

# NOUVELLES DONNEES SUR LES TEPHRAS ET L'ENVIRONNEMENT TARDIGLACIAIRES DU CEZALIER ET DE L'ARTENSE (MASSIF CENTRAL, FRANCE)

Etienne JUVIGNE<sup>1</sup>, Bruno BASTIN<sup>2</sup> et Alain de GOER de HERVE<sup>3</sup>

(5 figures et 2 tableaux)

1. Fonds national de la Recherche scientifique, Université de Liège, Département de Géographie physique, Place du XX Août, 7, 4000 Liège, Belgique.
2. Décédé le 28 août 1994. Université Catholique de Louvain, Laboratoire de Dendrochronologie et de Palynologie, Place Croix du Sud, 4, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.
3. Centre de Recherches Volcanologiques et Université Blaise Pascal, Département de Géologie, rue Kessler, 5, 63038 Clermont-Ferrand Cedex, France.

**RESUME.** Deux téphras tardiglaciaires connues dans le Cézalier ont été trouvées dans des tourbières de l'Artense, ce qui étend la connaissance de leurs zones de dispersion respectives. De nouvelles analyses de ces téphras ont été réalisées par microsonde, parallèlement à l'acquisition de nouvelles données sur la composition des magmas des volcans de la Chaîne des Puys supputés contemporains. Les volcans d'origine ne peuvent être désignés avec certitude; la téphra supérieure provient probablement de la Nouvelle Nugère; la téphra inférieure peut provenir du puy de Vichatel ou du puy de Côme, éventuellement du puy Mey. Il se confirme que les deux téphras sont bien retombées pendant l'Allerød plutôt qu'au Dryas récent.

**MOTS-CLES:** France, Massif Central, volcan, téphra, palynologie, Tardiglaciaire.

**ABSTRACT.** New data on tephras and Late Glacial environment of the Cézalier and the Artense (Massif Central, France). Two late glacial tephras known in the Cézalier were found in peat-bogs of the Artense, that extends the relevant lobes. Additional microprobe analysis were done, along with new analyses of magmas erupted by volcanoes of the Chaîne des Puys. It is not possible to precisely correlate each tephra with a volcano, but they should originate: the upper one (T4) from the 'New La Nugère' volcano, and the lower one (T5) from one of the following volcanoes: Vichatel, Come or Mey. It is confirmed that both tephras (T4 and T5) were deposited during the Allerød rather than the Late Dryas.

**KEYWORDS:** France, Massif Central, volcano, tephra, palynology, Late Glacial.

## 1. INTRODUCTION

Deux retombées de téphras sont enregistrées au cours du Tardiglaciaire dans le Cézalier. Elles ont été nommées respectivement "Téphra 4 de La Godivelle-Nord" et "Téphra 5 de La Godivelle-Nord" (Juvigné, 1987a). La recherche de leurs volcans d'origine a donné lieu à des hypothèses différentes (Juvigné, 1987a; Bastin *et al.*, 1990; Juvigné *et al.*, 1992; Juvigné, 1993) et sera discutée ici sur de nouvelles bases. Des diagrammes polliniques contenant ces deux téphras ont donné lieu à des inter-

prétations contradictoires, dans la mesure où les deux retombées semblaient se trouver aussi bien dans l'Allerød que dans le Dryas récent (Bastin *et al.*, 1990).

Dans le présent travail, les zones de dispersion des deux téphras sont étendues à l'Artense et leur position dans les diagrammes polliniques est à nouveau discutée. Dans le texte qui suit, les deux téphras seront simplement désignées par T4 et T5. Remarque. Dans le texte qui suit, les âges <sup>14</sup>C conventionnels sont exprimés en 'a BP' et leurs valeurs

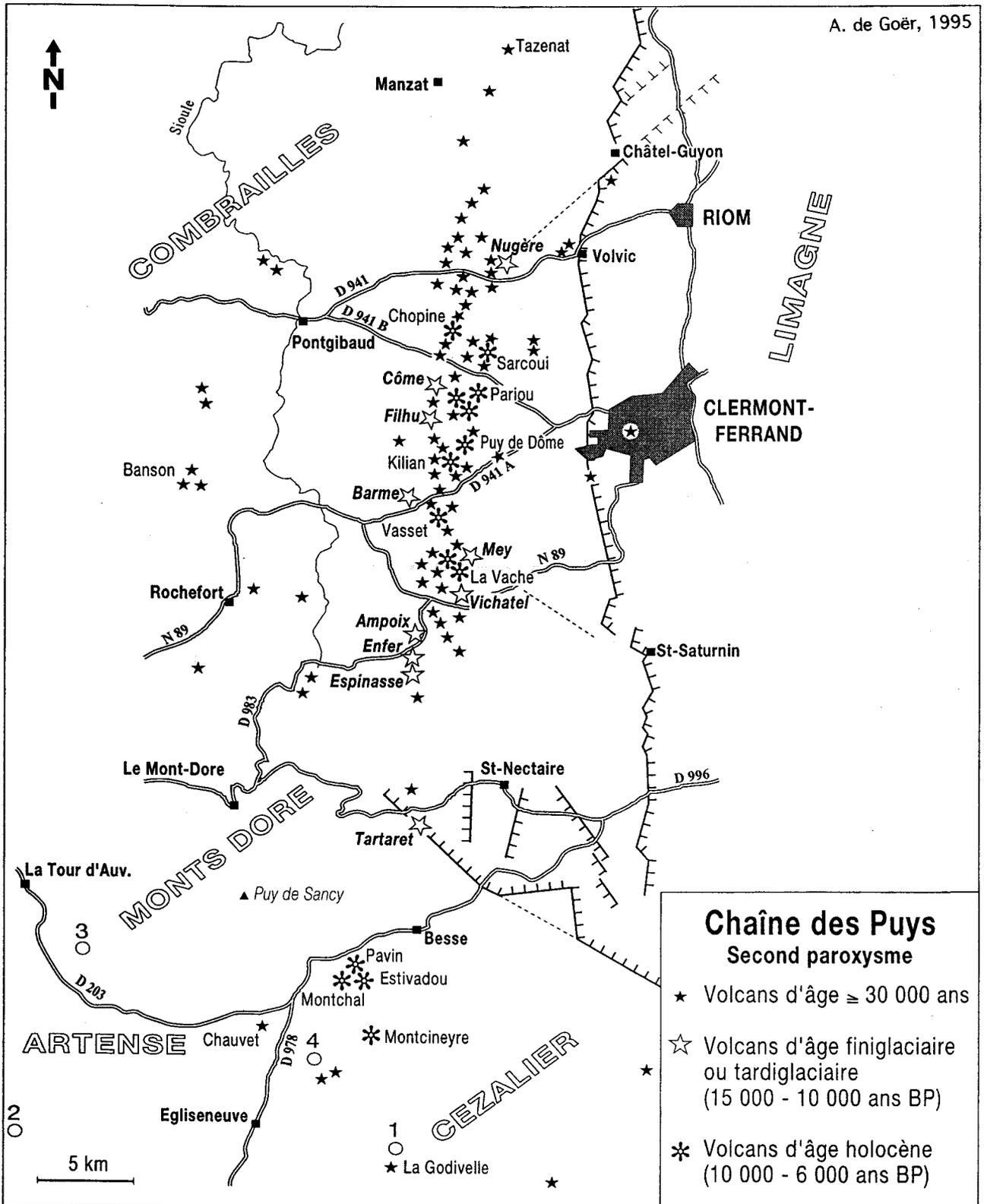


Figure 1. Localisation des sites étudiés (cercles) par rapport aux volcans récents de la Chaîne des Puy.  
1, Coualle-Basse; 2, La Cousteix; 3, Bois de la Masse; 4, Chambedaze.

calibrées en 'a cal BP' (Radiocarbon, 28, p. 799). Les âges obtenus par des méthodes de datations autres que le  $^{14}\text{C}$  sont exprimés en 'ka'.

