



HAL
open science

Les dépôts pyroclastiques distaux : caractérisation, établissement de téphrostratigraphies de référence, taphonomie et relations homme/volcan

Gérard Vernet

► **To cite this version:**

Gérard Vernet. Les dépôts pyroclastiques distaux : caractérisation, établissement de téphrostratigraphies de référence, taphonomie et relations homme/volcan. Volcanologie. Université Blaise Pascal, 2011. tel-04058916

HAL Id: tel-04058916

<https://inrap.hal.science/tel-04058916>

Submitted on 6 Jun 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



LES DÉPÔTS PYROCLASTIQUES DISTAUX : CARACTÉRISATION, ÉTABLISSEMENT DE TÉPHROSTRATIGRAPHIES DE RÉFÉRENCE, TAPHONOMIE ET RELATIONS HOMME/VOLCAN

Habilitation à Diriger des Recherches
Gérard VERNET
Mars 2011

TOME I

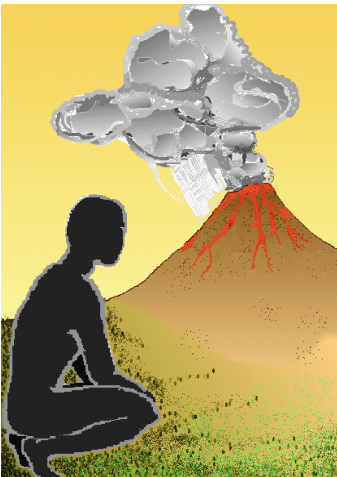


Soutenu le 9 septembre 2011 devant un jury composé de :

- Alain Gourgaud, Professeur Émérite, Université Blaise Pascal, Laboratoire Magmas et Volcans (LMV), UMR 6524 CNRS (responsable tutélaire)
- Marie-Hélène Moncel, Directeur de recherche au CNRS, UMR 7194 et MNHN, Paris (rapporteuse)
- Pierre Boivin, Chargé de Recherche CNRS, Laboratoire Magmas et Volcans (LMV), UMR 6524 CNRS-UBP (rapporteur)
- Jean-Louis Bourdier, Professeur, OSUC, ISTO et UMR 6113 CNRS/Université d'Orléans (rapporteur)
- Marie-Françoise André, Professeur de géographie, GEOLAB-UMR 6042 CNRS-MSH-UBP
- Claude Albore-Livadie, Directeur de Recherche au CNRS, Centre Jean Bérard, Naples
- Jean-Paul Raynal, Directeur de Recherche au CNRS, Université de Bordeaux 1, PACEA/UMR 5199

Celui qui se perd dans sa passion perd moins
que celui qui perd sa passion.

Saint Augustin



Les dépôts pyroclastiques distaux : caractérisation, établissement de téphrostratigraphies de référence, taphonomie et relations Homme/Volcan.

TOME I

Table des Matières

Liste des Figures

Introduction

Résumé des travaux

Curriculum Vitae

Liste des Publications

Les dépôts pyroclastiques distaux : caractérisation, établissement de téphrostratigraphies de référence, taphonomie et relations Homme/Volcan

1- Méthodologie d'étude

1.1 - Les différentes méthodes d'analyse utilisées pour la caractérisation des produits pyroclastiques distaux

- 1.1.1 - Etude stratigraphique, structures sédimentaires et lithologie
- 1.1.2 - Etude granulométrique
- 1.1.3 - Morphoscopie des pyroclastes
- 1.1.4 - Géochimie
- 1.1.5 - Minéralogique
- 1.1.6 - Essai de datation

1.2 - Développement de l'étude en lame mince de grand format : microfaciologie des dépôts pyroclastiques

1.3 - Références

2 - Le Massif Central français

2.1 - Les téphras piégés dans le remplissage lacustre du maar de Soleihac

2.1.1 - Les téphras basaltiques, marqueurs du volcanisme local

- 2.1.1.1 - Le niveau 34, sondage S1
- 2.1.1.2 - Le niveau 44, sondage S1
- 2.1.1.3 - Le niveau 59, sondage S1
- 2.1.1.4 - Le niveau 37 du sondage S2
- 2.1.1.5 - Le niveau 33c du sondage S2
- 2.1.1.6 - Synthèse sur les téphras basaltiques

2.1.2 - Un téphra acide, marqueur du volcanisme des Monts Dorés

2.1.3 - Faciès de tuff-ring

2.1.4 - Références

2.2 - Les dépôts de maar (tuff-ring)

2.2.1 - Découverte d'un nouveau maar dans l'agglomération clermontoise : le maar de la Gantière

- 2.2.1.1 - Introduction
- 2.2.1.2 - La stratigraphie
- 2.2.1.3 - Caractéristiques macroscopiques de l'ensemble 3
- 2.2.1.4 - Observations microscopiques d'un niveau de l'ensemble 3
- 2.2.1.5 - Datation par thermoluminescence (TL) et par résonance paramagnétique électronique (RPE)
- 2.2.1.6 - Conclusion

2.2.2 - Observations du tuff-ring du maar de d'Anchald (Petite Chaîne des Puys)

2.2.3 - Références

2.3 - Eruptions phréatomagmatiques violentes

2.3.1 - Les dépôts de la rue de Medicis à Clermont-Ferrand : témoins de souffles éruptifs violents

2.3.1.1 : La stratigraphie du sondage S2

2.3.1.2 – Datation des téphras

2.3.1.3 – Caractérisation des téphras de l'ensemble 3

2.3.2 - Un niveau de « blast » à la base de CF3

2.3.2.1 - Microfaciès des différents niveaux de CF3

2.3.2.2 - Nouvelles données géochimiques pour CF3

2.3.2.3 - Nouvelles données minéralogiques pour CF3

2.3.3 - Le téphra CF4, une éruption phréatomagmatique

2.4 - Les téphras liés à l'éruption du puy de La Nugère

2.4.1 – Le puy de la Nugère et son histoire éruptive

2.4.1.1 – Localisation et importance de l'édifice

2.4.1.2 – Historique des recherches et proposition d'une histoire éruptive

- Historique des recherches

- L'évolution du système volcanique du Puy de la Nugère

2.4.2 – Les produits distaux attribués au puy de la Nugère

2.4.2.1 – Le Téphra de la Nugère

2.4.2.2 – Le Téphra T4 de la Godivelle

2.4.2.3 – Le téphra T875 du Gour de Tazenat

2.4.2.4 – La retombée de Cellule

2.4.2.5 – La retombée de la Moutade

2.4.2.6 – Le complexe téphrique CF1a/CF1b

2.4.2.7 – La retombée supérieure de Gimeaux

2.4.3 – Synthèse sur les produits distaux du Puy de La Nugère

2.4.3.1 - Origine de la retombée de Cellule

2.4.3.2 - Corrélations entre téphras

2.4.3.3 - Corrélations entre les phases éruptives et les recouvrements téphriques distaux

2.4.4 - Conclusion

2.4.5 - Références

2.5 - les téphras distaux de la Chaîne des Puys, nouvelles données

2.5.1 - Nouveaux téphras : formation de Marsat, CF7, téphra de Sarliève, téphra Y et téphra Z

2.5.1.1 - La Formation de Marsat

2.5.1.2 - Le téphra CF7 (ou téphra de la Rodde)

- Caractéristiques des fragments laviques de CF7
- Les différents faciès de CF7

2.5.1.3 - Le Téphra Y

- La position du Téphra Y dans la « séquence de Nohanent »
- Macrofaciès du Téphra Y
- Microfaciès du Téphra Y

2.5.1.4 - Le Téphra de Sarliève

2.5.1.5 - Le Téphra Z

2.5.1.6 - Références

2.5.2 - Nouvelles données sur le téphra CF4

2.5.2.1 - Position de CF4 dans la séquence téphrique

2.5.2.2 - Macrofaciès de CF4

2.5.2.3 - Morphologie des éléments laviques

2.5.2.4 - La composition chimique de CF4

2.5.2.5 - Les cortèges minéralogiques de CF4

2.5.2.6 - Conclusion

2.6 - La téphrochronologie de la Chaîne des Puys

2.6.1 - La téphrochronologie, synthèse et présentation des téphras

2.6.2 - Réflexion sur les données de chronologie absolue obtenues sur les téphras de la fin du Tardiglaciaire et du début de l'Holocène

2.6.3 - Références

2.7 - Taphonomie des téphras

2.7.1 - Ruissellement sur les versants, concentration par le vent, déformations par le gel, reprise par alluvionnement

2.7.2 - Séismes, failles et chevauchements

2.7.3 - Références

2.8 - Relations avec l'occupation humaine et impact sur les paléoenvironnements

2.8.1 - Modifications du paysage

2.8.2 - L'impact des retombées distales de la Chaîne des Puys

2.8.3 - Références

2.9 - Application de l'étude en lame mince de grand format aux produits pyroclastiques : recherche de microfaciès dans les produits du Pavin

2.9.1 - L'historique de la mise en évidence de microfaciès par l'étude en lame mince de grand format

2.9.2 - Les produits du Pavin

2.9.3 - Références

TOME II

3 - L'Italie du Sud

3.1 - Les produits pyroclastiques distaux du Monte Vulture dans les dépôts du Pléistocène moyen de Venosa (Basilicate, Italie)

3.1.1 - Cadre de l'étude

- Le bassin de Venosa
- Le Monte Vulture

3.1.2 - Objectifs et méthodes d'étude

3.1.3 - Les écoulements concentrés de type lahars

3.1.4 - Les retombées pliniennes ponceuses

- Piani di Forno
- Grotte di Porcinella
- Vallone del Reale

3.1.5 - Déferlantes à lapilli accréionnés et tufs vésiculés

- Grotte di Porcinella
- Fontana dei Lazzari

3.1.6 - Les coulées pyroclastiques

3.1.7 - Les retombées à large dispersion

3.1.8 - Le Téphra de Notarchirico

- L'unité 2.1
- L'unité 2.2
- L'unité 2.3
- L'unité 2.4
-

3.1.9 - Conclusion

3.1.10 - Références

3.2 - Une éruption cataclysmique : l'ignimbrite campanienne

3.2.1 - Introduction

3.2.2 - Localisation et description des affleurements

- Cala Bianca
- Grotta Grande di Scario
- Porto infreschi

3.2.3 - Faciologie

- Macrofaciès
- Microfaciès
-

3.2.4 - Composition chimique

3.2.5 - Discussion

3.2.6 - Conclusion

3.2.7 - Références

3.3 - Une éruption protohistorique du Vésuve : l'éruption dite « des ponces d'Avellino »

3.3.1 - Le téphra d'Ariano Irpino, un aspect distal de l'éruption plinienne des ponces d'Avellino

- Introduction
- Méthodologie
- Observations de terrains
- Analyses : observations en lames minces, granulométrie, géochimie
- Conclusion
- Références

3.3.2 - Les produits de l'éruption d'Avellino sur le site de Croce del Papa (Nola, Campanie)

- introduction
- Stratigraphie des produits de l'éruption d'Avellino sur le site de Croce del Papa
- Observations en lames minces et microfaciologie
- Interprétation : corrélation avec les différentes phases de l'éruption, implications sur la destruction et la conservation du village du Bronze ancien

- Références

4 - La Martinique

4.1 - Une téphrostratigraphie en milieu archéologique à la Martinique

4.1.1 - La Montagne Pelée : Contexte géodynamique, évolution et dynamismes éruptifs récents

- Situation géodynamique
- La Martinique et l'évolution de La Pelée
- Les dynamiques des éruptions historiques (périodes amérindiennes à actuelle)
- * Les explosions phréatiques et phréatomagmatiques
- * Les éruptions pliniennes
- * Les éruptions à construction de dômes («peléennes»)

4.1.2 - Un volcan (La Montagne Pelée et une occupation humaine insulaire

- site de Vivé
- Fond-Brulé
- Le site de Moulin l'Etang
- Le site de l'habitation Perinelle à Saint-Pierre
- La future Sous-préfecture à Saint-Pierre
- Proposition d'une téphrostratigraphie des sites amérindiens du nord de la Martinique

4.1.3 - Conclusions et perspectives

4.1.4 - Références

5 - Conclusions et Perspectives Générales

TOME III

Articles sélectionnés

Liste des Figures

TOME 1 :

Figure 1 : Caractéristiques des dépôts pyroclastiques (d'après Walker, 1981 ; Cas et Wright, 1987 ; Lajoie et Stix, 1992 ; Tremblay, 1997).

Figure 2 : Méthodologie appliquée à l'étude des recouvrements téphriques distaux.

Figure 3 : Classification granulométrique des pyroclastes (Fischer, 1961).

Figure 4 : Diagramme $\sigma \varnothing / Md \varnothing$ permettant de distinguer le mode de dépôt d'une formation pyroclastique : dépôt de déferlante, de coulée et de retombée.

Figure 5 : Exemples de minéraux en grains (clinopyroxène brun, zircon, sphène et clinopyroxène vert aciculaire de type augite).

Figure 6 : Exemples des phases de réalisation des lames minces de grand format. 1 : découpe du bloc dans les sédiments (Clit-Fd, Les Gravanches) ; 2 : pose des bandes plâtrées (idem) ; 3 : découpe du bloc induré par la résine (St Pierre, Martinique) ; 4 : réalisation de la lame 6X12 (Gricignano, Italie).

Figure 7 : Lame mince de grand format du téphra 59/S1 dans les sédiments lacustres du paléo-lac de maar de Soleilhac (43).

Figure 8 : Microstratigraphie du téphra 49/S1 (maar de Soleilhac, 43).

Figure 9 : Phénocristaux de feldspath et d'amphibole (téphra 49/S1, Soleilhac).

Figure 10 : Microcristaux d'amphibole dans une ponce fibreuse (téphra 49/S1, Soleilhac).

Figure 11 : Echardes de types corps en Y et en X (Soleilhac, téphra 49/S1).

