bruxelles, pp. 53-58.
- JUVIGNE, E., 1985. Données nouvelles sur l'âge de la capture de la Warche à Bévercé. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 21, 3-11.
- JUVIGNE, E., 1990. About some widespread Late Pleistocene tephra horizons in Middle Europe. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, Mh, 1990/4, 215-232.
- JUVIGNE, E., 1991. Distribution de vastes retombées volcaniques originaires de l'Eifel et du Massif Central aux temps post-glaciaires dans le NE de la France et les régions voisines. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 312, Série II, 415-420.
- JUVIGNE, E., 1993. Contribution à la téphrostratigraphie du Quaternaire et son application à la géomorphologie. *Mémoires pour servir à l'Explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique*, 36, 66 p.
- JUVIGNE, E. et GEWELT, M., 1988. Téphra et dépôts des grottes: Intérêt stratigraphique réciproque. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 111, 135-140.
- JUVIGNE, E., HAESAERTS, P., MESTDAGH, H., PISSART, A. et BALESCU, S., 1996. Révision du stratotype loessique de Kesselt (Limbourg, Belgique). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 323, Série II, 801-807.
- JUVIGNE, E. et PISSART, A., 1979. Un sondage sur le plateau des Hautes Fagnes au lieu-dit "La Brackvenn". *Annales de la Société géologique de Belgique*, 102, 277-284.
- JUVIGNE, E. et RENARD, F., 1991. Les formations post-crétacées de la carrière C.B.R. à Lixhe/Visé (Belgique). *Bulletin de la Société belge de Géologie*, 100/1-2, 163-175.
- JUVIGNE, E. et SEMMEL, A., 1981. Un tuf volcanique semblable à l'Eltviller Tuff dans les loess de Hesbaye (Belgique) et du Limbourg néerlandais. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 31, 83-90.
- JUVIGNE, E. and WINTLE, A.G., 1988. A new chronostatigraphy of the late Weichselian loess units in Middle Europe based on thermoluminescence dating. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 38, 94-105.
- MEIJS, E., MUCHER, H., OUWERKERK, G., ROMEIN, A. and STOLTENBERG, H., 1983. Evidence of the presence of the Eltville Tuff layer in Dutch and Belgian Limbourg and the consequences for the loess stratigraphy. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 33, 59-78.
- MULLENDERS, W. and GULLENTOPS, F., 1969. The age of the pingos of Belgium. In: Pewe, T.L. (ed.), *The periglacial environment*. Mc Gill-Queen's University Press, pp. 321-335.
- PISSART, A., BASTIN, B., JUVIGNE, E. and THOREZ, J., 1975. Etude génétique, palynologique et minéralogique des dépôts périglaciaires de la vallée de la Soor (Hautes Fagnes, Belgique). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 98, 415-439.
- PISSART, A. et JUVIGNE, E., 1980. Genèse et âge d'une trace de butte périglaciaire (pingo ou palse) de la Konnerzvenn (Hautes Fagnes, Belgique). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 103, 73-86.
- PISSART, A. et JUVIGNE, E., 1982. Un phénomène de capture près de Malmedy: la Warche s'écoulait autrefois par la vallée de l'Eau Rouge. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 105, 73-86.
- PISSART, A., VAN VLIET-LANOË, B., EK, C. et JUVIGNE, E., 1988. Des traces de glace de ségrégation dans la grotte de Remouchamps (Belgique): conséquences en ce qui concerne la sédimentation et la paléoclimatologie. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 111, 125-133.

POUCLET, A. et JUVIGNE, E., 1993. La Téphra de Rocourt en Belgique: recherche de son origine d'après la composition des pyroxènes. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 116(1), 137-145.

QUINIF, Y., DUPUIS, C., BASTIN, B. et JUVIGNE, E., 1979. Etude d'une coupe dans les sédiments quaternaires de la grotte de la Vilaine Source (Arbre, Belgique). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 102, 229-241.

ROHDENBURG, H. und SEMMEL, A., 1971. Bemerkungen zur Stratigraphie des Würm-Loesses im

westlichen Mitteleuropa. *Notizblatt hessischen Landesamt Bodenforschung*, 99, 246-252.

TAVERNIER, R. en LARUELLE, J., 1952. Bijdrage tot de petrologie van de recente afzettingen van het Ardeense Maasbekken. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*, 34, 99-110.

Manuscrit déposé le 14.05.1997 et accepté pour publication le 06.10.1997.