## 2. PROVENANCE DES ECHANTILLONS (Fig.1)

### a) Tourbière de Coualle Basse (Cézalier)

La tourbière de Coualle Basse est située au nord de La Godivelle (Cézalier); c'est le *locus typicus* des deux téphras T4 et T5. Les résultats de leurs analyses ont été publiés (Juvigné, 1987a). Les déterminations des magmas et des pyroxènes adoptées dans l'article précité sont revues ici en fonction des classifications publiées postérieurement par des Commissions internationales (Le Bas *et al.*, 1986, pour les magmas; Morimoto, 1988, pour les pyroxènes). Des analyses supplémentaires des magmas ont été effectuées.

### b) Tourbière de La Cousteix (Artense)

Les échantillons proviennent d'une carotte prélevée en 1983 par l'un de nous (E.J.) à la bordure occidentale du lac de La Cousteix dans la zone tourbeuse. Deux téphras d'un peu moins d'un centimètre d'épaisseur y ont été repérées et nommées "CO1" et "CO2" (Juvigné, 1983). La première (CO1) a été assimilée ultérieurement à la "retombée trachytique de La Taphanel", située dans le Boréal (Juvigné, 1987b). La seconde (CO2) est aujourd'hui identifiable comme étant T4, grâce à ses xénolithes blancs. De plus, une lamine d'épaisseur millimétrique située 5 cm plus bas, et qui n'avait pas retenu l'attention à l'époque, est aujourd'hui assimilable à T5 (voir plus loin). Nous avons aussi identifié la téphra CO2 dans une autre carotte de la même tourbière, dont Vergne (1989) a publié un diagramme pollinique (Juvigné, *in* Vergne, 1989, diagramme 15, profondeur 765 cm); la téphra s'y trouve dans l'Allerød. Vergne (1989, diagramme 15) a signalé une autre téphra à la profondeur 770 cm dans la même carotte et toujours dans l'Allerød; ce devrait être T5, mais l'échantillon qui nous a été fourni à l'époque était inadéquat pour la détermination.

### c) Tourbière du Bois de La Masse à Chastreix (Artense)

Six niveaux sableux ont été repérés dans cette tourbière et nommés "téphras" (Vergne 1989, diagramme 9, profondeurs respectives en cm: 296-297, 368-370, 384, 410, 434 et 437). L'analyse de ces échantillons a été confiée à l'un de nous (E.J.). Les niveaux 296-297 et 368-370 cm ont été attribués respectivement au volcan du Montcineyre et à la retombée trachytique de La Taphanel (Juvigné, *in* Vergne, 1989). Les autres échantillons (384, 410, 434 et 437) étaient inadéquats pour la détermination et méritaient une recherche détaillée, car en

appelant "téphras" quatre niveaux sableux localisés dans une séquence pollinique tardiglaciaire, Vergne (1989, diagramme 9) introduisait des retombées nouvelles, ce qui appelait une vérification. Nous avons donc effectué nos propres sondages dans la tourbière du Bois de la Masse en accord avec V. Vergne. L'analyse chimique de la téphra 296-297 cm nous a permis d'attribuer celle-ci au volcan du Montchal plutôt qu'à celui du Montcineyre (Juvigné et Bastin, 1994). Dans la séquence comprenant les quatre niveaux sableux inférieurs, nous n'avons reconnu que deux téphras: (i) la supérieure a une épaisseur millimétrique et évoque le faciès de T4 par son contenu en xénolithes blancs (voir Juvigné, 1987a); (ii) l'inférieure ressemble à T5, elle a une épaisseur d'environ 1 cm et est constituée de scories noires essentiellement dans les classes de la cendre fine et très fine.

**Remarque.** Dans un article récent, Guenet (1993) a repéré six "passées de téphras" dans les horizons du Tardiglaciaire et du Pléniwürm de la tourbière du Lac Noir (Artense). Ne disposant d'aucun résultat analytique permettant d'identifier ces "téphras", nous ne pourrions les inclure dans la présente synthèse. Nous n'excluons pas que, comme au Bois de la Masse, certains d'entre eux soient des niveaux sableux détritiques, tels qu'on en trouve dans la partie inférieure de tous les dépôts limno-palustres des régions du Massif Central qui ont été couvertes par les glaciers würmiens.

### d) Tourbière de Chambedaze (Cézalier)

Les échantillons proviennent de carottes prélevées par l'un d'entre nous (E.J.), et dont deux diagrammes polliniques ont déjà été publiés (Bastin *et al.*, 1990). La présence des deux téphras dans cette tourbière avaient été signalée antérieurement sous le nom de "passées téphriques" (Guenet et Reille, 1988).

## 3. LA TEPHRA T4 DE LA GODIVELLE

### a) Magma

Les analyses ont été effectuées sur des micro-échantillons (Tabs. 1 et 2). Dans la classification de Le Bas *et al.* (1986), les échantillons des quatre sites consistent en latite (K-trachyandésite, Fig. 2).

### b) Les minéraux mafiques

Ce sont dans l'ordre de fréquence des clinopyroxènes verts à vert brunâtre (3/4), des olivines et des amphiboles brunes.

Les clinopyroxènes se répartissent dans les champs de l'augite et du diopside selon la classification de Morimoto (1988):  $\text{Wo}_{43-47}$ ,  $\text{En}_{37-45}$ ,  $\text{Fs}_{11-17}$ ; ils sont alumineux.

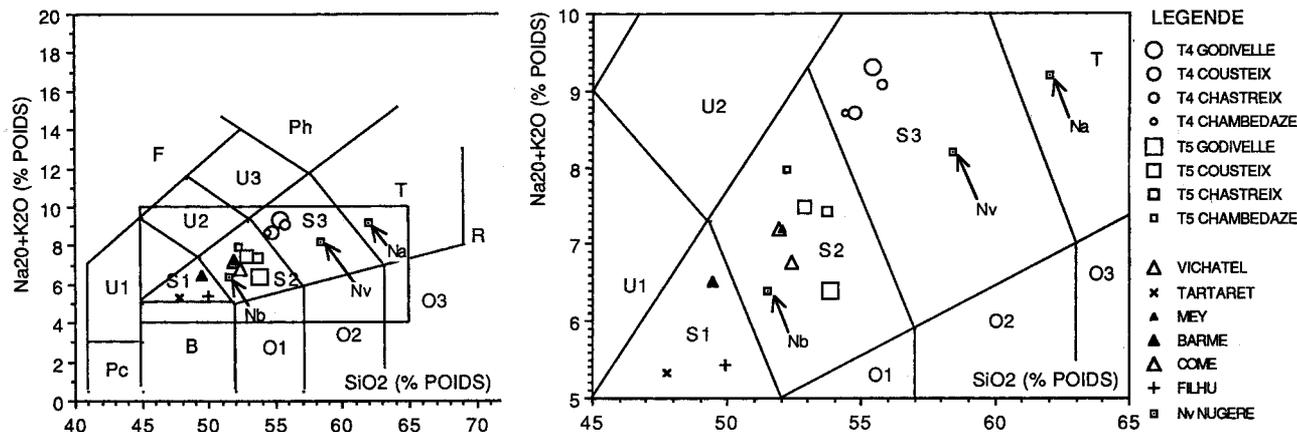


Figure 2. Position des téphras T4 et T5, et des laves des volcans supputés tardiglaciaires de la Chaîne des Puys, dans le diagramme TAS de Le Bas *et al.* (1986).