Figure 12 : Macrofaciès du tuff-ring du maar de La Gantière (Clermont-Ferrand, 63). Dépôts rythmés caractéristiques d'éruptions phréatomagmatiques. Au centre, un fragment arrondi de marne oligocène (substrat dans lequel s'ouvre le cratère) présentant un cortex craquelé révélant une chauffe de ce bloc lors de l'éruption.

Figure 13 : Microfaciès d'un niveau grossier (surmonté d'un niveau fin millimétrique) des dépôts du maar de la Gantière (Clermont-Ferrand, 63). On note la présence de deux types de fragments de lave juvénile (fragments compacts de verre noir trempé et fragments vésiculés de verre beige clair), de nombreux xénoclastes (jusqu'à 50 % dans certains horizons) et des minéraux libres en éclats.

Figure 14 : La dépression du maar d'Anchald (pointillés rouges) et la zone d'observation des produits pyroclastiques (étoile verte).

Figure 15 : Macrofaciès des dépôts du maar d'Anchald (Petite Chaîne des Puys, 63) suivant une coupe perpendiculaire au bord du cratère : dépôts fins (épaisseur = 1,50 m) à litages réguliers constitués d'une bouillie de matériaux issus du substratum granito-gneissique pauvre en pyroclastes de magma juvénile. Un bloc fiché de gneiss déforme les dépôts. Un paléosol argileux organique de couleur noire est présent sous les dépôts pyroclastiques (contact souligné par un liseré d'oxydation).

Figure 16 : Séquence téphro-sédimentaire de la rue du Médicis (Clermont-Ferrand, 63).

Figure 17 : Lame mince de T9 de l'ensemble 3 (rue de Médicis, Clermont-ferrand). Ces dépôts sont finement laminés (épaisseur moyenne des lamines = 0,5 mm).

Figure 18 : Détail de T9 (ensemble 3, rue de Médicis, Clt-Fd) montrant le microfaciès du dépôt : superposition de lits constitués de trois parties, à la base une passée claire à clastes sans matrice (P 1), une partie centrale beige (P 2) constituée d'une matrice fine vacuolaire emballant de nombreux clastes et une partie sommitale sombre (P 3) constituée de matrice fine compacte emballant de rares clastes de taille réduite. Microfaciès MLD.

Figure 19 : Pyroclastes vésiculés constitués de verre brun translucide contenant des microlites de plagioclase et d'olivine provenant de T9/T10 (ensemble 3, rue de Médicis, Clermont-Ferrand). Une pellicule de verre plus sombre (trempé) est à noter sur les trois exemples. Le pyroclaste (3) se présente sous la forme d'une sphérule (ou bille) ($\varnothing = 320 \mu\text{m}$) vitreuse à croûte trempée lisse.

Figure 20 : Pyroclastes de verre opaque noir à vésiculation quasi nulle et contenant des microlites de plagioclase et d'olivine ainsi que des phénocristaux de clinopyroxène vert (T9/T10, ensemble 3, rue de Médicis, Clermont-Ferrand).

Figure 21 : Base de CF3 (site de Cébazat-Parc-logistique) reposant sur CF1b. On distingue une lamine limoneuse beige rougeâtre (CF3, 1), puis une lamine riche en xénoclastes du socle et scories noires trempées (CF3, 2) et enfin le niveau principal (CF3, 3) constitué de grosses scories vésiculées noires bleutées (taille des trois plus grosses = 3 cm).

Figure 22 : Morphologie des pyroclastes (scories) du niveau principal CF3 (3) (Nohanent-lotissement, 63).

Figure 23 : Base du téphra CF3 montrant l'évolution de l'éruption depuis une phase explosive initiale (niveaux 1a et 1b), puis une phase phréatomagmatique et magmatique (niveau 2) et enfin une phase magmatique sub-plinienne.

Figure 23 bis : Le téphra CF3 reposant sur CF1a/CF1b et présentant à sa base les deux lamines caractéristiques, CF3-1a et CF3-1b (site du puy de Couleyras).

Figure 24 : Courbes cumulatives de CF3 (sur les coupes des Quatres Routes et du Brézet 2006 sur la commune de Clermont-Ferrand (63).

Figure 25 : Géochimie de CF3. En rouge = domaine de variation de CF3, données anciennes ; croix violettes = CF3 sur les sites de la rue Theuriet et de Nohanent-lotissement ; cercle bleu = CF3 lamine de base (Blast) à Nohanent-lotissement.

Figure 26 : Cortèges minéralogiques (minéraux denses) de seize échantillons provenant de trois séquences téphrosédimentaires (Gerzat - Chantemerle, Les Quatre Routes et Le Brézet 2006). En rose pâle, les cortèges du téphra CF1a ; en rose foncé, ceux du téphra CF1b ; en vert clair, ceux du téphra CF3 ; en beige clair, ceux du téphra CF4 et enfin en jaune ceux de la lamine CF4b présente dans le secteur de Gerzat.

Figure 27 : Position du volcan de « La Nugère » dans la Chaîne des Puys (d'après Boivin *et al.*, 2009a).

Figure 28 : Evolution du volcan de « La Nugère » (d'après Boivin *et al.*, 2009b).

Figure 29 : Le Téphra de Cellule affecté par des déformations (poches en chaudron) dues à la cryoturbation.

Figure 30 : Le Téphra de La Moutade ($13\ 700 \pm 1\ 700$ TL) dans l'horizon pédogénisé (palléosol Alleröd) de la séquence sédimentaire du marais d'Orange (Cellule, 63).

Figure 31 : Sous CF3, le complexe téphrique CF1a/CF1b (Parc Logistique, Cébazat, 63).

Figure 32 : Positionnement des dates ^{14}C obtenues pour le complexe téphrique CF1a/CF1b sur le site des Pradeaux à Gerzat (sondage 271). Les dates sont calibrées à $2\ \sigma$. Ages conventionnels : $11\ 300 \pm 70$ BP (ARC 2468) et $11\ 270 \pm 90$ BP (ETH-30437).

Figure 33 : Photographie au microscope optique (LN, X10) du microfaciès de CF1a (site Le Brézet). Pyroclastes compacts, anguleux et peu vésiculés, de verre noir opaque contenant des lattes de plagioclases et des microlites de clinopyroxènes verts. Ils sont caractéristiques d'éruptions explosives, violentes à caractère plus ou moins phréatomagmatique. On note un pyroclaste (angle inférieur gauche de la photo) de verre brun clair translucide à vésicules sphériques bien développées qui révèle l'existence de phases à caractère plus

strombolien lors de l'éruption. Les pyroclastes baignent dans une matrice d'échardes vitreuses brunes et de minéraux libres en éclats.

Figure 34 : Séquence sédimentaire de la rue Jules Verne (Le Brézet, Clermont-Ferrand). 1 : remblais modernes (XXe siècle) ; 2 : colluvions argileuses grises portant la pédogenèse actuelle et à la base présence d'un niveau laténien ; 3 : colluvions argilo-limoneuses hétérogènes à nombreux cordons racinaires sub-verticaux ; 4 : alluvions fines, alternance de niveaux sableux et de niveaux argilo-limoneux beiges ; 5 : colluvions argilo-limoneuses grises avec bioturbations (paléosol ?) avec à la base un téphra cendreuse (CF4) plus ou moins remanié ; 6 : argiles palustres beiges contenant des scories remaniées du niveau 7 ; 7 : niveau de grosses scories noires bleutées = CF3 ; 8 : argiles palustres beiges ; 9 : retombée volcanique grise = CF1b ; 10 : retombée volcanique noire = CF1a ; 11 : argiles noires plastiques avec éléments organiques = paléosol de marais de l'Alleröd ; 12 : argiles beiges verdâtres remaniant des fragments de marnes oligocènes.

Figure 35 : Courbes cumulatives de CF1a (à Gerzat/Chantemerle et au Brézet) et de CF1b (au Brézet).

Figure 36 : Géochimie des produits proximaux des différentes phases éruptives du puy de La Nugère (Nouvelle Nugère) et des téphras distaux rapportés à ce volcan.

Figure 37 : Tableau regroupant les nouvelles analyses géochimiques (majeurs). Données corrigées de la perte au feu et ramenées à 100 %.

Figure 38 : Lobes de dispersions des produits pyroclastiques issus du puy de La Nugère : CF1a/b, Retombée de La Moutade (lobe bleue) et Retombée supérieur de Gimeaux (lobe orange).

Figure 39 : Séquence téphro-sédimentaire du site préhistorique de Marsat-Les Pradelles.

Figure 40 : Extension de la Formation de Marsat et de CF7 en Limagne.

Figure 41 : Exemple de séquence sédimentaire de Limagne (zone des Gravanches à Clermont-Ferrand) où l'on observe un niveau (8.3) contenant de fragments anguleux de trachyte (CF7, faciès de retombée) à la base de colluvions argileuses (terres noires de Limagne).

Figure 42 : Fragments laviques provenant du faciès « retombée » de CF7 (Téphra de la Rodde).

Figure 43 : CF7 (faciès colluvié) sur le site de La Rodde. niv. 4 et 5 : Téphra de La Rodde/CF7 ; niv. 7 : CF6 ; niv. 9 : CF3.

Figure 44 : Trajets supposés (en bleu) des coulées pyroclastiques empruntant les ravins entaillant la faille bordière occidentale de la Limagne (en jaune). (1) = locus de Nohanent-lotissement et (2) = locus de Nohanent-stade. Limite d'extension (pointillés rouges) des cônes d'épandage au débouché des ravins.

Figure 45 : Macrofaciès de CF7 (coulée pyroclastique) (1) et microfaciès (PLA) (2 et 3) sur le site de Nohanent-lotissement.

Figure 46 : Le Téphra de la Rodde (CF7, faciès retombée) sur le site de Chappes - La Buyre (63).

Figure 47 : La séquence téphrique de Nohanent observée sur le site de Nohanent-lotissement. Position du Téphra CF4 et du Téphra Y.

Figure 48 : Macrofaciès du Téphra Y sur la coupe du site de Nohanent-lotissement.

Figure 49 : Fragments laviques à structure trachytique du Téphra Y de la séquence de Nohanent (site de Nohanent-lotissement). (1) : fragment lavique à gangue de cendre fine (premier stade d'accrétion, microfaciès PLA) ; (2) : fragment lavique à phénocrystal de biotite.

Figure 50 : Microfaciès des lamines (L1 à L10) constituant le Téphra Y (coupe de Nohanent-stade).

Figure 51 : Téphra Y de la séquence de Nohanent (coupe de Nohanent-stade); (1) : fragment lavique non vésiculé à structure trachytique, mésostase vitreuse peu abondante à microlites de feldspath et rares phénocristaux de biotite ; (2) et (3) : fragment lavique à phénocristaux de plagioclase ; (4) : scorie noire faiblement vésiculée ; (5) : illuviation argilique orangée dans un vide.

Figure 52 : Le téphra CF4 à Gerzat-Chantemerle (2008, Sondage 42).

Figure 53 : Hyaloclastes, de couleur noire brillante, non vésiculés et anguleux ; téphra CF4, (1) site de Gerzat-Chantemerle et (2) site de Nohanent-lotissement (binoculaire, LN réfléchi, X10). Fracturation planaire (1) à conchoïdale (2).

Figure 54 : Clastes vésiculés de trois types : (1) beige ponceux , (2) gris de forme planaire à surface cordelée et (3) noir ponceux (téphra CF4 du site de Nohanent-lotissement)(binoculaire, LN réfléchi, X10).

Figure 55 : Teneur (%) en silice et en alcalins de CF4 suivant la nature de l'échantillon.

Figure 56 : Géochimie des différents pyroclastes de CF4 sur 3 sites (Gerzat-Chantemerle, Nohanent-Lotissement et les Quatre Routes), de la totalité des pyroclastes de CF4a et des cendres noires de CF4b à Gerzat-Chantemerle. Données corrigées de la perte au feu et ramenées à 100 %.

Figure 57 : Courbes cumulatives de CF4 sur trois sites du bassin de Clermont-Ferrand (63).

Figure 58 : Minéraux caractéristiques de CF1a (hornblende basaltique automorphe et clinopyroxène vert en éclat). (LN, X 400). Notons les traces de verre volcanique adhérent sur les prismes d'hornblende (*Bubble-Wall texture*).

Figure 59 : Les deux types de fragments laviques de CF1b au MEB : 1 = fragment noir anguleux et peu vésiculé ; 2 = fragment clair à l'aspect poncé.

Figure 60 : Le complexe téphrique CF1a/CF1b, marqueur de l'Alleröd en Limagne, sous le téphra CF3.

Figure 61 : Microfaciès de CF1a (LN, X 10) : pyroclastes anguleux de verre noir, peu à pas vésiculés et riches en baguettes de feldspaths dans une matrice brune vitreuse. On note de rares pyroclastes de verre clair à vésiculation plus marquée (cercle rouge et rectangle vert).

Figure 62 : Morphologie des éléments laviques de CF5 (échantillon du secteur de Gerzat). (1) : écharde ponceuse riche en lattes de plagioclases (le contour de l'écharde est plus visible en Lumière Polarisée); (2) : ponce à vésicules sphériques dans une matrice riche en écharde de verre et fragments vitreux non vésiculés à lattes de feldspath.

Figure 63 : Le téphra CF4 dans le secteur des Gravanches (Clermont-Ferrand, 63). NT : niveau organique ; A P : argiles palustres ; All : alluvions mélanocrates (téphra CF6 remanié).

Figure 64 : Le téphra CF5 dans le secteur des Gravanches (commune de Clermont-Ferrand).

Figure 65 : Géochimie de CF6 sur 2 sites (Nohanent-Lotissement et les Quatre Routes) comparée à des produits attribués au Nouveau Pariou dans la Chaîne des Puys (col Come/Balmet, données D. Miallier). Données corrigées de la perte au feu et ramenées à 100 %.

Figure 66 : Le téphra Z, décalé par une faille, dans la séquence des Quatre Routes.