S1, trachybasalte: hawaïite si  $(Na_2O-2) K_2O$  (%-p) ou trachybasalte potassique si  $(Na_2O-2) < K_2O$ ; S2, trachyandésite basaltique: mugéarite si  $(Na_2O-2) K_2O$  (%-p), ou shoshonite si  $(Na_2O-2) < K_2O$ ; S3, trachyandésite: benmoréite, si  $(Na_2O-2) K_2O$  (%-p), ou latite si  $(Na_2O-2) < K_2O$ ; T, trachyte, si Q nr 20%, ou trachydacite, si Q nr >20%.

Pour chaque localité, la valeur est une moyenne de plusieurs analyses (Tab. 1).

Nb, Nv et Na concernent les produits de la 'Nouvelle Nugère' (Gourgaud et Camus, 1984): Nb et Na, respectivement pôle basique et pôle acide de la phase initiale bi-magmatique, avant mélange; Nv, phase finale après homogénéisation (scories+ lave de Volvic).

Les olivines sont des forstérites  $Fo_{80-85}$ .

Les amphiboles sont des kaersutites selon la classification de Leake (1978).

### c) Les plagioclases

Ils consistent en labrador:  $Or_{0,5-2}$ ,  $Ab_{29-38}$ ,  $An_{60-69}$ , et sont donc particulièrement basiques en regard du magma trachyandésitique auquel ils sont associés.

### d) Les xénolithes

Les xénolithes blancs sont déterminants pour identifier T4 à l'oeil nu. Vingt-deux d'entre eux ont été déterminés à la microsonde dans l'ordre où ils se sont présentés dans le champ; il s'est agi de 7 quartz et 15 feldspaths. Ces derniers consistent en orthoclase/ sanidine (7), orthoclase/ sanidine sodique (1), anorthoclase (1), albite (3), oligoclase (2) et andésine (3).

### e) Age

Les âges  $^{14}C$  publiés pour T4 ont permis d'en situer la retombée aux environs de 10.300 a BP (Juvigné *et al.*, 1995), ce qui, d'après Stuiver *et al.* (1993), correspond à un âge calibré d'environ 11.500 a cal BP.

## 4. LA TEPHRA T5 DE LA GODIVELLE

### a) Magma

Les analyses ont été effectuées par microsonde sur des micro-échantillons (Tabs. 1 et 2). Dans la

classification de Le Bas *et al.* (1986), les échantillons des quatre sites consistent en shoshonite (K-trachyandésite basaltique, Fig. 2).

### b) Les minéraux mafiques

Ce sont dans l'ordre de fréquence des clinopyroxènes verts à vert brunâtre (3/4) et des amphiboles brunes. L'olivine est rare.

Les clinopyroxènes se répartissent dans les champs de l'augite et du diopside selon la classification de Morimoto (1988):  $Wo_{41-48}$ ,  $En_{36-47}$ ,  $Fs_{11-18}$ ; ils sont alumineux.

Les amphiboles sont des kaersutites selon la classification de Leake (1978).

### c) Les plagioclases

Ils consistent en labrador:  $Or_{0,5-3}$ ,  $Ab_{29-40}$ ,  $An_{57-68}$ .

### d) Age

Les âges  $^{14}C$  publiés pour T5 ont permis d'en situer la retombée vers 10.700 a BP (Juvigné *et al.*, 1995), ce qui, d'après Stuiver *et al.* (1993), correspond à un âge calibré d'environ 12.000 a cal BP.

## 5. ORIGINE DE T4 et T5

Aucun édifice éruptif susceptible d'avoir été en activité au cours du Tardiglaciaire n'étant connu dans le Cézalier septentrional, c'est dans la Chaîne des Puys qu'il convient de rechercher les volcans dont sont issues les téphras T4 et T5 (Fig.1).

## 5.1. LES ERUPTIONS TARDIGLACIAIRES DANS LA CHAÎNE DES PUY

La Chaîne des Puys est un ensemble de volcans monogéniques, c'est-à-dire individuellement constitués au cours d'une éruption unique, d'une durée ne pouvant excéder quelques mois. Ceci n'exclut ni une évolution dans la composition du magma, ni des modifications du style éruptif en cours de fonctionnement. Il en résulte qu'à un édifice donné de la chaîne, ne peut correspondre qu'une seule téphra dans des tourbières situées à plusieurs dizaines de kilomètres de distance.

La période comprise entre il y a quinze à huit mille ans, a connu le second paroxysme de la chaîne (Fig. 3), à l'issue duquel les magmas les plus différenciés ont été émis (Goër *et al.*, 1991; Camus, 1994; Camus et Goër, 1995). Pour tous les événements antérieurs à l'Holocène, en raison de la rareté de la végétation, les âges ont pour l'essentiel été déterminés par la thermoluminescence des plagioclases (Guérin, 1983); cette méthode a totalement renouvelé nos connaissances sur la chronologie des éruptions, mais ses résultats demeurent entachés d'une notable imprécision.

En l'état actuel de nos connaissances, sept volcans au moins sont susceptibles d'avoir été actifs au cours de la période tardiglaciaire, seule ici concernée. Pour ces volcans, nous disposons des données chronologiques présentées ci-dessous.

### Le puy Filhu (forêt de Mazayes)

Âges TL/plagioclases (Guérin, 1983): 17,3±2 ka; 16,4±1,5 ka; 13,2±1,3 ka.  
Age U/Th (Condomines, 1981): 13,3±3,5 ka.

### Le puy de Côme (cheyre de Côme)

Âges TL/plagioclases (Guérin, 1983) : 15,9±1,5 ka; 11,6±0,83 ka, 7,61±1 ka.

### Le puy de Barme (bois de Bravant)

Age TL/plagioclases (Guérin, 1983): 11,9±1,2 ka

### Le puy Mey (cheyre de Fontfreyde)

Age TL/plagioclases (Guérin, 1983): 18,1±2,2 ka; 9,69±0,95 ka

### La Nouvelle Nugère (lave de Volvic)

Age TL/plagioclases (Guérin, 1983): 10,9±1,2 ka

### La fissure éruptive Ampoix– puy de l'Enfer– Espinasse

De peu antérieur à 10.700±170 a BP (Juvigné & Gewalt, 1987).

### Le puy de Tartaret (coulée de la Couze Chambon)

Age TL/quartz (Pilleyre *et al.*, 1992): 13,7±0,77 ka  
De peu antérieur à 12.450±100 a BP (Macaire *et al.*, 1992).

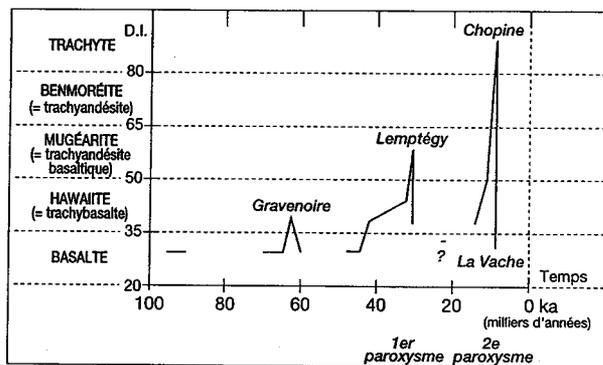


Figure 3. Evolution des magmas et chronologie des éruptions de la Chaîne des Puys (d'après Camus et Goër, 1995). Les volcans du Nord-Cézalier ne sont pas pris en compte dans ce diagramme.

### Le puy de Vichatel

Pour ce puy, nous ne disposons d'aucune mesure. Toutefois, sa coulée est immédiatement sous-jacente à celle de La Vache et Lassolas [celle-ci datée à 7650±350 a BP (Pelletier *et al.*, 1959) et la téphra correspondante à 7970±125 a BP (Juvigné et Gewalt, 1987)].

La composition chimique des magmas émis par sept de ces huit appareils est connue par un nombre suffisant d'analyses (Tabs. 1 et 2). Seuls font exception les produits de la fissure éruptive Ampoix-Enfer- Espinasse; d'après leur minéralogie, il s'agit d'une lave non ou peu différenciée, de type basalte ou trachybasalte.