Figure 67 : Courbe de calibration des dates ^{14}C utilisées dans ce travail (Fairbanks0107 ; Fairbanks R. G. *et al.*, 2005).

Figure 68 : Téphrochronologie relative réalisée à partir de relations stratigraphiques (succession de téphras) réellement observées.

Figure 69 : Chronologie absolue proposée des téphras datés par ^{14}C .

Figure 69 bis : Séquence volcano-sédimentaire au lieu-dit *Les Gravanches* (Clermont-Ferrand, 63)

Figure 70 : Chenaux de ruissellement (Ch. 1 à Ch. 5) ; Discordance de ravinement entre CF1b et CF2 (D) ; concentration par le vent de CF1b dans un mégachenal creusé dans le substratum (colluvions) (site de la rue de Montjuzet à Clermont-Ferrand).

Figure 71 : Remaniement des téphras par reprise alluvionnaire dans le marais de Limagne : niveaux 10 et 10.1 = CF1 et CF3 remaniés ; 9.3 et 9.2 = CF6 remanié. CF5 est locale-

ment conservé entre 10.1 et 9.3. CF7 (faciès retombée) est bien préservé dans un sol de marais (8.3).

Figure 72 : Fossilisation et remaniement de CF1a dans une séquence de limons de crue reposant sur une basse terrasse alluviale grossière à Pont du Château (63).

Figure 73 : Déformations affectant le sommet de CF6 et les téphras T.a et T.b.

Figure 73 bis : Les différents types de séismites. Les types notés en rose sont proches des déformations observées dans les séquences volcano-palustres de Limagne.

Figure 74 : Déformations (séismites) du téphra CF5 (site des Gravanches).

Figure 75 : Figures de déformation ductile dans la série téphrosédimentaire des Gravanches (Clermont-Ferrand).

Figure 76 : Coupe Est-Ouest du chantier des 4 routes à Clermont-Ferrand. Téphroséquence avec panneaux glissés, chevauchements (lignes rouges), déformations cassantes (en jaune) et déformations souples (partie Est).

Figure 77 : Coupe Nord-Sud du chantier des 4 routes à Clermont-Ferrand. Téphroséquence avec CF6, le Téphra Z (= niv. 5), CF7 (faciès coulée pyroclastique) et déformations cassantes (en jaune) affectant le sommet de CF6 et le téphra Z.

Figure 78 : Industrie lithique du site « *Les Paturaux* » à Clermont-Ferrand. Armatures microlithiques caractéristiques de la culture sauveterrienne (dessins Ph. Alix).

Figure 79 : Industrie lithique du site « *Les Prés Longs* » à Pulvérières. Armatures géométriques, débitage lamellaire et nuclei (dessins Ph. Alix).

Figure 80 : Coupe des produits de l'éruption du Pavin sur le site de *Fraux de Préalat* (d'après P. Ferry) avec position des Blocs (B1 à B5).

Figure 81 : Echarde vitreuse de type « corps en Y » (matrice fine du bloc B1).

Figure 82 : Echarde ponceuse et minéraux libres fragmentés dans la matrice fine du bloc B3.

Figure 83 : Microfaciès MLD (LM : lit maigre et LG : lit gras) dans le sommet du bloc B4 (soit la partie basale du niveau 3 de la coupe de *Fraux de Préalat*).

Figure 84 : Proto-Lapilli Accrétionnés (PLA) dans le bloc B2 (niveau 1 de la coupe de *Fraux de Préalat*).

Figure 85 : Proto-Lapilli Accrétionnés (microfaciès PLA) (Bloc B2, niveau 1 de la coupe de *Fraux de Préalat*). Le PLA inférieur est constitué à partir d'un germe (claste vésiculé noir) avec deux niveaux d'accrétion (1 et 2) à matrice de granulométrie différente.

Figure 86 : Microfaciès PLA du niveau 5 (tranchée 8 à St Ours, Vulcania) correspondant à la quatrième nappe de recouvrement issue du puy Chopine (faciès proximal de coulée pyroclastique).

TOME 2 :

Figure 87 : Localisation du bassin de Venosa en Italie méridionale.

Figure 88 : Carte morphologique de la région de Venosa-Monte Vulture. 1 : chaîne de l'*Appennino* méridional, 2 : dépressions et collines modelées dans les argiles et sables plio-pléistocènes de la *Fossa Bradanica*, 3 : plateaux associés au *Conglomerato d'Irsina*, 4 : appareil volcanique composite du *Monte Vulture*, 5 : bassins de *Venosa-Irsina* et d'*Atella*.

Figure 89 : Le Monte Vulture dominant le bassin de Venosa (au premier plan le replat de la *Formation de Tufarelle*, en position intermédiaire le plateau associé au *Conglomerato d'Irsina* [.....] et les collines de l'*Appennino* méridional).

Figure 90 : Les différentes unités pyroclastiques du Monte Vulture et les formations volcano-sédimentaires définies dans le bassin de Venosa.

Figure 91 : Retombée plinienne ponceuse dans la Formation de Piano Regio (affleurement de *Piani di Forno*).

Figure 92 : Tufs vésiculés lités (TVL) à lapilli accréionnés dans la Formation de Piano Regio (affleurement de *Grotte di Porcinella*). On observe également une coulée pyroclastique (CP) et une retombée plinienne à ponces blanches (RP).

Figure 93 : Microfaciès MLD dans les dépôts de déferlantes (surge) (*Grotte di Porcinella*). LM : lamine maigre, LG : lamine grasse.

Figure 94 : Proto-Lapilli Accréionnés (microfaciès PLA) dans les produits de déferlantes (surge) de la Formation de Piano Regio (*Grotte di Porcinella*, Bassin de Venosa). Sur la photo ①, le microfaciès PLA est associé au microfaciès MLD.

Figure 95 : Structure de chenalisation d'une coulée pyroclastique (flow) de la Formation de Piano Regio (bassin de Venosa). Noter un paléosol (PS), marquant la paléosurface antécoulée, nettement entaillé par le méga-chenal.

Figure 96 : La Formation de Tufarelle dans la vallée de la *Fiumara Matinella* (affleurement éponyme, position de la retombée plinienne R1 ainsi que du lahar de base et morphologie dans le paysage).

Figure 97 : La retombée R1 entre des bancs de calcaire lacustre dans la Formation de Tuffarelle (affleurement de *Tufarelle Cava*).

Figure 98 : Séquence sédimentaire du site préhistorique de *Notarchiroco* avec position du Téphra de Notarchirico (NTC).

Figure 99 : Téphra de Notarchirico (Venosa, Basilicate), vues au Microscope Electronique à Balayage (MEB) ; (1) : aspect général ; (2) : zone fibreuse résultant d'une accumulation de tubules vitreuses ; (3) : accumulation de sphérules vitreuses (globular shards) ; (4) : aspect de tubules vitreuses (pumice shard with tubular vesicles).

Figure 100 : Profil schématique du bassin de Venosa avec position des principales formations volcano-sédimentaires (5 : Formation de Piano Regio ; 6 : Formation de Tufarelle), des principaux sites préhistoriques (*Notarchirico* et *Loreto*) et du Téphra de Notarchirico (NTC).

Figure 101 : Reconstitution d'une éruption plinienne du Monte Vulture dominant le bassin de Venosa (Basilicate, Italie).

Figure 102 : Carte de localisation de la zone d'émission supposée de l'ignimbrite campanienne et du secteur de nos observations.

Figure 103 : Macrofaciès de l'ignimbrite campanienne à *Porto Infreschi* (1) et à *Grotta Grande di Scario* (2).

Figure 104 : Association du microfaciès PLA (*Proto-Lapilli Accrétionnés*) avec le microfaciès MLD (*Micro-Litage à Doublé de lamines*) dans les produits co-ignimbritiques (*Ignimbrite Campanienne*) intercalés dans le spéléothème édifié à l'entrée de la grotte de Castelvita. On note un niveau à ponces fibreuses en partie sommitale.

Figure 105 : Analyses chimiques sur verre des pyroclastites identifiées entre Camerota et Scario et analyses de référence pour l'ignimbrite campanienne dans le diagramme de Le Bas *et al.* (1986).

Figure 106 : Téphra d'Ariano. Granulométrie globale, histogramme des fréquences et courbe cumulative des fréquences. Téphra d'Ariano et ses faciès de remaniement. Granulométrie de la fraction < 2 mm, courbes des fréquences.

Figure 107 : Composition chimique du téphra d'Ariano dans le diagramme $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (Le Bas *et al.*, 1985), comparée à celles de l'éruption dite « des ponces d'Avellino » (*in* R. Santacroce Ed., 1987).

Figure 108 : Extension de l'aire de distribution des plus gros fragments ponceux vers le Nord-Est et de l'isopaque 0,10 m par rapport aux propositions de Rolandi *et al.* (1993).

Figure 109 : Tasse en place à l'entrée d'un four domestique à l'intérieur de la cabane 3 (*Croce del Papa*, Nola). Le remplissage interne du four montre une base à litages planaires (*surge*) correspondant aux lamines 6.1 à 6.6 et un sommet compact et homogène (*flow*) correspondant à 6.7/6.8.

Figure 110 : Vue extérieure de la cabane 3 (*Croce del Papa*, Nola) montrant le chaume moulé par les pyroclastites (*flow* ; lamines 6.7 et 6.8). la hauteur conservée des parois correspond exactement à la hauteur cumulée des niveaux de retombées à ponces (*fall*), niveaux 1, 2, 3.1, 3.2 et 3.3.

Figure 111 : Stratigraphie générale du site de *Croce del Papa* à Nola (Campanie) montrant la superposition sur six mètres de puissance des dépôts des éruptions du *Monte Somma-Vésuvio* depuis 3 500 B.P. La flèche jaune matérialise l'épaisseur des dépôts de l'éruption dite « des ponces d'Avellino ».

Figure 112 : Stratigraphie des dépôts pyroclastiques attribués à l'éruption du Vésuve, dite « des ponces d'Avellino » (*Croce del Papa*, Nola). En rouge, les phases éruptives définies par Cioni *et al.* (1999) et Mastrolorenzo *et al.* (2006).

Figure 113 : Lame mince des niveaux 3.3 sommet, 4, 5 et 6 base (6.1 à 6.5) des produits de l'éruption du Vésuve, dite « des ponces d'Avellino » (*Croce del Papa*, Nola).

Figure 114 : Lame mince des produits phréatomagmatiques (*pyroclastic surge*) de l'éruption du Vésuve, dite « des ponces d'Avellino » (niveau 6) (*Croce del Papa*, Nola).

Figure 115 : Une écharde ponceuse (*pumice shards*) à vésicules sphériques ou sub-sphériques (sédiment fin du niveau 6 à l'intérieur d'une cabane, bloc B2, *Croce del Papa*, Nola).

Figure 116 : Logs des différentes unités stratigraphiques (EU) constituant les dépôts de l'éruption des ponces d'Avellino en position proximale et mésio-distale (d'après R. Cioni *et al.*, 1999).

Figure 117 : Mécanismes de transport et de dépôt au cours de la phase finale de l'éruption dite « des ponces d'Avellino » (*pyroclastic surge sequence*) selon l'axe Nord-Ouest de dispersion de ces produits (d'après Mastrolorenzo *et al.*, 2006).

Figure 118 : Proto-Lapilli Accrétionnés (microfaciès PLA) (*Gricignano*, dépôts de « surge » de l'éruption des ponces d'Avellino).

Figure 119 : Microfaciès *Micro-Litage à Doublé de lamines* (MLD) (*Gricignano*, dépôts de « surge » de l'éruption des ponces d'Avellino).

Figure 120 : Effet des différentes phases de l'éruption dite « des ponces d'Avellino » sur les cabanes de site de *Croce del Papa* à Nola.

Figure 121 : L'arc insulaire des petites Antilles et le plan de subduction.

Figure 122 : Position géodynamique de l'arc des Petites Antilles.

Figure 123 : Evolution du strato-volcan de la Montagne Pelée.

Figure 124a : Les dynamiques des éruptions historiques ; explosion phréatique.

Figure 124b : Les dynamiques des éruptions historiques ; éruption plinienne.

Figure 124c : Les dynamiques des éruptions historiques ; éruption péléenne.

Figure 125 : Localisation des sites étudiés.

Figure 126 : Stratigraphie du site de Vivé (Martinique). OP : occupation précolombienne.

Figure 127 : Stratigraphie du site de Périnelle (Martinique).

Figure 128 : Stratigraphie du site de la Sous-Préfecture de Saint-Pierre (Martinique).

Figure 129 : Retombée (*fall*) plinienne à ponces précédée d'un niveau de déferlantes (*surge*)/blast (*téphra supérieur de Saint-Pierre/TSP1*) reposant sur un paléosol développé sur une retombée (*fall*) plinienne à ponces antérieure (*téphra inférieur de Saint-Pierre/TSP2*) (site de Beauséjour, Martinique). Noter la stratification interne (dunes et antidunes) des dépôts de déferlantes de TSP1.

Figure 130 : Seconde unité du *complexe téphrique de Saint-Pierre* (CTSP) sur le site de la future Sous-Préfecture à Saint-Pierre (Martinique). Dépôts de déferlantes à tuf vésiculé (échelle : 20 cm).

Figure 131 : Microfaciès de la lamine de tuf vésiculé dans la seconde unité du *complexe téphrique de Saint-Pierre* (CTSP) sur le site de la future Sous-Préfecture à Saint-Pierre (Martinique).

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Formé à l'Université de Clermont-Ferrand à la géologie classique, je m'oriente dès le D.E.A. dans la voie de la géologie du Quaternaire afin de pouvoir développer une recherche à l'interface entre les milieux naturels et les sociétés. En effet, dès 1978, je m'intéresse à l'archéologie et plus particulièrement à la préhistoire. La participation à de nombreux chantiers de fouilles et la participation au D.E.A. de géologie du Quaternaire à l'Université de Bordeaux 1 font de moi un géologue sensible aux problèmes de l'archéologie. Dès 1985, mon intégration dans l'équipe du projet « *Approche du peuplement préhistorique en zone volcanique active* » (ATP du CNRS : *Approches nouvelles en archéologie par les méthodes de la physique, de la chimie, des mathématiques et des sciences de la Terre*), dirigé par Jean-Paul Raynal, oriente ma recherche vers le domaine de « *L'homme et les volcans* », thème en plein développement en 1989, année du rapport final de l'ATP. Le thème majeur de ma recherche future, la *Téphrostratigraphie*, émerge donc à cet instant et va déterminer le sujet de ma thèse et mon parcours scientifique.

Ma thèse, intitulée *Message du volcanisme régional dans les formations quaternaires de Limagne occidentale (Massif Central français), minéraux denses et retombées*, me permet d'aborder un domaine très particulier des paléoenvironnements de l'homme fossile : la mise en évidence et la caractérisation des produits distaux des éruptions volcaniques et leurs possibles influences sur les milieux. Ce travail apporte des données nouvelles sur le volcanisme de la Chaîne des Puys (intéressant directement les volcanologues) mais aussi, replacées dans un cadre archéologique défini, elles peuvent permettre de vérifier la validité des modèles d'occupation et d'exploitation des terroirs volcaniques par l'homme.

A partir de cet instant, j'ai développé une collaboration avec de nombreux chercheurs de différents laboratoires dans tous les domaines que j'aborde : la géologie du Quaternaire, la volcanologie, l'étude des téphras distaux, les datations de celles-ci, l'archéologie ... Cette collaboration constante me permet d'être bien intégré dans le milieu de la recherche au plan européen.

En plus de la poursuite de ma recherche dans le Massif Central français, j'ai, dès 1990, cherché à développer celle-ci à l'étranger. L'Italie du Sud m'a donné un champ d'investigation de première importance. En effet, j'ai participé à l'étude du bassin de Venosa et en particulier à celle des sites de Notarchirico et Loreto qui font partis des plus anciens sites préhistoriques d'Europe. Les données concernant les produits distaux des éruptions du Monte Vulture permettent de reconsidérer la dynamique sédimentaire globale du bassin (importance des apports volcaniques directs variés : retombées pliniennes, dépôts de

blasts, coulées pyroclastiques) mais aussi d'apporter des arguments nouveaux quant à l'âge des différentes occupations humaines. D'autre part, j'ai étudié sur le site de la Starza les retombées distales de l'éruption des « ponces d'Avellino » du *Monte Somma* (Vésuve) survenue au cours du Bronze ancien. La découverte du village du Bronze ancien de Nola (Campanie) m'a permis d'étudier les dépôts de l'éruption « des ponces d'Avellino » en définissant les microfaciès. L'impact de chacune des phases de cette éruption sur les cabanes a été défini et explique la destruction mais aussi l'exceptionnelle conservation des structures anthropiques. Une collaboration avec des archéologues travaillant sur des sites du littoral de la région de Salerne (Marina di Camerota) a débouché sur une étude des témoins les plus distaux de l'ignimbrite campanienne.

Dans le cadre de la recherche de nouveaux terrains d'application de ma recherche, j'ai commencé, dès 1997, l'étude de niveaux téphriques (issus de la Montagne Pelée) sur les sites archéologiques précolombiens du nord de la Martinique. Une séquence de référence pour la chronologie des éruptions est proposée et complète la chronologie jusqu'alors utilisée par les volcanologues.

Grâce au développement de mes recherches et à ma bonne insertion dans le milieu scientifique européen, j'ai poursuivi ma recherche au sein du GDR 1122 (*Hommes et Volcans avant l'histoire*) où j'assurais d'ailleurs la co-responsabilité du thème 1 (*Dynamismes et faciologie volcanique actuelle, Téphrostratigraphie*). Je suis actuellement chercheur (téphrostratigraphe) rattaché à GEOLAB - UMR 6042 CNRS et Université Blaise Pascal. Je me suis efforcé de diffuser les résultats de mes recherches en participant à de nombreux colloques en France et à l'étranger, en rédigeant des articles dans des revues importantes et en participant à des ouvrages collectifs (monographie de sites, carte de la Chaîne des Puys). Par le biais de conférences, de films, d'ouvrages, j'ai participé à la diffusion de la culture scientifique et technique auprès du grand public.

Si mes recherches ont apporté des données nouvelles sur les milieux où l'homme préhistorique vivait, elles ont également permis de développer une technique nouvelle pour l'étude des formations volcaniques distales : l'étude microscopique de lames minces de grand format de formations meubles après imprégnation d'échantillons orientés. L'application systématique de cette technique permet d'obtenir des données totalement inédites sur la microfaciologie de telles formations. Les résultats issus de cette technique sont particulièrement développés dans ce mémoire.

J'ai donc choisi un projet de recherche qui se situe délibérément à l'interface hommes/milieus : *Les téphras en contexte archéologique ; message environnemental et rôle chronostratigraphique (Italie, France)*. L'insertion d'un tel projet a été assurée d'abord au sein du GDR 1122 et maintenant au sein de GEOLAB-UMR 6042 CNRS. Sa justification se résume en quelques mots : les téphras sont de très précieux marqueurs d'isochronie qu'il convient de caractériser ; leur étude s'impose pour la caractérisation des paléoenvironnements de l'homme fossile, à l'échelle régionale mais aussi globale; l'objectif est donc de participer à terme à l'établissement de modèles d'occupation et d'exploitation des terroirs volcaniques actifs qui tiennent compte de la dispersion des produits pyroclastiques, de leur chimisme et de leurs effets sur les biotopes. L'étude de ces produits distaux apporte aussi des données pour la compréhension des édifices volcaniques et sur leurs histoires éruptives. Par cet aspect, la téphrostratigraphie participe pleinement à l'étude du

phénomène volcanique. La reconnaissance internationale de ce type d'étude s'est concrétisée avec la création, par le Comité permanent de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques (UISPP/UNESCO), en 1996, de la *Commission 31 Hommes et Volcans durant la Préhistoire et la Protohistoire*. L'INQUA a créé la *Commission of Tephrochronology* qui est devenue *INQUA International Focus Group on Tephrochronology and Volcanism (INTAV)* dont je suis membre.

Enfin, je dois ajouter, quand plus de mes recherches, mon emploi actuel (Ingénieur chargé de recherche à l'INRAP) m'a conduit à diriger de nombreux chantiers de fouilles archéologiques où j'encadre des équipes parfois importantes mais aussi à exercer ma qualification de géoarchéologue en étudiant le contexte géologique de nombreuses opérations d'archéologie préventive (diagnostic et fouille).

RESUME DES TRAVAUX

RESUME DES TRAVAUX

Docteur en Géologie du Quaternaire et titulaire d'une thèse de l'Université de Bordeaux 1 portant sur l'étude des téphras distaux de la Chaîne des Puys, je poursuis ma recherche personnelle portant sur la caractérisation des produits volcaniques en milieu archéologique et sur les relations Homme-Volcan en France (Massif Central et Martinique) et en Italie. Je suis chercheur au Laboratoire de Géographie physique, **GEOLAB - UMR 6042 CNRS - Géodynamique des Milieux Naturels et Anthropisés** - de l'**Université Blaise Pascal** de Clermont-Ferrand. En plus de ce rattachement, j'entretiens une collaboration intense avec deux autres UMR : **UMR 6524 « Magmas et volcans »**, **OPGC - Université Blaise Pascal** et **PACEA « De la Préhistoire à l'Actuel : Environnement et Anthropologie » UMR 5199 CNRS - Université de Bordeaux 1**.

Parallèlement à ma recherche personnelle, je suis actuellement Ingénieur chargé de recherche à l'**INRAP** (Institut National de Recherches Archéologiques Préventives) où j'ai dirigé de nombreuses opérations d'archéologie préventive en région Auvergne et où j'interviens en tant que spécialiste en géoarchéologie. De 2002 à 2008, j'ai rempli la fonction d'Adjoint Scientifique et Technique (AST) en charge de la région Auvergne auprès du Directeur Inter Régional.

J'enseigne depuis 5 ans cette approche des relations Hommes/Volcans par le biais de la téphrostratigraphie dans le cadre du **Master Géoenvironnement** de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand 2.

Le Conseil Scientifique de l'INRAP m'a accordé un congé pour travaux personnels de recherche de 12 mois (décision n° 2008-DRH/528 en date du 02/09/2008) afin de préparer cette thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches (HDR).

Étant donné que mes travaux portent essentiellement sur la caractérisation de produits téphriques (téphrostratigraphie), j'ai choisi comme laboratoire d'accueil pour la présentation de cette thèse de HDR le laboratoire « **Magmas et volcans** » OPGC - Université Blaise Pascal et comme tuteur, Monsieur le Professeur Emérite Alain Gourgaud.

Depuis 1992, j'ai réalisé un nombre important de travaux de recherche portant sur la téphrochronologie en milieu archéologique aussi bien en France (Massif Central et Martinique) qu'à l'étranger (Italie du Sud). Ces travaux ont débouché sur des publications (cf. bi-

biographie ci-dessous) mais n'ont pas fait l'objet d'une synthèse. Cette synthèse, complétée par de nouvelles analyses de laboratoire (minéraux lourds, sédimentologie et lames minces), constitue la base de ce mémoire de HDR. Du point de vue méthodologique, il me semble judicieux de mettre en avant, dans ce travail, la technique d'étude des microfaciès des formations téphriques par la réalisation et l'observation de lames minces de grand format suivant la technique initialement développée pour la pédologie. En effet, j'ai été le précurseur de cette technique lors de la réalisation de ma thèse. J'ai ensuite développé de façon systématique cette approche. Je dispose maintenant d'un nombre important de données non publiées qui trouveront naturellement leurs places dans cette HDR. La réalisation de la synthèse sur les téphras de la Chaîne des Puys reconnus en Limagne est également l'occasion d'uniformiser les représentations graphiques des séquences téphro-sédimentaires.

1 – TRAVAUX ANTERIEURS (Thèse) :

J'ai développé, par le biais de l'étude des minéraux denses, une recherche visant à caractériser les marqueurs du volcanisme pléistocène dans les sédiments quaternaires de Limagne septentrionale. Cette recherche s'inscrivait au sein du thème « L'Homme et les volcans » de l'URA 133 CNRS, dans le programme « Approche du peuplement préhistorique en zone volcanique active » retenu par l'ATP du CNRS « Approches nouvelles en archéologie ... » et dirigé par J.-P. Raynal. Elle s'est concrétisée par la rédaction d'une thèse de l'Université de Bordeaux 1 : ***Message du volcanisme régional dans les formations quaternaires de Limagne occidentale (Massif Central français), minéraux denses et retombées*** (Thèse de l'Université de Bordeaux 1, spécialité : Géologie du Quaternaire, N° d'ordre : 724, 335 p., 9 cartes, 63 fig., 31 pl. photo, 6 tabl., soutenue le 11 février 1992).

2 – TRAVAUX DE RECHERCHE MENÉS DE 1992 À 2008 :

Après avoir soutenu ma thèse, j'ai développé un projet de recherche qui a été présenté au CNRS de 1992 à 1997. De 1997 à 2008, j'ai poursuivi cette recherche essentiellement dans le Massif Central français mais aussi en Italie et en Martinique.

Le titre de ce projet était : ***Les téphras en contexte archéologique : message environnemental et rôle chronostratigraphique (Italie, France)***.

2.1 – Justification :

Les éruptions volcaniques violemment explosives sont généralement brèves à l'échelle humaine et propulsent dans l'atmosphère des volumes de bombes, blocs, lapilli, cendres et poussières qui globalement peuvent atteindre plusieurs dizaines, voire centaines, de km³. Les particules les plus grossières (bombes et lapilli) retombent dans un rayon de quelques kilomètres autour du volcan, mais les particules les plus fines (cendres et poussières) sont prises en charge par les vents troposphériques et stratosphériques et sont ainsi largement dispersées. La masse de particules qui atteint la stratosphère est entraînée par les jet-streams et effectue avec eux des tours de la terre. Cette « ronde » peut du-

rer plusieurs années. Une partie de ces particules retombent à la surface du globe et constitue une nappe de recouvrement sur des surfaces de plusieurs dizaines, voire centaines de km². **Les téphras rencontrés dans les sites préhistoriques et leur environnement régional résultent de tels phénomènes et sont donc de très précieux marqueurs d'isochronie qu'il convient de caractériser aumieux.**

À l'échelle régionale, dans toute la zone où les retombées en nappe ont une épaisseur centimétrique ou millimétrique, les animaux dépérissent par inhalation des particules fines, corrosion et usure rapide de la dentition par masticage des verres et minéraux. À l'échelle globale, il est aujourd'hui acquis que les grandes explosions volcaniques ont une influence sur le climat. Le voile de particules et surtout d'aérosols qui se met en place dans la stratosphère au fil des rotations constitue un écran au rayonnement solaire, et des abaissements globaux de température atteignant 1°C pendant plusieurs mois ont été observés à la surface de la terre lors des grandes éruptions du siècle dernier. De récents travaux ont caractérisé l'impact des aérosols et des téphras fins sur les sols et la végétation à plusieurs centaines de kilomètres des points éruptifs et suggèrent que ces apports joueraient dans certains cas un rôle plus important dans les changements environnementaux que les mécanismes climatiques eux-mêmes. L'année 1815 fut appelée partout dans le monde « l'année sans été » : elle suivait une éruption cataclysmique du Tambora. L'hypothèse liant des mutations socioéconomiques préhistoriques à des manifestations volcaniques lointaines mais de grande ampleur doit être testée. **L'étude des recouvrements pyroclastiques s'impose donc pour la caractérisation des paléoenvironnements de l'Homme fossile, à l'échelle régionale et globale.**