La Nouvelle Nugère se singularise:

a) d'une part, par la puissance des explosions phréatomagmatiques de ses premières phases (Camus et Roche, 1974), pulvérisant à la fois des édifices basaltiques antérieurs (Ancienne Nugère et Grande Nugère) et leurs coulées, et un socle hercynien syéno-dioritique;

b) d'autre part, par une importante hétérogénéité magmatique (Gourgaud et Camus, 1984), la "lave de Volvic" (trachyandésite) résultant du mélange homogénéisé de deux magmas cogénétiques, l'un basique et l'autre acide, émis séparément, mais simultanément lors de la phase initiale de l'éruption.

Les autres appareils ont émis des produits de composition beaucoup plus homogène, susceptibles d'être plus clairement identifiables dans des retombées distales. Les laves de Filhu, Barme et Tartaret se placent dans le champ des trachybasaltes, celles de Côme, Vichatel et Mey dans le champ des trachyandésites basaltiques (Fig. 2).

Notons que les autres volcans de la Chaîne des Puys qui ont émis des laves intermédiaires

(trachyandésitesbasaltiques) appartiennent au premier paroxysme datant d'il y a 45.000 à 30.000 ans (Fig. 3), et peuvent être exclus de la présente discussion.

## 5.2. ORIGINE DE T4

Le seul de tous les volcans précités qui ait émis des produits trachyandésitiques est la Nouvelle Nugère, dont le magma homogénéisé (lave de Volvic) montre une composition voisine de celle de T4 (Tabs. 1 et 2; Fig. 2). Par ailleurs, T4 se révèle très riche en xénolithes, ce qui rend ce rapprochement d'autant plus plausible que l'ampleur de la phase phréatomagmatique de La Nugère la désigne comme particulièrement susceptible d'avoir engendré un panache atmosphérique capable de saupoudrer un très vaste territoire (La Godivelle est distante de 55 km de La Nugère).

Dans ce contexte, les olivines et les pyroxènes présents dans T4 peuvent être interprétés, soit comme les phénocristaux du pôle basique de la phase initiale de la Nouvelle Nugère, soit comme des xénocristaux repris aux produits de l'Ancienne Nugère. Les plagioclases de T4, plus basiques que tous les plagioclases de la Nouvelle Nugère (qui ne dépassent pas  $An_{59}$ ), ne peuvent être interprétés que comme des xénocristaux. Il pourrait en être de même des amphiboles (kaersutites), car les amphiboles relativement abondantes dans les termes trachytiques de la Nouvelle Nugère ont une composition très constante de pargasite. Parmi les éléments empruntés au socle, le mélange de cristaux d'orthose, d'albite et d'andésine reflète bien la grande variabilité de composition du pluton syéno-dioritique constituant le substrat de La Nugère. On ne saurait d'ailleurs exclure que certains plagiocla-

ses blancs de composition limite oligoclase-andésine ne soient pas des xénocristaux, mais des phénocristaux du pôle trachytique initial de la Nouvelle Nugère. Toutefois, l'absence d'amphibole verte, pourtant abondante dans les syéno-diorites, nous interdit d'être affirmatifs sur l'assimilation T4-Nouvelle Nugère.

## 5.3. ORIGINE DE T5

Le Tartaret a été cité comme émetteur possible de T5 (Bastin *et al.*, 1990), mais cette hypothèse doit être écartée, en raison de la composition nettement plus basique que nous avons obtenue pour l'ensemble, très homogène, des produits de ce volcan (Tabs. 1 et 2; Fig. 2). Nous écarterons également, pour la même raison, le puy Filhu et le puy de Barne.

Au cours de la phase initiale de son édification, la Nouvelle Nugère a émis des "scories basiques" (Gourgaud et Camus, 1984), dont la composition est assez semblable à celle de T5. Mais un tel rapprochement est exclu pour deux raisons exposées ci-dessous.

a) D'une part, la phase initiale de La Nugère se caractérise par l'émission simultanée de deux magmas juvéniles contrastés: l'un, majoritaire, de composition basique (trachyandésite basaltique), l'autre, minoritaire, de composition acide (trachyte). Une retombée distale des produits de cette phase devrait nécessairement comporter ces deux composants, ce qui n'est pas le cas de T5.

b) D'autre part la durée totale de l'éruption de la Nouvelle Nugère n'a certainement pas excédé quel-

Tableau 1. Composition chimique (éléments majeurs) des téphras T4 et T5 de La Godivelle, et de laves et scories de volcans supputés tardiglaciaires de la Chaîne des Puys.

Les valeurs sont des moyennes obtenues sur la base des données détaillées du tableau 2 (voir annexe).

Origine des échantillons. T4 et T5: La God(ivelle), La Coust(eix), Chast(reix), Chamb(edaze). Puys tardiglaciaires (?) de la Chaîne des Puys: Vicha(tel), Tart(aret), Mey, Barne, Fihlu, N(ouvelle) Nug(ère).

	TEPHRA 4 DE LA GODIVELLE				TEPHRA 5 DE LA GODIVELLE				VOLCANS TARDIGLACIAIRES (?) DE LA CHAÎNE DES PUYs						
	LA GOD	COUST	CHAST	CHAM	LA GOD	COUST	CHAST	CHAMB	VICHA	TARTA	MEY	BARNE	COME	FIHLU	NV NUG
SiO <sub>2</sub>	55,48	54,72	55,76	54,38	53,83	52,84	53,69	52,23	51,88	47,77	51,98	49,46	52,36	49,93	56,98
TiO <sub>2</sub>	1,67	1,77	1,68	1,82	2,31	2,01	2,47	2,18	1,89	2,35	1,74	2,32	2,21	2,21	1,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,36	18,58	18,96	18,59	19,33	17,84	18,62	18,04	17,45	16,15	17,23	17,67	16,01	17,45	17,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	10,28	12,22	9,94	11,34	6,04	7,16	6,21
FeO	6,18	6,91	5,61	6,84	6,82	7,52	6,51	7,29	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4,21	6,08	0,91
MnO	0,11	0,12	0,19	0,16	0,26	0,2	0,15	0,18	0,23	0,21	0,22	0,22	0,21	0,16	n.d.
MgO	1,82	2,71	2,33	2,62	3,22	3,84	3,12	3,86	2,95	6,11	3,02	3,64	4,03	5,66	2,41
CaO	6,07	6,51	6,41	6,88	7,84	8,27	8,03	8,24	7,96	9,94	7,29	8,03	7,83	8,53	5,16
Na <sub>2</sub> O	4,46	5,25	5,54	5,27	3,66	4,52	4,58	4,91	4,69	3,51	4,59	4,32	4,16	3,83	4,68
K <sub>2</sub> O	4,86	3,45	3,55	3,45	2,74	2,95	2,83	3,06	2,51	1,82	2,54	2,19	2,61	1,61	3,06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,17	0,67	0,94	1,33	n.d.	0,75	0,23
H <sub>2</sub> O+	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,08	0	0	0	0,02	0,06	0,31
H <sub>2</sub> O-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,14	0,14	0,45	0,68	0,07	0,11	0,19
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	101,2	100,9	100,6	100,6	99,88	100,1	99,18

Tableau 2. Composition chimique (éléments majeurs) des téphras T4 et T5 de La Godivelle (A), et de laves et scories de volcans supputés tardiglaciaires de la Chaîne des Puys (B). (Voir Annexe)