Nombre de sites témoignant des premiers peuplements humains en Afrique et hors d'Afrique se trouvent dans des zones volcaniques actives et l'on doit s'interroger sur le pourquoi de cette association pour laquelle ne sont souvent invoqués que des critères de préservation différentielle. *A contrario*, l'homme a toujours eu à subir les conséquences des grandes explosions volcaniques : dans les régions proches du volcan l'anéantissement des personnes et des biens peut être quasi total et l'on a vu précédemment que les impacts à longue distance peuvent être importants. **L'objectif est donc de participer à terme à l'établissement de modèles d'occupation et d'exploitation des terroirs volcaniques actifs qui tiennent compte de la dispersion des différents téphras, de leur chimisme et de leurs effets sur les biotopes. Pour cela, il faut d'abord bien caractériser ces dépôts téphriques ; c'est le but principal de ma recherche.**

2.2 - Méthodologie :

La recherche développée comporte plusieurs axes :

- **Recherche de téphras dans des sites archéologiques et dans les séquences types** présentant de fortes potentialités pour la caractérisation des paléoenvironnements et des paléoclimats ainsi que pour l'obtention de datations par des méthodes physiques.
- **Étude détaillée de ces niveaux téphriques** comportant :
 - une caractérisation des cortèges de minéraux denses en insistant sur la distinction entre minéraux propres à la retombée et minéraux détritiques « pollueurs »

grâce à la recherche systématique des fragments de verre (bubble-wall texture) à la surface des grains. La teneur en magnétite est également évaluée car elle constitue une indication fiable pour la mise en évidence du degré de remaniement des téphras,

- une étude à la microsonde de certaines familles minérales,
- une analyse chimique des fragments laviques sélectionnés et lavés et/ou des verres par microsonde, qui apporte des éléments solides de corrélation entre téphras et volcan émetteur,
- une étude au MEB des fragments laviques qui apporte des précisions sur la nature de l'éruption et donc une indication supplémentaire des corrélations pour caractériser le point éruptif,
- une étude en lame mince de grand format réalisée suivant la technique employée en micromorphologie qui permet, à partir d'échantillons orientés, d'appréhender la microstratigraphie et donc la nature du mode de mise en place et le degré des remaniements postérieurs au dépôt des téphras,
- une étude granulométrique et microgranulométrique des téphras qui renseigne sur le mode de dispersion et la violence des éruptions.

- **Caractérisation des produits pyroclastiques au niveau des points éruptifs** susceptibles d'avoir engendré des recouvrements distaux. Nous employons les mêmes techniques que pour l'étude des téphras. Cette phase est essentielle si l'on veut proposer une origine aux retombées distales. Elle est conduite en liaison étroite avec les partenaires volcanologues.

- **Recours systématique à la datation directe des téphras par TL.**

- **Appoint de datations numériques** sur les niveaux encadrant les téphras.

2.3 – Zones d'étude retenues :

Ce programme de recherche a été développé dans quatre secteurs géographiques présentant chacun des séquences enregistreuses des événements éruptifs proches, des sites archéologiques affectés par des téphras et des édifices éruptifs complexes :

- **Massif Central français** : les travaux sont principalement centrés sur la **Chaîne des Puys** et la **grande Limagne**, mais des développements ont été amorcés en **Velay** (site de **Ceyssaguet** et carottes du **maar de Soleilhac**).

- **Basilicate (Italie)** : j'étudie des niveaux tephriques présents sur les sites du Paléolithique ancien (**Notarchirico** et **Loreto**) ainsi que de nombreux niveaux pyroclastiques présents dans les séries volcano-sédimentaires du **bassin de Venosa**, en relation avec les

phases éruptives du **Monte Vulture**, voire de zones volcaniques plus lointaines (Campanie, Latium).

- **Campanie (Italie)** : plusieurs produits distaux d'éruptions préhistoriques du **Monte Somma/Vesuve** et des **Champs Flegreens** sont étudiés en contexte archéologique. Sur les sites de **la Starza (Ariano-Irpino)** et de **Croce del Papa (Nola)**, j'ai étudié les conséquences de l'éruption du Vésuve dite "des **ponces d'Avellino**". Plusieurs grottes sur le littoral de la **région de Salerne**, m'ont permis d'étudier des niveaux cendreaux qui correspondent, à l'émission de l'**ignimbrite campanienne** à la charnière du paléolithique supérieur.

- **Martinique** : plusieurs sites archéologiques précolombiens (**Vivé, Fond-Brûlé, Moulin l'Étang, Habitation Perinelle à Saint-Pierre et Sous-Préfecture à Saint-Pierre**) ont permis la caractérisation de niveaux téphriques issus de **La Montagne Pelée** qui recouvrent les différents niveaux d'habitation. Une téphrostratigraphie des sites amérindiens du nord de la Martinique est proposée. Une caractérisation microfaciologique des dépôts pyroclastiques de l'éruption de 1902 de la Montagne Pelée a été faite à partir des coupes de la fouille de l'Habitation Perinelle à Saint-Pierre.

2.4 – Les principaux résultats :

Depuis 1992, parallèlement à la poursuite des recherches sur les téphras dans le Massif Central français, j'ai élargi mon champ d'investigations à d'autres secteurs d'étude. Ma participation, dès 1990, à la mission d'étude du bassin de Venosa (Italie) m'a ouvert de nouveaux terrains. Deux régions de l'Italie du Sud ont retenu mon attention, le Basilicate et la Campanie. Dans ces deux secteurs de l'Italie méridionale, j'ai utilisé la même méthode d'étude que dans le Massif Central français sur les retombées directes distales. Cependant, les édifices éruptifs en cause (Monte Vulture, Monte Somma/Vesuvio, Campi Flegrei) ayant produit des laves acides, j'ai étendu mon champ d'étude à des niveaux ponces, des cinérites, des ignimbrites, des coulées pyroclastiques et des lahars, ce qui n'avait pas été le cas lors de ma thèse.

J'ai également participé aux éditions 4 (2004) et 5 (2009) de « Volcanologie de la Chaîne des Puys » (Carte volcanologique et fascicule). Les chapitres 7 (les retombées volcaniques distales de la Chaîne des Puys) et 12 (Hommes et Volcans) permettent d'intégrer les données de ma recherche à cet ouvrage collectif (réalisé par l'E.A.V.U.C. : Équipe Associée de Volcanologie de l'Université de Clermont-Ferrand) particulièrement apprécié des chercheurs et du grand public qui visite le site unique de la Chaîne des Puys.

Afin de mieux connaître les produits éruptifs, j'ai réalisé des missions sur des volcans actifs (Vésuve, Etna, Stromboli, Vulcano et Montagne Pelée) sur lesquels j'ai observé les faciès et les microfaciès de dépôts contemporains. J'ai ainsi constitué un référentiel pour mieux étudier les phénomènes passés.

Je peux donc dresser un bilan de mes investigations sur les trois zones retenues dans mon projet de recherche.

✳ **Dans le Massif Central français**, j'ai poursuivi la caractérisation des retombées distales en Limagne grâce à la multiplication de nouvelles coupes stratigraphiques sur les opérations d'archéologie préventive (INRAP). La série téphrostratigraphique du tardiglaciaire et de l'Holocène conservée dans le bassin de Clermont-Ferrand a fait l'objet de nombreuses observations. L'étude des carottes extraites du remplissage du maar de Soleilhac (Haute-Loire) m'a permis d'aborder le volcanisme du Velay ainsi que les téphras distaux du massif du Sancy.

1 - La mise en évidence de plusieurs téphras basaltiques dans les sédiments lacustres du maar de Soleilhac montre que la sédimentation de ce paléolac a enregistré des apports volcaniques locaux, principalement dus à des éruptions à fort caractère phréatomagmatique (de type maar), confirmant ainsi l'existence d'un volcanisme actif dans cette région du Velay au cours du Pléistocène moyen.

Les microfaciès du téphra 49 de la carotte S1 permettent de proposer qu'il s'agit d'une retombée ponceuse en place. Nos observations démontrent qu'il y a eu deux arrivées de ponces au sein de la séquence lacustre (séparée par 0,70 m d'argile lacustre). L'origine la plus probable de ces apports reste les « ponces supérieures du Sancy ».

Ces résultats ont été intégrés dans une communication synthétique sur le complexe de Soleilhac au colloque international - *Téphras, chronologie archéologie* - de Brive - Charensac en 1998 et publiés en 2001 (Raynal et Vernet, 2001).

2 - Un nouveau maar a été découvert et daté (85 plus ou moins 8 ka TL) au sud du bassin de Clermont-Ferrand (maar de la Gantière) et a fait l'objet, en 1995, d'une première publication dans un numéro spécial de la Revue d'Auvergne : *Géologie en Auvergne ... Du passé à l'avenir*.

3 - Dans la cuvette de Clermont-Ferrand des dépôts limoneux entrecoupés de retombées fossilisent la coulée de Saint-Jacques, datée par TL vers 80 ka BP. Une de ces téphras a été datée vers 45 ka BP par TL. Les coupes de la rue de Médicis ont permis d'identifier 12 lits téphriques qui, à l'exception du plus ancien, témoignent d'éruptions phréatomagmatiques : trois d'entre eux sont caractéristiques de dépôts de déferlantes (surge) et attestent que des souffles violents et orientés ont, à plusieurs reprises, affectés la cuvette de Clermont-Ferrand. Ces niveaux téphriques sont les témoins d'une activité ancienne de la Chaîne des Puys comportant de nombreux épisodes phréatomagmatiques.

4 - nouvelles données sur des téphras déjà identifiés lors de ma thèse :

- La retombée acide (CF5) a fait l'objet d'études complémentaires et d'un compte-rendu à l'Académie des Sciences (1996). Il faut rappeler ici que ce téphra a été le premier témoin distal des éruptions trachytiques de la Chaîne parfaitement identifié en Limagne.
- La retombée CF1 a également été réétudiée et subdivisée en CF1a et CF1b. CF1b est corrélée à la retombée des Roches définie plus au Nord. La retombée des Roches (CF1b), repérée et étudiée en contexte archéologique dans le site madgalénien d'Enval, est à ce jour le seul exemple connu de niveau téphrique scellant des

niveaux du paléolithique supérieur en Auvergne. Elle a fait l'objet d'un compte-rendu à l'Académie des Sciences de Paris (1995). Sa découverte à la base du remplissage du paléo-lac de Sarliève permet de dater le début du fonctionnement lacustre de la cuvette de Sarliève du Tardiglaciaire.

- Les nouvelles observations réalisées sur le téphra CF4 permettent maintenant d'affirmer qu'il résulte d'une phase éruptive à dynamisme phréatomagmatique franc. Le faciès de CF4 est nettement celui d'une retombée (fall) qui résulte d'une éruption phréatomagmatique certes violente mais dont les déferlantes (surge) ne semblent pas avoir atteint la cuvette clermontoise. Le magma juvénile de ce téphra est de nature trachyandésitique (SiO_2 variant de 54,40 % à 56,10 %). Le cortège des minéraux denses comporte trois minéraux qui sont par ordre d'importance : un clinopyroxène vert, une amphibole brune et l'olivine.

5 - Nouveaux dépôts téphriques :

- À la faveur de travaux publics (suivis d'une fouille préventive AFAN), une stratigraphie exceptionnelle a pu être observée et étudiée sur la commune de Marsat (Puy-de-Dôme). Deux niveaux archéologiques (mésolithique et épipaléolithique) sont recouverts par des produits éruptifs et épiciastiques trachytiques. C'est la première fois que des niveaux archéologiques en relation avec des produits d'éruptions trachytiques en Limagne sont mis en évidence sur une même coupe. C'est produits - dénommés *Formation de Marsat* - sont variés, une coulée boueuse à éléments trachytiques (lahar primaire : faciès distal d'une coulée pyroclastique), alluvions torrentielles (lahar secondaire) et retombées (fall). L'origine de ces produits éruptifs est clairement le Puy Chopine distant de plus de 10 kilomètres du gisement. On montre ainsi, pour la première fois, l'importance et la diversité des dépôts éruptifs et épiéruptifs liés aux éruptions trachytiques de la Chaîne des Puys. La Formation de Marsat (produits de l'éruption du puy Chopine) a été le premier exemple de dépôts pyroclastiques affectant directement un campement mésolithique en Limagne au Boréal. Le panache résultant de cette éruption de puy Chopine était orienté vers le Sud : le téphra de la Taphanel (Juvigné, 1987) en résulte et forme le lobe de dispersion le plus important reconnu en Auvergne. Après plusieurs publications évoquant la Formation de Marsat, un article récent de la revue *Quaternaire* (Vernet et Raynal, 2008) fait le point sur ces dépôts pyroclastiques.
- Le Téphra CF7 est composé de fragments anguleux centimétriques de trachytes, témoins distaux de l'explosion d'un dôme. Ils sont présents sous forme de retombée (fall) dans des colluvions ou à la base des terres noires de Limagne, mais également dans des faciès distaux de coulées pyroclastiques (flow) près de la faille bordière occidentale de la Limagne. CF7 est rattaché au cratère Kilian et son dépôt est contemporain d'occupations préhistoriques (une sur le plateau des Dômes et une dans le bassin de Clermont-Ferrand) rattachées au Sauveterrien et située au cours du 7^{ème} millénaire avant J.-C. La mise en évidence d'un faciès de coulée pyroclastique (qui a atteint la Limagne en s'écoulant par un des ravins entaillant l'abrupt de la faille bordière occidentale) renforce les observations faites à Marsat et confirme que des phénomènes violents et destructeurs (coulées pyroclastiques, déferlantes, la-

hars) ont accompagné les éruptions trachytiques et atteint la Limagne à plusieurs kilomètres des points éruptifs. Ce téphra a été défini et publié en 2001 (Vernet et Raynal) dans les actes du XIVe Congrès, UISPP de Liège (Belgique), puis dans un article récent de la revue Quaternaire (Vernet et Raynal, 2008) nous avons montré l'existence de différents faciès (en particulier, le faciès de coulée pyroclastique).