	TEPHRA 4 DE LA GODIVELLE				TEPHRA 5 DE LA GODIVELLE			
	LA GODIVELLE	COUSTEIX	CHASTREIX	CHAMBEDAZE	LA GODIVELLE	COUSTEIX	CHASTREIX	CHAMBEDAZE
	N=12	N=4	N=4	N=4	N=10	N=3	N=3	N=3
SiO <sub>2</sub>	55,48±0,82	54,72±0,87	55,76±1,01	54,38±1,31	53,83±1,75	52,84±0,63	53,69±0,31	52,23±0,51
TiO <sub>2</sub>	1,67±0,19	1,77±0,12	1,68±0,15	1,82±0,11	2,30±0,14	2,01±0,07	2,47±0,14	2,18±0,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,36±0,85	18,58±0,08	18,96±0,17	18,59±0,21	19,33±1,55	17,84±0,08	18,62±0,21	18,04±0,29
FeO <sub>t</sub>	6,18±0,85	6,91±0,32	5,60±0,28	6,84±0,41	6,82±0,67	7,52±0,27	6,51±0,19	7,29±0,13
MnO	0,10±0,06	0,12±0,05	0,19±0,03	0,16±0,12	0,26±0,15	0,20±0,06	0,15±0,11	0,18±0,06
MgO	1,82±0,16	2,71±0,08	2,33±0,14	2,62±0,17	3,22±0,14	3,84±0,06	3,12±0,21	3,86±0,11
CaO	6,07±0,38	6,50±0,35	6,40±0,54	6,88±0,51	7,84±0,38	8,27±0,29	8,03±0,41	8,24±0,29
Na <sub>2</sub> O	4,46±0,55	5,25±0,19	5,54±0,13	5,27±0,27	3,66±0,27	4,52±0,10	4,58±0,11	4,91±0,15
K <sub>2</sub> O	4,86±1,93	3,45±0,06	3,55±0,04	3,45±0,14	2,74±0,13	2,95±0,08	2,83±0,09	3,06±0,09
Total réel	48,87±0,56	51,94±2,36	55,00±2,71	52,40±2,39	50,14±2,35	55,70±0,71	59,39±1,21	50,69±1,23

	PUY DE VICHATEL			T A R T A R E T						P U Y M E Y			P U Y D E B A R M E		
	ASN 36	ASN 37	ASN 38	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	SC (M)	ASN 45	ASN 46	ASN 48	CF36	PG3	PG6
SiO <sub>2</sub>	51,72	51,78	52,03	47,55	47,51	47,65	47,96	47,98	45,41	51,64	52,37	52,31	49,81	49,63	49,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,35	17,37	17,54	16,15	16,13	16,25	16,18	16,15	16,97	17,18	17,36	17,27	18,05	17,38	17,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,34	10,37	10,21	12,18	12,41	12,47	12,47	12,26	11,5	9,76	9,93	10,11	11,31	11,27	11,36
FeO	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MgO	3,07	3,11	2,83	6,18	6,32	6,51	6,31	6,04	6,37	3,01	2,94	3,02	3,66	3,66	3,61
CaO	8,08	8,09	7,84	9,91	9,82	10,21	9,83	9,96	11,59	7,17	7,34	7,41	7,98	8,14	8,08
Na <sub>2</sub> O	4,77	4,81	4,61	3,73	3,52	3,57	3,64	3,28	3,03	4,66	4,63	4,51	4,31	4,32	4,32
K <sub>2</sub> O	2,56	2,61	2,45	1,82	1,87	1,72	1,86	1,82	1,83	2,54	2,62	2,54	2,16	2,15	2,21
TiO <sub>2</sub>	1,86	1,91	1,93	2,36	2,41	2,43	2,39	2,34	3,1	1,72	1,73	1,76	2,31	231	2,32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,15	1,15	1,18	0,69	0,69	0,69	0,71	0,64	n.d.	0,95	0,94	0,92	1,31	1,35	1,35
MnO	0,24	0,24	0,22	0,19	0,21	0,19	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,23	0,22	0,22	0,21
H <sub>2</sub> O+	0	0	0,16	0	0	0	0	0	n.d.	0	0	0	0	0,08	0
H <sub>2</sub> O-	0,11	0,11	0,17	0,11	0,29	0,18	0,11	0,17	n.d.	0,78	0,2	0,11	1,17	0,14	0,18
Total	101,3	101,5	101,2	100,9	101,2	101,9	101,7	100,8	100	101,3	100,6	99,99	101,3	100,6	99,99

	P U Y D E C Ô M E				P U Y F I L H U		N O U V E L L E					N U G E R E			
	COM 1	COM 2	COM 4	COM 6	COM 9	GC20	S4/50	R4/SB	B 204c	NUG 3	NUG 1	NUG 2	B 205	B 204A	81-2
SiO <sub>2</sub>	51,61	48,41	53,01	51,31	53,11	46,61	47,25	51,51	57,21	58,41	58,31	57,71	58,91	62,51	62,45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,51	17,31	9,91	18,01	14,51	16,25	18,65	17,61	18,51	18,55	18,01	18,51	18,01	18,01	17,51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,69	8,69	12,58	4,74	7,38	7,31	7,01	10,01	5,24	3,82	2,63	3,77	4,11	3,41	2,39
FeO	4,78	2,17	1,01	4,92	3,62	6,11	6,05	n.d.	1,59	2,46	3,62	2,46	2,61	3,33	1,81
MgO	4,21	5,21	4,15	4,21	3,85	5,31	6,01	3,71	2,01	2,15	2,15	2,11	2,01	2,11	1,11
CaO	7,41	8,11	8,41	7,31	8,25	8,25	8,81	7,21	4,41	4,65	4,65	4,61	4,41	4,51	3,11
Na <sub>2</sub> O	4,51	3,85	3,71	4,21	3,81	3,81	3,85	4,01	5,01	5,16	5,01	5,11	5,11	5,11	5,35
K <sub>2</sub> O	2,71	2,41	2,51	2,65	2,51	1,75	1,45	2,41	3,31	3,11	3,15	3,15	3,61	3,71	3,71
TiO <sub>2</sub>	2,31	2,51	2,51	2,15	2,1	2,85	1,55	2,05	1,31	1,01	1,55	1,45	1,31	1,25	1,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,75	n.d.	0,25	0,22	0,18	0,21	0,21	0,22	0,22	0,21
MnO	0,21	0,19	0,17	0,22	0,21	0,21	0,11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.			
H <sub>2</sub> O+	0,03	0,21	0,83	0	0	0	0,11	0	1,13	0	0	0	0	0	0,61
H <sub>2</sub> O-	0	0	0,32	0,14	0,13	0,21	0	0,31	0,64	0,05	0,03	0,08	0,09	0,04	0,08
Total	99,91	99,01	99,06	99,82	99,84	99,35	100,8	99,01	100,5	99,51	99,29	99,72	99,12	100,5	99,35

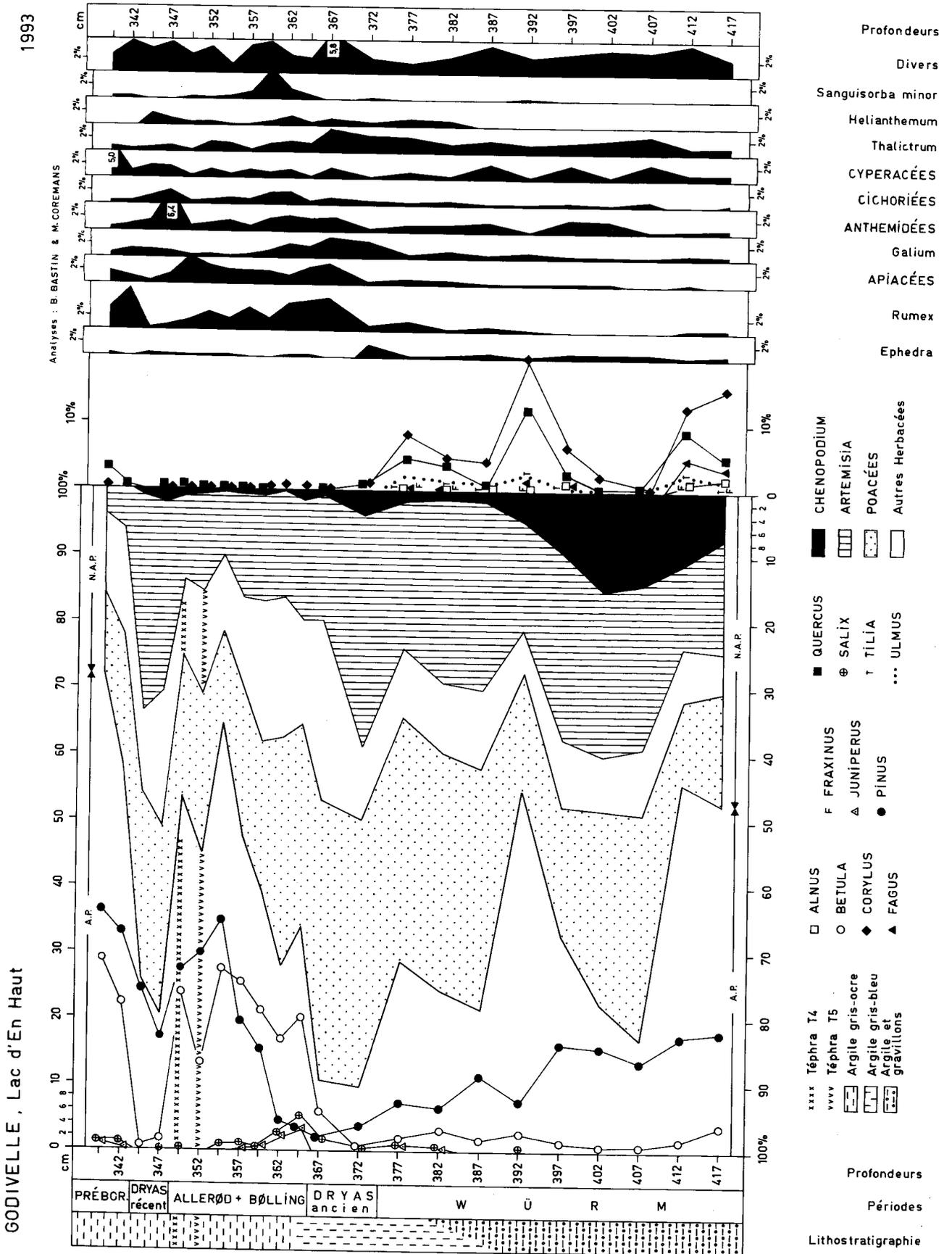
ques mois, et l'on ne saurait attribuer au même volcan deux téphras (T4 et T5) espacées d'environ 400 ans.

L'âge supposé du percement du maar ("narse") d'Ambois est sensiblement l'âge attribué à T5 (10.700 a BP). Le diamètre (600 m) du maar ("narse") d'Espinasse laisse penser que l'éruption de la fissure Ambois- Enfer- Espinasse pourrait être responsable d'une retombée à large dispersion. Bien que nous ne disposions pas d'analyses des matériaux du puy de l'Enfer, il nous paraît *a priori* peu probable qu'ils soient plus différenciés qu'un basalte ou un trachybasalte. Il serait toutefois prématuré

d'écarter définitivement la possibilité d'attribuer T5 à cette éruption.

Trois édifices ont émis des produits de composition très proche de T5 (Fig. 2) : les puys de Côme, Vichatel et Mey. Leurs âges respectifs sont mal cernés: plus de 7900 ans pour Vichatel; de 9700 à 18.000 ans pour Mey; de 7600 à 15.900 ans pour Côme. La présence dans T5 d'un tiers de xénolithes d'origine granitique implique une éruption comportant une phase phréatomagmatique, par ailleurs nécessaire à la genèse d'un panache atmosphérique capable de disperser les produits sur au moins 35 à 45 km. Une telle phase n'est pas connue au





puy Mey, mais par contre probable au puy de Côme (dont le double cratère concentrique implique un accès explosif momentané), et incontestable au puy de Vichatel [dont le croissant pyroclastique correspondant a été largement recoupé lors de travaux d'élargissement de la RN 89 (Goër *et al.*, 1991)]. Côme, et surtout Vichatel, peuvent donc être présentés comme les auteurs les plus probables de la téphra T5. Toutefois l'incertitude concernant leur âge ne permet pas d'aller au-delà dans cette tentative de rapprochement.

#### 5.4. SYNTHÈSE

La recherche des volcans de la Chaîne des Puys à l'origine des téphras T4 et T5, dispersées vers le Sud durant l'Allerød et bien conservées dans les tourbières du Cézalier et de l'Artense, ne saurait être dissociée de celle de l'origine d'autres téphras dispersées vers l'Est à la même époque sur la Limagne et les monts du Forez. Dans une synthèse récente, Juvigné *et al.* (1992) ont proposé d'attribuer à la même éruption, en les regroupant sous l'appellation unique "téphra de Ravel", des retombées trachyandésibasaltiques enregistrées autour de 11.400 a BP à Ravel, Gerzat, La Moutade et Dallet dans le fossé de Limagne, et au Gour de Aillières dans le Haut Forez.

Dans tous les travaux antérieurs, les auteurs ont tenté un rapprochement aléatoire de ces diverses téphras avec le seul puy de La Nugère, ignorant la possibilité d'autres volcans d'âge comparable. Ces tentatives devaient nécessairement se heurter à une double objection:

- a) d'une part, elles prenaient en compte la "phase basique" de la Nouvelle Nugère sans considération de la composante trachytique simultanée;
- b) d'autre part, elles conduisaient à faire de la Nouvelle Nugère un volcan polygénique dont les éruptions se seraient étalées sur 1000 ans, ce qui est contraire au contexte volcanologique de la Chaîne des Puys.

La présente discussion permet d'envisager le problème de façon différente. Nous serions en présence, au cours de l'Allerød, de trois téphras à large dispersion :

- a) T4 (Cézalier, Artense), à composition de trachyandésite et datant d'environ 10.300 a BP,
- b) T5 (Cézalier, Artense), à composition de trachyandésite basaltique et datant d'environ 10.700 a BP,
- c) Téphra de Ravel (Limagne, Forez), à composition de trachyandésite basaltique et datant d'environ 11.400 a BP.

Ces trois âges nettement différents imposent de rechercher les origines respectives dans trois éruptions distinctes, donc trois volcans différents.

T4, la plus différenciée des deux téphras, est la seule dont le rapprochement avec la Nouvelle Nugère s'impose, avec toutefois deux restrictions, concernant d'une part la composition des amphiboles volcaniques de T4, d'autre part l'absence de hornblende verte parmi les xénoclastes empruntés au socle. C'est probablement aussi à T4 que l'on doit rapporter la téphra 6 de la narse d'Amboix (Juvigné et Gewalt, 1987). Cette interprétation placerait l'éruption de la Nouvelle Nugère autour de 10.300 a BP, soit 11.500 a cal BP. Cette dernière valeur demeure compatible avec l'âge TL/plagioclases de  $10,9 \pm 1,2$  ka obtenu par Guérin sur la lave de Volvic.

Les origines respectives des téphras moins différenciées, T5 et Ravel, doivent être recherchées parmi les trois édifices, de composition chimiquement très proche: puy Mey, puy de Côme et puy de Vichatel, sans qu'il nous soit possible, en l'état d'imprécision des données chronologiques disponibles, de nous prononcer en faveur de l'un ou de l'autre. Toutefois, l'importance du contingent xénolithique de T5 nous pousserait à attribuer préférentiellement cette téphra au puy de Vichatel. Quoi qu'il en soit, l'émission de T5 n'étant pas enregistrée dans la narse d'Amboix, située sur la trajectoire et d'âge estimé comparable, on peut supposer que l'éruption du volcan responsable de T5 a dû précéder de très peu celle de la fissure Amboix- Enfer-Espinasse, elle-même de peu antérieure à 10.700 a BP, soit environ 12.000 a cal BP).