- Téphra de Sarliève : Il s'agit d'une lamine de cendres trachytiques qui, dans un premier temps, a été rapprochée du téphra CF5 puis des produits explosifs initiaux du Sarcouy. Une datation TL a donné un âge de 16 ± 4 ka (2σ) qui posait problème. Les assemblages polliniques des sédiments le contenant sont caractéristique du début du Subboréal (vers 5,3/5,5 ka). Si l'on considère l'ensemble des données permettant de reconstituer l'histoire du paléo-lac de Sarliève, il faut retenir un âge subboréal pour cette retombée volcanique. Le Téphra de Sarliève serait donc le téphra distal le plus récent découvert en Limagne. Il serait plus jeune, d'environ 1 000 ans, que la dernière éruption connue dans la Chaîne des Puys, l'éruption du Pavin. Ce téphra a été défini et publié dès 2001 (Vernet et Raynal) dans les actes du XIVe Congrès, UISPP de Liège (Belgique), puis deux comptes rendus Géoscience (Miallier *et al.*, 2004 et Fourmont *et al.*, 2006) ont précisé sa nature et surtout son âge.
- Dans le secteur de Nohanent, le Téphra Y apparaît comme des dépôts résultent de mécanismes d'écoulements et de souffles éruptifs lors d'une phase éruptive à caractère phréatomagmatique. Les clastes de lave juvénile de ce dépôt pyroclastique sont parfaitement comparables à ceux du téphra CF5. Les positions stratigraphiques de ces deux téphras sont identiques (entre CF4 et CF6). Nous proposons de corréliser CF5 et le Téphra Y : CF5 étant le faciès de retombée (fall) en Limagne alors que le Téphra Y représente les faciès de coulées pyroclastiques (flow) et de souffles éruptifs (surge) de la même éruption, celle du puy Vasset. La mise en évidence de microfaciès de coulée pyroclastique et de souffle éruptif montre encore une fois la violence des éruptions trachytiques de la Chaîne des Puys au Boréal. Durant cette période, la Limagne occidentale a donc enregistré trois épisodes éruptifs violents : la Formation de Marsat (éruption du puy Chopine), le téphra CF7 (éruption du cratère Kilian) et le Téphra Y/CF5 (éruption du puy Vasset).
- Téphra Z : des travaux de construction, dans le secteur des Quatre Routes à Clermont-Ferrand, ont permis d'observer des coupes particulièrement spectaculaires où la téphroséquence du bassin Clermontois était bien développée. Un niveau limoneux beige, situé entre CF7 et CF6, a été interprété comme un nouveau dépôt pyroclastique de type coulée pyroclastique distale (assez proche du faciès de CF7). L'analyse des minéraux lourds confirme la nature volcanique (plutôt à magma trachytique) de ce dépôt. Une analyse à la microsonde est en cours afin de confirmer la nature du magma. le volcan source reste inconnu. La découverte de ce nouveau témoin de coulée pyroclastique distale (Téphra Z) porte à quatre le nombre d'épisodes éruptifs violents, trachytiques et ayant engendré des coulées pyroclastiques au cours du Boréal.

6 - Synthèse sur les téphras distaux attribués au puy de La Nugère. La reprise de l'ensemble des données disponibles sur le puy de la Nugère (édifice et produits distaux) permet de proposer une vision assez complète de l'histoire de ce volcan dont l'édification a lieu durant la fin du Tardiglaciaire et le début de l'Holocène, période où les derniers chasseurs magdaléniens et les premiers chasseurs-cueilleurs mésolithiques fréquentent le massif Central. L'histoire éruptive de La Nugère reste aujourd'hui la même que celle établie dans les années 1974-1975 par Guy Camus et l'on manque encore cruellement de données pour les phases anciennes.

Nous proposons de retenir seulement quatre téphras :

- La retombée de La Moutade,
- Le Téphra CF1a,
- Le Téphra CF1b,
- La retombée supérieure de Gimeaux.

Chacun de ces téphras peut être rattaché à une phase éruptive du puy de La Nugère. L'ensemble de ces quatre téphras est issu des phases finales trachyandésitiques de ce volcan.

Les trois premiers téphras (retombée de La Moutade, Téphra CF1a et Téphra CF1b) sont corrélés à la phase explosive paroxysmale qui voit l'édification d'un vaste cratère explosif (Nouvelle Nugère) dans lequel s'installe un lac de lave. Le vaste lobe de dispersion oriental (jusqu'au Plateau Suisse et dans le Jura) du complexe téphrique CF1a/CF1b confirme la puissance de la phase explosive paroxysmale du Puy de la Nugère et fait de CF1a et CF1b les marqueurs de cette phase paroxysmale, aussi bien régionalement qu'à une échelle plus vaste. Enfin, ils sont des marqueurs caractéristiques de l'Alleröd aussi bien dans les séquences palustres de Limagne que dans les tourbières orientales et méridionales du Massif central français et aussi dans les séquences lacustres du Jura et du Plateau Suisse.

La composition géochimique de la retombée supérieure de Gimeaux permet de la rapporter à la phase effusive terminale (puy de Louve) qui voit le débordement du Lac de Lave et l'édification de cônes (puy de Louve) et la mise en place de coulées (coulée de Volvic).

Cette synthèse a fait l'objet d'une publication (Vernet et Raynal, sous presse) dans les actes du colloque « Centenaire de la Société Préhistorique Française » (Colloque du Puy-en-Velay, 22-24 octobre 2004).

*** Dans le bassin de Venosa (Italie)**, l'étude de la série volcano-sédimentaire montre clairement le fort impact de l'activité éruptive du Monte Vulture. En plus des retombées distales (fall) (excellents marqueurs stratigraphiques), cette série comporte des produits pyroclastiques variés tel que des lahars, des coulées pyroclastiques (flow), des déferlantes (surge) et des cinérites. Les campagnes de terrain de 1993 et 1994 avaient permis de différencier deux formations distinctes au sein de la série du bassin de Venosa -la *Formation de Piano Regio* et la *Formation de Tufarelle* plus récente- et de montrer l'existence de téphra dont l'origine exotique (Campanie, Latium ?) ne peut être écartée. Le bassin de Ve-

nosa est connu pour ces importants sites du paléolithique ancien, le gisement de Loreto par exemple est indiscutablement positionné dans la série de Tufarelle, comme l'attestent les faciès souvent carbonatés et la présence des trois retombées repères définies dans le stratotype. Sur le site de Notarchirico, une retombée cinéritique, la téphra de Notarchirico, est un élément d'importance pour positionner le site par rapport aux séries volcano-sédimentaires du bassin. L'étude de carottes effectuées au niveau du site de Notarchirico montre que la *Formation de Piano Regio* constitue l'assise du gisement acheuléen. Elle est constituée d'une succession de coulées pyroclastiques et de retombées pliniennes à ponces. La campagne de terrain de 1995 a permis l'étude détaillée de cette formation de Piano Regio, caractérisée par l'empilement de coulées pyroclastiques, de retombées pliniennes à ponces mais également de niveaux de tufs vésiculés, de lapilli accréionnés et de niveaux de blasts qui montrent que le bassin de Venosa a été affecté directement par des souffles violents et orientés (surge) provenant du MonteVulture.

* **Le programme sur la Campanie**, initié en 1994, a été développé en 1995. Deux axes principaux peuvent être dégagés. Les recherches sur les niveaux téphriques des grottes du littoral de Salerne orientent nos recherches sur l'ignimbrite campanienne et feront l'objet d'une mission de terrain spécifique en juin 1996. L'étude du niveau ponceux sur le site de la Starza (Ariano-Irpino) permet d'aborder l'étude des produits des éruptions pliniennes du Vésuve et en particulier celle responsable de la dispersion des ponces dites « d'Avellino ». Les premiers résultats ont fait l'objet d'une présentation lors d'un colloque sur les ponces d'Avellino à Ravello en 1994 (Vernet, Raynal et Albore Livadie, 1999). Enfin, j'ai participé (2001) à l'étude des dépôts téphriques de l'éruption des ponces d'Avellino qui ont fossilisé l'exceptionnel site de Croce del Papa à Nola (3500 BP), la Pompéi de la Préhistoire. L'étude des dépôts de l'éruption « des ponces d'Avellino » a permis de définir les microfaciès des différentes phases de l'éruption. Pour la phase phréatomagmatique, on retiendra la mise en évidence de lapilli accréionnés, du microfaciès à proto-lapilli accréionné ou lapilli accréionné de type 1 (faciès de pseudo-sable) et du microfaciès à micro-litages granoclassés. Nous considérons ces deux derniers microfaciès comme caractéristiques des déferlantes (surge). L'impact de chacune des phases de cette éruption sur les cabanes du Bronze ancien a été précisé et explique la destruction, mais aussi l'exceptionnelle conservation, des structures anthropiques.

* **En Martinique** (depuis 1997), Une nouvelle téphrochronologie de la Montagne Pelée est proposée à partir des observations en milieu archéologique.

Nous avons défini cinq épisodes éruptifs :

- *Le téphra supérieur de Vivé (TV1)* : il intervient lors de l'occupation du site de Vivé par des amérindiens de culture saladoïde ancienne, c'est-à-dire vers le IV^{ème} siècle. Il pourrait être rapporté à l'éruption datée vers 280 AD, soit l'éruption P2 de Traineau *et al.*

- *Le téphra inférieur de Moulin l'Étang. (TME2)* : il est nettement antérieur à l'occupation des sites de Vivé et de Moulin l'Étang (c'est-à-dire au IV^{ème} siècle). En effet, son sommet est toujours nettement affecté par le développement d'un sol qui contient les vestiges archéologiques. Il pourrait être rapporté à l'éruption datée vers 60 avant J.-C., soit l'éruption P3 de H. Traineau *et al.*

- *Le téphra inférieur de Saint-Pierre. (TSP2)* : le paléosol qui le surmonte contient des vestiges archéologiques de la phase saladoïde récente à la phase suazoïde, soit du V^{ème} au XIII^{ème} siècle après J.-C. . Il pourrait donc être rapporté à deux éruptions, soit P2 (vers 280 après J.-C.), ou bien P3 (vers 60 avant J.-C.).

- *Le téphra supérieur de Saint-Pierre. (TSP1)* : il est postérieur à l'occupation du site de l'habitation Perinelle à Saint-Pierre. Le matériel archéologique le plus récent du site appartient à la phase suazoïde (XIII^{ème} siècle après J.-C.). Il pourrait donc être rapporté à P1 (vers 1300 après J.-C.).

- *Le complexe téphrique de Saint-Pierre. (CTSP)* : il est postérieur à l'occupation du site de la future Sous-Préfecture à Saint-Pierre. Le matériel archéologique le plus récent du site appartient au début de la phase suazoïde (autour de l'an Mil). Comme ce complexe téphrique ne trouve pas d'équivalent, il est donc impossible de le rattacher à une des phases éruptives de la Montagne Pelée définies par les volcanologues. Cependant, sa position au-dessus de vestiges amérindiens datés autour de l'an Mil fait qu'il ne peut être comparé qu'à l'épisode P1 de la fin du XIII^{ème} siècle.

L'interaction entre le volcanisme de la Montagne Pelée et le peuplement amérindien de la Martinique est démontrée. La vie des premiers martiniquais a été perturbée par des éruptions violentes de type plinien. Ce travail sur la relation entre l'occupation amérindienne de la Martinique et l'activité de la Montagne Pelée a fait l'objet de présentations, suivies de publications, dans trois colloques internationaux : Martinique, terre amérindienne. Une approche pluridisciplinaire, Fort-de-France, 2007 (Vernet *et al.*, sous presse) ; XIX^{ème} Congrès International d'Archéologie de la Caraïbe, ARUBA (Venezuela), 2001 (Bérard *et al.*, 2003) ; XIV^{ème} Congrès UISPP, symposium 15.2, Université de Liège, Belgique, 2001 (Bérard *et al.*, 2002).

CURRICULUM VITAE

CURRICULUM VITAE

VERNET Gérard

Né le 13 septembre 1960 à Chamalières (Puy-de-Dôme), Marié
7, rue du Mont Mouchet - 63320 CHADELEUF

Email professionnel : gerard.vernet@inrap.fr

ETUDES SECONDAIRES :

Baccalauréat D, 1978, Clermont-Ferrand

ETUDES SUPERIEURES :

- **DEUG** mention Sciences de la Nature et de la Vie

* Première année à Clermont II, 1980

* Deuxième année à Clermont II, 1981

* Unités de Valeur : Droit (2U.V.), Clermont II, 1981

* Langue vivante (anglais niveau 2), Clermont II, 1979 et 1980

- **Licence ès Sciences de la Terre**, mention Géologie expérimentale et appliquée, 1983, Clermont II. Modules : minéralogie et géochimie approfondies, géologie appliquée, massifs anciens, géochimie et méthodes mathématiques en géologie.

- **Maîtrise ès Science de la Terre**, mention Géologie expérimentale et appliquée, 1983, Clermont II. Modules : minéralogie et géochimie approfondies, géologie appliquée, massifs anciens, géochimie et méthodes mathématiques en géologie.

- **DEA Géologie du Quaternaire**, 1984, Bordeaux I. Paléontologie des vertébrés plio-pléistocènes, initiation à la Palynologie, géologie du Quaternaire (étude des formations superficielles, sédimentologie, micromorphologie, cartographie), préhistoire (stratigraphie en milieu anthropique, étude des civilisations préhistoriques d'Europe d'Afrique, étude des industries lithiques).

- **Doctorat de l'Université de Bordeaux I**

Titre de la thèse : *Message du Volcanisme régional dans les formations quaternaires de Limagne occidentale (Massif Central français), minéraux denses et retombées.*

Soutenance le 11 février 1992. Rapporteurs extérieurs : E. JUVIGNE (Université de Liège) et G. CAMUS (Université de Clermont II). Examineurs : Professeurs Bernard CLEMENT et Henri LAVILLE. Directeurs de thèse Jean-Paul RAYNAL/Jean-Pierre TEXIER.