**Remarque.** Des travaux en cours (Juvigné et Bastin, en prép.) nous ont permis de déceler une nouvelle téphra d'âge Allerød et de composition trachyandésibasaltique, déportée vers le Nord. Elle a été trouvée, enfouie de 875 cm (T875) dans des sondages effectués au fond du Gour de Tazenat, et elle a été datée à  $10.280 \pm 140$  a BP. Cet âge est celui que nous attribuons à la Nouvelle Nugère (T4); sa composition est celle de la "phase basique" initiale de la Nugère, mais, en l'absence de xénolithes et d'une composante acide associée, l'attribution à La Nugère est exclue. C'est donc entre les trois édifices de Mey, Vichatel et Côme que doivent se répartir les trois téphras T875 de Tazenat, T5 de La Godivelle, et Téphra de Ravel, respectivement datées à environ 10.300, 10.700, et 11.400 a BP.

#### 6. PALYNOLOGIE

##### a) La Godivelle-Nord (Fig. 4)

La carotte étudiée a été prélevée à la sonde russe par l'un d'entre nous (E.J.) en avril 1989. Il s'agit de l'endroit où ont été découvertes les téphras T4 et T5 (Juvigné, 1987). Reille *et al.* (1985) ont publié

un diagramme pollinique du lieu-dit Coualle Basse qui est la partie septentrionale de la même tourbière.

La partie supérieure du diagramme pollinique, de 350 à 490 cm, a précédemment été publiée dans une forme simplifiée, sous l'appellation "Godivelle-Nord" (Bastin *et al.*, 1990). Il y était pour la première fois démontré que d'une part les téphras T4 et T5 sont retombées pendant l'Allerød, et que d'autre part ces téphras sont encadrées par un net fléchissement de la courbe de *Betula* accompagné d'une légère recrudescence de la courbe d'*Artemisia*. La courbe d'*Isoetes* publiée ici montre un parallélisme frappant avec celle de *Betula*, confirmant l'existence d'une faible récurrence steppique au milieu de l'Allerød, également attestée par la réapparition de *Ephedra* (1%) à 390 et 380 cm.

La partie inférieure du diagramme pollinique, de 565 à 505 cm, reflète une phase particulièrement steppique caractérisée par de forts pourcentages d'*Artemisia* (23%), de *Chenopodium* (10%) et de *Thalictrum* (3%), et la présence en courbe continue d'*Ephedra distachya* (en moyenne 3%, et jusqu'à 5%). De tels pourcentages d'*Ephedra* témoignent d'importants peuplements à moins de 100 m du site, comme le montrent les études de la dispersion du pollen de *Ephedra distachya* subsp. *helvetica* dans la célèbre station valaisanne du Montorge (Welten, 1957; Bastin et Mullenders, en préparation). Le caractère steppique de la végétation est également attesté par l'absence des *Renonculacées* de type *Batrachium*, alors que sont cependant enregistrés des pourcentages assez élevés des *Cypéracées* (6% en moyenne).

#### b) La Godivelle, lac d'En-Haut (Fig. 5)

La carotte a été prélevée en juillet 1990 par l'un d'entre nous (E. J.) au moyen d'un carottier de type Smith de 4 m de longueur. La profondeur de l'eau à l'endroit du sondage était de 20,5 m. La présence des téphras T4 et T5 dans les sédiments lacustres du Lac d'En Haut a été signalée antérieurement (Juvigné, 1992). Ce diagramme pollinique peut-être subdivisé en deux parties.

La partie inférieure est caractérisée par la présence de 13% de *Corylus* et *Quercus* qu'accompagnent cinq autres taxons mésophiles, alors que dans la partie supérieure, *Corylus* et *Quercus* n'atteignent plus ensemble que 1%.

a) De 417 à 377 cm, les spectres polliniques apparaissent assez hétéroclites, les taxons steppiques tels que *Artemisia* (22,5%) et *Chenopodium* (7%) côtoyant des taxons forestiers mésophiles: *Corylus* (8,5%), *Quercus* (4,5%), *Ulmus* (1,5%), *Fagus* (1,5%), *Tilia* (1%), *Alnus* et *Fraxinus* (moins de 1%). Jusque vers 382 cm, le sédiment est une ar-

gile mêlée de gravillons qui témoignent d'une remobilisation de matériau morainique, ce qui peut expliquer la reprise de pollens forestiers mésophiles. Il faut cependant remarquer la très forte régression de ces taxons à 407 cm, et ne pas exclure qu'aient été enregistrées deux améliorations climatiques, respectivement de 417 à 412 cm et de 402 à 377 cm.

b) De 372 à 367 cm, l'extension des *Poacées* (41,5%), de *Artemisia* (27%), de *Chenopodium* (2%) et de *Ephedra* (1%) signale le Dryas ancien.

c) De 364,5 à 349,5 cm est enregistrée l'extension de *Juniperus* (1%), de *Betula* (21%) puis de *Pinus* (19,5%) qui signale l'ensemble Bølling + Allerød, sans que soit enregistré le Dryas moyen, sauf peut-être par une nette extension de *Sanguisorba minor* (4,5%) à 359,5 cm. Les téphras T4 et T5 sont classiquement situées dans l'Allerød, dont la tripartition est ici mal perceptible.

c) De 347 à 344,5 cm, le Dryas récent se marque clairement par l'extension de *Artemisia* (30,5%), des *Poacées* (28,5%) et des *Anthémidées* (4%).

d) De 342 à 339,5 cm, le début du Préboréal voit la réextension de *Betula* (25,5%), de *Juniperus* (0,5%) et de *Quercus* (2%) et l'effondrement des taux de *Artemisia* à moins de 5%.

## 7. CONCLUSION

Les téphras T4 et T5 sont des marqueurs stratigraphiques de l'Allerød dans une vaste région qui comprend au moins l'Artense et le Cézalier. La zone de dispersion devrait remonter au moins jusque dans la partie méridionale de la Chaîne des Puys en ce qui concerne T5, et dans sa partie septentrionale en ce qui concerne T4.

## 8. REMERCIEMENTS

Nous remercions J. Wautier qui a réalisé les analyses chimiques par microsonde au 'Centre d'Analyse par Microsonde des Sciences de la Terre' à l'Université de Louvain, Belgique.

## 9. BIBLIOGRAPHIE

- AURIAT, S., 1957. Etudes de sondages et captages dans quelques coulées de la Chaîne des Puys (Balmet, Côte, Louchadière, Aydat, Tiretaine). *Rev. Sci. nat. Auv.*, 23: 97-142.
- BASTIN, B., GEWELT, M. & JUVIGNE, E., 1990. A propos de l'âge et de l'origine des téphras tardiglaciaires T4 et T5 de Godivelle-Nord (Massif Central, France). *Ann. Soc. géol. Belg.*, 113: 165-178.
- 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, 322 p.
- CAMUS, G., 1994. Les appareils monogéniques et leurs regroupements: exemple de la Chaîne des Puys (Massif Central français). In Bourdier, Le Volcanisme. BRGM, Orléans, coll. Manuels et Méthodes, 25: 171-181.