FORMATIONS PARTICULIERES :



- Entre 2002 et 2008 : plusieurs stades de **formation « Hygiène et Sécurité »** dans le cadre de la participation aux **CHS** d'entreprise.
- Novembre 2004 : **formation « Management de projet et coordination d'équipes »** par AM GRH - Espace Elysée, 307 square des Champs Elysées, 91026 Evry cedex - (Formateur : Lounès Belkaïd).
- Octobre 2007 : **formation « Le Comité Technique Paritaire - Spécial »** par Emergences, formation conseil expertises (261, rue de Paris, 93556 Montreuil cedex).
- Avril 2008 : **formation « Techniques de direction de projet et d'équipes »**.

SITUATION PROFESSIONNELLE :

Ingénieur à l'AFAN (CDI) pour l'Antenne Interrégionale Rhône-Alpes/Auvergne après audition par la Commission Scientifique à Chassieu le 2 décembre 1993.

Ingénieur chargé de recherche (CDI) à l'INRAP (Institut National de Recherches Archéologiques Préventives) depuis 2001.

RATTACHEMENT SCIENTIFIQUE :

Chercheur à **GEOLAB UMR 6042 CNRS** : Laboratoire de Géographie Physique de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand.

MISSIONS D'ETUDE :

Missions sur des volcans actifs (Vésuve, Etna, Stromboli, Vulcano et Montagne Pelée) pour l'étude des dépôts actuels.

Missions en Campanie (Italie) sur des sites archéologiques et sur des séquences volcano-sédimentaires.

Missions dans le bassin de Venosa (Basilicate, Italie).

Missions en Martinique sur des sites précolombiens en relation avec le volcanisme de la Montagne Pelée.

COLLABORATIONS SCIENTIFIQUES :

Principaux organismes avec lesquels des collaborations ont été engagées :

- UMR 6524 « *Magmas et volcans* », OPGC - Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- PACEA « *De la Préhistoire à l'Actuel : Environnement et Anthropologie* » UMR 5199 CNRS - Université de Bordeaux 1.
- UMR 5140 « Archéologie des sociétés méditerranéennes », Université de Montpellier 3.
- Université des Antilles et de la Guyane, EP 312, Fort de France (Martinique).
- Laboratoire de physique corpusculaire, Université Blaise-Pascal, CNRS-IN2P3, UMR 6533, Aubières (France).
- UMR 6113 CNRS, ISTO-Tours, Laboratoire de Géologie des Environnements Aquatiques Continentaux (GéAC), Université François-Rabelais, Tours.
- Centre de datation par le radiocarbone, Université Claude-Bernard, Lyon 1.
- Service Régional d'Archéologie (SRA) de la Martinique (Fort de France).
- Centro Jean Bérard, Napoli (Italia).
- Université de Liège (Belgique), Fonds national de la Recherche scientifique.
- Università di Roma « La Sapienza », Dipartimento Scienze Storiche, Archeologiche e Antropologiche dell'Antichità, Sezione di Paleontologia, Piazzale A. Moro, Roma, Italia.
- Centro Universitario Europeo Per I Beni Culturali, Ravello, Italia.
- Osservatorio Vesuviano, Napoli, Italia.
- Department of Geography, Royal Holloway, University of London.
- « Emil Racovita » Speleological Institute, Romania and Stockholm University, Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm, Sweden.
- School of the Environment and Society, University of Wales Swansea, Singleton Park, Swansea, Wales, UK.

ACTIVITES D'ENCADREMENT ET CO-ENCADREMENT SCIENTIFIQUE D'ETUDIANT :

- * **Encadrant pour le stage de formation professionnelle** de deux étudiants pour leur 2ème année d'Histoire de l'Art (Université Blaise Pascal, U.F.R. Faculté des Lettres et Sciences Humaines) en 1992.
- * **Encadrant pour le stage de formation professionnelle** de quatre étudiants pour leur 2ème année d'Histoire de l'Art (Université Blaise Pascal, U.F.R. Faculté des Lettres et Sciences Humaines) en 1994.
- * **Participation à l'encadrement** d'un étudiant marocain (Mosshine El Graoui) lors de sa **Thèse de l'Université de Bordeaux I** (*Contribution à l'étude des formations littorales quaternaires de la région de Casablanca : sédimentologie, microfaciès et minéraux lourds* ; 1994). Cet encadrement a consisté en sa formation à l'étude des Minéraux denses (techniques de séparation et d'étude, interprétation des résultats). Mon implication à cette thèse a débouché sur une publication commune : *Message du volcanisme du Moyen Atlas (Maroc) dans la séquence quaternaire de Casablanca* (El Graoui et Vernet, 2001).
- * **Participation à l'encadrement** d'une étudiante (Manon Cabanis) lors de son **DEA environnement et archéologie** (session 2001-2002), *Etude carpologique du site de Sarliève*. Encadrement sur le terrain pour le choix de l'échantillonnage et la description des contextes sédimentaires.
- * **Participation à l'acquisition des données de terrain** pour une étudiante (Agathe Fourmont) pour sa **Thèse de l'Université de Tours** (*Erosion et sédimentation dans le bassin de Sarliève au Tardiglaciaire et à l'Holocène, impact des facteurs naturels et anthropiques* ; 2005). Cette participation a débouché sur une publication commune : Tephra in lacustrine sediments of Sarliève marsh (French Massif Central) : age and preservation, *C. R. Geoscience 338* (2006), p. 1141-1149 (A. Fourmon, J.-J. Macaire, J.-G. Bréhéret, J. Argant, B. Prat et G. Vernet, 2006).
- * **Co-encadrement** d'une étudiante (Delphine Malterre) en **Master Sciences de la Terre**, 1ère année (UBP, UFR Sciences exactes et Naturelles, Laboratoire Magmas et Volcans), Année universitaire 2004-2005. Titre du mémoire : *Etude volcanologique de téphras lié à l'éruption du Pariou - Phase initiale*.
- * **Co-encadrement** d'une étudiante (Lucie Choupin) en **Master Sciences de la Terre**, 1ère année (UBP, UFR Sciences exactes et Naturelles, Laboratoire Magmas et Volcans), Année universitaire 2004-2005. Titre du mémoire : *Etude volcanologique de téphras lié à l'éruption du Pariou*

ENSEIGNEMENT :

Mise en place d'un **enseignement en téphrostratigraphie (3 heures de cours magistraux)** pour les étudiants du Master M2 Géoenvironnement de GEOLAB UMR 6042 CNRS depuis 2004. Pour l'année universitaire 2009-2010 le cours évolue : *Influence du volcanisme sur les paléoenvironnements, apport à la connaissance du risque volcanique*.

Années universitaires 2008-2009, 2009-2010 et 2010-2011 : **cours magistral de 3 heures** sur les **méthodes de datation en géographie physique** en Master M1 Géoenvironnement de GEOLAB UMR 6042 CNRS.

Année universitaire 2010-2011 : **cours magistral de 3 heures** en Master M2 Géoenvironnement de GEOLAB UMR 6042 CNRS : *Lecture des archives sédimentaires en contexte archéologique*.

DIFFUSION DE LA CULTURE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE :

- * **Conférence « La Géologie du Quaternaire et l'Archéologie »** en 1987-1988 dans le cadre des journées de la Direction des Antiquités d'Auvergne (DRAC).
- * **Conférence « Initiation à la Préhistoire et à la Géologie du Quaternaire »** en 1990-1991 dans le cadre d'un cycle de conférences organisé par la Direction des Antiquités d'Auvergne pour les étudiants d'Histoire de l'Art de l'Université de Clermont-Ferrand.
- * **Conférence sur le site archéologique de Buxières-les-Mines** dans le cadre des cours de l'Ecole du Louvre (M. Alain Duval) au musée de Saint-Germain en Laye le 6 juin 1995.
- * **Conférence « Les volcans dans l'environnement des hommes préhistoriques »** pour l'Association des membres des Palmes académiques (AMOPA) le 22 février 1996 au CRDP de Clermont-Ferrand.
- * **Conférence « Volcanisme et archéologie en Basse-Auvergne et Velay »** au Centre de Documentation et de Recherche Archéologique Départemental de la Haute-Loire, Espaly-Saint-Marcel, le 17 août 1996.
- * **Conférence « L'homme préhistorique et le volcanisme »** à l'ARCHEO-LOGIS (Goudet, 43) en 2000.
- * **Conférence « Aspects de l'archéologie préventive en Auvergne »** à l'ARCHEO-LOGIS (Goudet, 43), le 9 août 2001.
- * **Conférence « Rituels gaulois d'après les fouilles récentes de Clermont-Ferrand »** à l'ARCHEO-LOGIS (Goudet, 43), le 10 juillet 2003.
- * **Conférence « Archéologie d'un marais : Sarliève en Limagne »** à l'ARCHEO-LOGIS (Goudet, 43), le 29 juillet 2004.

- * **Conférence « Quoi de neuf dans la Chaîne des Puys ? »** à l'ARCHEO-LOGIS (Goudet, 43), le 11 août 2005.
- * **Conférence « Un volcan et des hommes à la fin des temps glaciaires : le Puy de la Nugère »** à l'ARCHEO-LOGIS (Goudet, 43), le 27 juillet 2006.
- * **Conférence « Des retombées et des volcans »** à l'ARCHEO-LOGIS (Laussonne, 43), le 3 septembre 2009.
- * **Participation au film « Mémoires de volcans »**, direction scientifique : J.-P. RAYNAL, production : CRDP d'Auvergne, 2002.
- * **Participation aux éditions 4 (2004) et 5 (2009) de *Volcanologie de la Chaîne des Puys*** : responsable des chapitres 7 (Les retombées volcaniques distales de la Chaîne des Puys) et 12 (Hommes et volcans).
- * **Co-auteur** (avec A. GOURGAUD, P. BOIVIN, F.-D. DE LAROUZIERE et D. MIALLIER) de l'ouvrage : *Volcanisme en Auvergne. La Chaîne des Puys*, Editions APA-POUX, Albi, juin 2008.
- * **Participation à l'ouvrage *Planète Volcan, l'Auvergne pour comprendre le volcanisme*** (sous la dir. d'A. GOURGAUD, CRDP d'Auvergne, 2009).
- * **Participation à la réalisation du film « L'histoire des hommes de Marsat, chronique d'une éruption en Auvergne »** avec *Volcan Terre d'Eveil* présenté pour la Fête de la Science, novembre 2009.
- * **Animation d'un stand « A l'ombre des volcans d'Auvergne ; l'histoire des hommes de Marsat »** dans le cadre d'EXPO SCIENCES AUVERGNE, en collaboration avec *Volcan Terre d'Eveil*, le 05 juin 2010.
- * **Conférence « Les dangers des coulées pyroclastiques : exemples archéologiques »** à l'ARCHEO-LOGIS (Laussonne, 43), le 12 août 2010.
- * **Participation à la réalisation de « 350 Ma, le carnet, escales dans les temps géologiques de l'Auvergne »**, pour : « escale à Marsat en compagnie de chasseurs-cueilleurs ».

RESPONSABILITES SCIENTIFIQUES DANS UNE EQUIPE DE RECHERCHE :

Membre du projet « **Approche du peuplement préhistorique en zone volcanique active** », A.T.P. du CNRS « **Approches nouvelles en archéologie par les méthodes de la physique, de la chimie, des mathématiques et des sciences de la Terre** », responsable Jean-Paul Raynal (de 1985 à 1989).

Co-responsable (avec E. Juvigné) du thème 1 (**Dynamismes et faciologie volcanique actuelle, Téphrostratigraphie**) du **GDR 1122 CNRS « Hommes et Volcans avant l'histoire »**, responsable Jean-Paul Raynal (de 1995 à 2002).

Membre du PCR « **Espaces Volcaniques Préhistoriques** » et **animateur** de l'axe « **caractérisation de retombées repères à usage chronostratigraphique** » (de 1995 à 1998).

Chargé de l'étude des niveaux pyroclastiques de la Montagne Pelée dans le cadre du PCR (programme 32) « **Le Néolithique de la Martinique dans son contexte Antillais** », responsables Jean-Pierre Giraud puis Benoît Bérard (1995 - 2005).

RESPONSABILITES ADMINISTRATIVES ET COLLECTIVES:

Pendant sept ans (de 2002 à 2008), dans le cadre de la fonction d'**Adjoint Scientifique et technique (AST)** à l'INRAP, en charge de la région Auvergne, j'ai été l'**adjoint au Directeur** interrégional Rhône-Alpes/Auvergne et donc membre de l'équipe de direction de l'interrégion. En tant que **manager** pour l'Auvergne, j'étais le **responsable hiérarchique des agents opérationnels auvergnats (env. 37 CDI)**. J'étais également le **pilote régional de l'activité scientifique et l'interlocuteur avec les partenaires** (CNRS, Universités et Service Régional de l'Archéologie).

Depuis 2008, je suis **membre élu au conseil de laboratoire** de GEOLAB-UMR 6042 CNRS comme représentant des chercheurs INRAP rattachés à cette UMR.

FONCTIONS PARTICULIERES :

Inscrit sur la **Liste d'aptitude aux fonctions de Maître de Conférence des Universités** dans la spécialité Géologie.

Corresponding-Member de la "Commission on tephrochronology" de l'INQUA.

Membre de INQUA International Focus Group on Tephrochronology and Volcanism (INTAV).

Président de l'Association pour le Développement de l'Archéologie en Auvergne (ADAA).

Membre de la **Commission 31 UISPP/UNESCO** «Hommes et volcans actifs durant la Préhistoire et la Protohistoire».

Participant au projet **ENRICH** de la CEE, section *Volcanic Risk/Environnement and Climate Workprogramme*, thème **Volcanic pollution of the environment** (co-dir., J.P. GRATTAN et J.-P. RAYNAL).

Participant au projet **Zone Atelier CNRS « Bassin de la Loire », 2006-08** (Coord. J. BURNOUF et N. CARCAUD)

Membre de l'**EAVUC** (Equipe Associée de Volcanologie de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand).