- CAMUS, G. & GOER de HERVE, A. de, 1995. La Chaîne des Puys. In : Goër de Herve: Volcanisme et Volcans d'Auvergne. *La Dépêche scientifique du Parc*, éd. PNRVA, 8-9: 21-24.
- CAMUS, G. & ROCHE, J., 1974. Etude volcanologique du Puy de La Nugère. *Rev. d'Auvergne*, 88/3: 193-202.
- ETLICHER, B., JANSSEN, C.R., JUVIGNE, E. & VAN LEEUWEN, J.F.N., 1987. Le Haut Forez (Massif Central français) après le Pléniglaciaire würmien: environnement et Téphra du volcan de La Nugère. *Bull. Ass. fr. Et. Quat.*, 32: 229-239.
- FOURY, P., 1983. Etude pétrologique et expérimentale (à une atmosphère) d'une série alcaline continentale : la série de la Chaîne des Puys (MCF). Thèse 3<sup>e</sup> cycle, pétrologie, Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand II), 150 p. + annexes.
- GOER de HERVE, A. de, CAMUS, G., BOIVIN, P., GOURGAUD, A., KIEFFER, G., MERGOIL, J. & VINCENT, P.-M., 1991. Volcanologie de la Chaîne des Puys, 3<sup>e</sup> éd. Parc naturel régional des volcans d'Auvergne, 1 carte à 1/25.000 et une notice, 128 p.
- GOURGAUD, A. & CAMUS, G., 1984. Magma mixing at La Nugère volcano (Chaîne des Puys, Massif Central, France): role in the trachyandesites genesis. *Bull. Volcanol.*, 47/4: 781-805.
- GUENET, P., 1993. Analyses pollenanalytiques en Artense et sur le plateau de Millevaches (Massif Central, France). *Palynosciences*, 2: 79-107.
- GUERIN, G., 1983. La thermoluminescence des plagioclases, méthode de datation du volcanisme. Applications au domaine volcanique français : Chaîne des Puys, Mont-Dore et Cézalier, Bas-Vivarais. Thèse état, Université P. et M. Curie (Paris 6), 253 p.
- JUVIGNE, E., 1983. Retombées volcaniques dans des tourbières des Monts Dore et du Cézalier (France). *Ann. Soc. géol. Belg.*, 106: 327-329.
- JUVIGNE, E., 1987. Deux retombées volcaniques tardiglaciaires dans le Cézalier (Massif Central, France). *Bull. Ass. fr. Et. Quat.*, 32: 241-249.
- JUVIGNE, E., 1987. Un marqueur stratigraphique à large dispersion dans le Massif Central français: la retombée du volcan Chopine vieille d'environ 8500 ans. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 304, Série II: 187-190.
- JUVIGNE, E., 1992. Approche de l'âge de deux cratères volcaniques lacustres d'Auvergne (France). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 314, Série II: 401-404.
- 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. & BASTIN, B., 1994. Téphrostratigraphie et palynologie de tourbe du Boréal et de l'Atlantique dans le Massif Central (France). *Géographie Physique et Quaternaire*, sous presse.
- JUVIGNE, E., BASTIN, B., DELIBRIAS, G., EVIN, J., GEWELT, M., GILOT, E. & STREEL, M., 1995. A palyno-, tephro-, chronostratigraphic model for the Late Glacial and the Holocene in the French Massif Central. *Quaternary International*, sous presse.
- JUVIGNE, E. & GEWELT, M., 1987. La Narse d'Ampoix comme téphrostratotype dans la Chaîne des Puys méridionale (France). *Bull. Ass. fr. Et. Quat.*, 29: 37-49.
- JUVIGNE, E., KROONENBERG, S., VELDKAMP, A., ELARABI, A. & VERNET, G., 1992. Widespread Allerød and Boreal trachyandesitic to trachytic tephra layers as stratigraphical markers in the Massif Central, France. *Quaternaire*, 3 (3-4), 137-146.
- LEAKE, B., 1978. Nomenclature of amphiboles. *The Canadian Mineralogist*, 16: 501-520.
- LE BAS, M.J., LE MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrology*, 27: 745-750.
- MACAIRE, J.J., CORCITA, C., DE LUCA, P., GAY, E. & GOER de HERVE, A., de, 1992. Origines, âges et évolution des systèmes lacustres tardi- et postglaciaires dans le bassin du lac Chambon (Puy de Dôme, France). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 315, Série II: 1119-1125.
- MORIMOTO, N., 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Bull. Minéral.*, 111: 535-550.
- STUIVER, M., LONG, A. & KRA, R.F. (eds), 1993. Calibration. *Radiocarbon*, 35/1, 244 p.
- VERGNE, V., 1989. L'évolution tardiglaciaire et holocène d'un piedmont de moyenne montagne cristalline: l'Artense (Massif Central, France). Thèse, Université de Paris I, Géographie, 347 p.
- WELTEN, M., 1957. Über das glaziale and spätglaziale Vorkommen von Ephedra am nordwestlichen Alpenrand. *Ber. Schweizer. Botan. Gesell.*, 67: 33-54.

Manuscrit déposé le 01/12/94; accepté le 06/03/95.

## 10. ANNEXE

**Tableau 2.** Composition chimique (éléments majeurs) des téphras T4 et T5 de La Godivelle (A), et de laves et scories de volcans supputés tardiglaciaires de la Chaîne des Puys (B).

A. T4 et T5 dans quatre localités. Mode opératoire: 1) prélèvement de 0,05 g de scories à l'aiguille à l'aide d'une loupe binoculaire; 2) lavage avec HCl puis H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et nettoyage aux ultrasons; 3) séchage; 4) broyage; 5) calcination; 6) mélange avec le même poids de fondant; 7) fusion; 8) montage du verre et analyse par microsonde calibrée à 20 nA, 15 kV, et 10 secondes. N, nombre d'analyses. Les parts des éléments majeurs ont été normalisées à 100%.

B. Scories et laves de volcans de la Chaîne des Puys  
*Puy de Vichatel*

Analyses nouvelles F. Cantagrel, I.C.P. Clermont, 1994:

ASN 36, coulée Vichatel, sous le col de la Ventouse,

ASN 37, coulée au pied nord du puy de Vichatel,

ASN 38, bombe au sommet du puy de Vichatel.

*Puy de Tartaret*

Analyses nouvelles F. Cantagrel, I.C.P. Clermont, 1994:

CP1, coulée du Tartaret, tranchée du CD 996 entre Montaigut-le-Blanc et Champeix,

CP2, coulée du Tartaret, tranchée du CD 996 au Saillant,

CP3, coulée du Tartaret dans Murol,

CP4, scories du 'Nouveau Tartaret', phase stromboliennne 4,

CP5, scories de 'l'Ancien Tartaret', phase stromboliennne 2,

SC (M), scories du 'Nouveau Tartaret' à la sortie de Murol vers Clermont; analyse par microsonde (cf T4 et T5).

*Puy Mey*

Analyses nouvelles F. Cantagrel, I.C.P. Clermont, 1994:

ASN 45, front de la coulée de Mey, Fontfreyde,

ASN 46, bombe du puy Mey,

ASN 48, bord nord de la coulée de Mey (les Palles Hautes).

*Puy de Barme*

Analyses nouvelles F. Cantagrel, I.C.P. Clermont, 1994:

CF 36, scories de la carrière du puy de Barme,

PG 3, coulée de Barme, CD 941 près les Bramauds,

PG6, front de la coulée de Barme, source de Nabat,

*Puy de Côme*

Com 1 à Com 9, scories et grande cheyre (Foury, 1983).

*Puy Filhu*

GC 20, Cheyre de Mazayes, anal. F. Cantagrel, Camus (1975).

S4 (50), Cheyre de Mazayes, anal. D. Chatonier, Auriat (1957).

*Nouvelle Nugère*

D'après Gourgaud et Camus (1984):

R4 (SB), pôle basique de la phase initiale bi-magmatique,

B 204c, Nug 3, Nug 1, Nug 2, B 205, B 204a: phase finale après homogénéisation,

81-2, pôle acide de la phase initiale bi-magmatique.