Membre de l'association Archéo-Logis/CDERAD (Centre de Documentation et de Recherche Archéologique Départemental de Haute-Loire).

Membre du comité de lecture des **DARA** (Documents d'Archéologie en Rhône-Alpes et en Auvergne).

Relecture d'articles sur le thème des téphras pour la revue « **Quaternaire** ».

Expert pour le dossier de classement de la Chaîne des Puys au **Patrimoine Mondial (UNESCO)** porté par le Conseil Général du Puy-de-Dôme.

Membre du comité scientifique de « **350 Ma, le carnet, escales dans les temps géologiques de l'Auvergne** », collection les carnets de volterev, soutenu par le Conseil Régional d'Auvergne.

COLLOQUES et CONGRES :

- Influences méridionales dans l'Est et le Centre-Est de la France au Néolithique : le rôle du Massif Central, Le Puy, 3 et 4 octobre 1981. **Une communication.**
- Jubilé Henri PELLETIER, Clermont-Ferrand, 9 mars 1985.
- Première Table-Ronde franco-marocaine de Quaternaire et Préhistoire, Talence, 11, 12 et 13 février 1985.
- 11ème Réunion des Sciences de la Terre, Clermont-Ferrand, mars 1986. **Deux communications.**
- Relations entre les variations des paléomilieus, le peuplement préhistorique et l'occupation du sol, Colloque CNF-INQUA, Bordeaux, 3 et 4 mars 1986.
- Colloque AGF-AFEQ : Expérimentation et analyses de processus dans l'étude des milieux quaternaires, Caen, mai 1987.
- Le Lac du Bouchet : limnologie - paléolimnologie, coll. CERLAT - CEE, Le Puy-en-Velay, 3 et 4 mai 1988.
- Identité du Chasséen, Nemours, 17-19 mai 1989.
- International Conference on Active Volcanoes and Risk Mitigation, Jubilee of the Osservatorio Vesuviano, séance « Archéologie et Volcanologie », Napoli, 28-30 agosto 1991, **Une communication.**
- Paleosuperfici del Pleistocene e del primo Olocene in Italia - Processi di formazione e interpretazione. Istituto di Preistoria e Protostoria, XXX Riunione scientifica, Venosa e Isernia, 26-29 ottobre 1991. **Une communication.**
- 117ème Congrès des Sociétés Savantes (C.T.H.S.), Clermont-Ferrand, 26-30 octobre 1992. **Une communication et commentaires géologiques de l'excursion n° 2.**
- Colloque A.G.F. CERAMAC (Centre d'études et de Recherches Appliquées au Massif Central, à la moyenne montagne et aux espaces fragiles) : Morphologie volcanique et périvolcanique, Clermont-Ferrand, 5 décembre 1992.
- XVIIème Colloque International de l'Association Française pour l'Etude de l'Age du Fer (AFEAF), 20-22 mai 1993. **Une communication.**
- Symposium « Quaternary stratigraphy in volcanic areas », INQUA SEQS-Sub-commission on European Quaternary Stratigraphy, Rome, 20-22 septembre 1993. **Deux communications.**
- Préhistoire et volcanisme, réunion S.P.F., Lyon, 2 octobre 1993. **Deux communications.**
- Il sistema Uomo-Ambiente tra Pasato e Presence, Secondo Seminario Internazionale, Ravello, Villa Rufolo, 3-6 giugno 1994. **Une communication.**
- L'eruzione vesuviano delle « Pomici di Avellino » e la facies di Palma Campania (Bronzo Antico), Centro Universitario Europeo Per I Beni Culturali, Ravello, 15-17 luglio 1994. **Une communication.**
- Volcanoes in the Quaternary, QRA and Volcanic Studies Group Joint Meeting, Geological Society, Burlington House, London, 3rd-4th May 1995. **Un Poster.**
- Excursion de l'AFEQ en Auvergne (Limagne, retombée montdorienne, Artense) sous la direction de A. de Goër de Herve et B. Valadas, 26-27 mai 1995. **Commentaire d'une téphroséquence dans le bassin de Clermont-Ferrand (arrêt 1) et participation au livret guide.**
- Géoarchéologie, S.R.A. Rhône-Alpes, Lyon, 17 et 18 novembre 1995. **Président de la séance « Versants » et rapporteur des communications.**
- Siti archeologici ed eruzioni flegree, corso-seminario, Centro Universitario Europeo Per I Beni Culturali, Ravello, 10-12 dicembre 1995. **Une communication.**

- XIII Congress of the International Union of Prehistoric and Protohistoric Sciences (UISPP), Forlì, Italy, 8-14 september 1996. **Deux communications (une dans la sous-session 5.1 et une dans le workshop 6) et participation à la présentation des sites de Notarchirico et Loreto (Venosa, Basilicate) lors de l'excursion « Sud de l'Italie ».**
- INQUA COT/UISSPP 31 Inter-Congress Symposium, Téphrochronologie et coexistence Hommes-Volcans, Brives-Charensac, France, 24-29 août 1998. **Cinq communications et participation à l'excursion.**
- XIXème Congrès International d'Archéologie de la Caraïbe, ARUBA (Venezuela), 22-28 juillet 2001. **Une Communication.**
- XIV ème Congrès UISPP, symposium 15.2, Université de Liège, Belgique, 2-8 septembre 2001. **Trois communications.**
- 5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Clermont-Ferrand, 8 et 9 novembre 2002. **Membre du comité scientifique et du comité local d'organisation de l'exposition. Quatre communications.**
- Centenaire de la Société Préhistorique Française (SPF), Colloque du Puy-en-Velay, 22-24 octobre 2004. **Trois communications.**
- ESF (European Science Foundation) Exploratory Workshop : Building a tephrochronological framework for Europe ; the key to better models of abrupt environmental change, university of Wales, SWANSEA, 9-12 avril 2005. **Présentation (avec J.-P. Raynal) de « Key Tephros in Western Limagne (Massif Central, France) over the Last Termination and Holocene ».**
- Séminaire INRAP : La géoarchéologie appliquée au diagnostic des sites du Néolithique à nos jours, Paris, 22 et 23 mai 2006. **Organisation du séminaire (avec D. Dubant et L. Sauvage).**
- Journée AFEQ/SGF, Téphras et séquences quaternaires (sous la direction de J.-F. Pastre), Société Géographique Française, Paris, 6 novembre 2006. **Une Communication.**
- Séminaire international : Martinique, terre amérindienne. Une approche pluridisciplinaire, Fort-de-France (Martinique), 8 et 9 mai 2007. **Une communication.**
- Lac Pavin 2009 et autres lacs méromictiques, colloque international, Besse et Super-Besse (Puy de Dôme, France), 14-16 mai 2009.
- Réunion sur les trachytes de la Chaîne des Puy, Laboratoire Magmas et Volcans – Clermont-Ferrand, 11 juin 2010. **Une Communication.**

RESUME DE CARRIERE :

1986-1988 : Service National actif au Ministère des Affaires Sociales et de l'Emploi ; affecté à la Direction des Affaires Culturelles d'Auvergne. **Participation à l'étude d'impact archéologique :** projet du barrage de Serre-de-la-Fare (43), 1986 Circonscription des Antiquités d'Auvergne.

1988 : Vacataire à la Direction des Affaires Culturelles d'Auvergne :

- réalisation de la carte archéologique,
- **responsable** de l'étude communale de Thuret (63).

1989 : Vacataire AFAN

- **Direction** du chantier de fouilles archéologiques de la Caserne Battesti à Clermont-Ferrand (63),
- **Responsable d'opération** pour l'étude d'impact concernant l'aménagement d'un golf à Serbannes (03) : étude des formations superficielles plio-pléistocènes et recherche d'industries anciennes,
- **Chargé de l'étude** d'impact concernant une carrière à Pont-du-Château (63) : étude et cartographie des formations superficielles holocènes et recherche de sites archéologiques potentiels.

1990-1992 : Vacataire AFAN

- **Direction** du chantier de fouilles de Trizac (15) : 1990 sondages ; 1991 fouille d'un habitat médiéval en vue de sa datation et d'une reconstitution architecturale,
- **Responsable** de l'étude communale de Brioude (43) : prospections, photo-interprétation, toponymie et recherche de sites préhistoriques sur les terrasses de l'Allier,
- **Responsable** de l'étude communale de Coudes (63) : prospections, photo-interprétation, sondages dans les basses terrasses de l'Allier,

- **Responsable** de l'aménagement de l'aire archéologique de Châlet à Massiac (15) sur l'autoroute Clermont/Saint-Flour : présentation au public des objets découverts, reconstitution d'une voie gallo-romaine et du tumulus de Mons (15), remise en place d'un menhir,
- **Responsable** de l'étude communale d'Ardes-sur-Couze (63) : prospection et toponymie,
- **Chargé de l'étude** d'impact concernant l'extention des houillères de Buxières-les-Mines : 1990 recherche bibliographique, photo-interprétation, prospection ; 1991 sondages et étude du matériel provenant d'ateliers de fabrication de bracelets en schiste bitumineux d'époque protohistorique.
- **Responsable d'opération** pour les fouilles archéologiques de Buxières-les-Mines de juin à novembre 1992 : études de structures anthropiques liées aux ateliers de production d'objets en schiste de la Tène finale ; dégagement en planimétrie d'un grand domaine médiéval à moderne et d'un bâtiment gallo-romain.
- **Chargé de l'étude** archéologique du centre bourg de Domérat (03) en décembre 1992 : mise en évidence d'un fossé défensif à palissage et de sépulture en relation avec l'église.

1993-1994 : Vacataire AFAN.

- **Chargé de l'étude** archéologique sur le tracé de la Sortie Ouest de Clermont-Ferrand (63) de janvier 1993 à mars 1993 : mise en évidence d'un site du Néolithique moyen (Chasséen), de 4 sites d'époque gallo-romaine et diverses observations sur la géométrie et la nature de formations alluviales de la vallée de l'Artière (en particulier mise en évidence d'un paléosol Riss/Würm et d'une retombée volcanique dans la basse terrasse).
- **Responsable d'opération** pour les fouilles archéologiques de Buxières-les-Mines (03) d'avril 1993 à juin 1993 : étude des structures anthropiques liées aux ateliers de production d'objets en schiste de la Tène finale.
- **Responsable d'opération** pour l'ensemble des opérations archéologiques (sondages, évaluations, fouilles de sauvetage) sur le tracé du contournement autoroutier de Gannat (03) A 719 de juillet 1993 à mars 1994 : les opérations archéologiques en cours de réalisation concernent plusieurs périodes chronologiques (Acheuléen, Badegoulien, Néolithique, Bronze moyen, Tène finale, Gallo-romain et Haut Moyen Age).
- **Responsable d'opération** pour la fouille du site de la Contrée Viallet (Site n°10, GANNAT A 719), site de plein air badegoulien avec structure en pierres sèches contenu dans un paléosol de l'interstade de « Lascaux ».
- **Responsable d'opération** de sondages archéologiques à Saint-Beauzire (63) : mise en évidence du parcellaire antique et observations sur les « Terres Noires » de Limagne.

1994-2001 : Ingénieur AFAN, Inter-région Rhône-Alpes/Auvergne. Responsable d'opération de diagnostic et de fouille et Géoarchéologue pour la région Auvergne.

- **Responsable d'opération** de sondages archéologiques dans la Zone Industrielle du Brezet à Clermont-Ferrand (63) en 1997 : mise en évidence d'une occupation du néolithique ancien (Cardial et Rubané) et de structures à amphores de La Tène.
- **Responsable d'opération** pour la fouille « du Brezet » à Clermont-Ferrand en 2000 : nécropole du néolithique moyen et mise en évidence du caractère cultuel des structures de La Tène.
- **Responsable des opérations** de diagnostic et de fouille sur le site de « La Grande Halle d'Auvergne » à Sarliève en 2000 et 2001 : étude paléoenvironnementale du paléo-lac de Sarliève et fouille d'une importante implantation de La Tène (habitat et nécropole).
- **Géoarchéologue** : réalisation d'études et participation à des DFS (Document final de Synthèse) pour des opérations de diagnostic ou de fouille.
- **Etude géomorphologique** du site « La Savanne des pétrifications » (97226 003 AP, commune de Sainte-Anne, Martinique) ; Document final de synthèse AFAN, 1997, Benoît Bérard, Fort de France.

2001-juillet 2002 : Ingénieur chargé de recherche INRAP, Inter-région Rhône-Alpes/Auvergne. Responsable d'opération de diagnostic et de fouille et Géoarchéologue pour la région Auvergne.

- **Responsable des opérations** de diagnostic et de fouille sur le site de « La Grande Halle d’Auvergne » à Sarliève : rédaction du DFS et coordination des contributions des différents intervenants.

- **Géoarchéologue** : réalisation d’études et participation à des DFS (Document final de Synthèse) pour des opérations de diagnostic ou de fouille.

2002-2008 : occupe la fonction d’AST (Adjoint Scientifique et Technique Auvergne) dans l’équipe de direction INRAP de l’inter-région Rhône-Alpes/Auvergne. Ingénieur chargé de recherche (géoarchéologue) INRAP.

Géoarchéologue : réalisation d’études et participation à des DFS (Document final de Synthèse) pour des opérations de diagnostic ou de fouille. Observation systématique des séquences sédimentaires lors de la préparation des dossiers et/ou lors de la visite de chantier en cours d’opération.

COLLABORATIONS SCIENTIFIQUES NON REMUNERÉES :

- **Etude minéralogique** pour le mémoire de Maîtrise d’Histoire médiévale de Didier DUBANT : Etude archéologique des fossés défensifs de la ville de Tours (Secteur de la Cité), 1987, Université François Rabelais, UER Sciences de l’Homme,

- **Etude archéologique** : plateau des Côtes de Clermont, périmètre d’exploitation de la carrière des Basalte du Centre, 1987, Circonscription des Antiquités d’Auvergne,

- **Collaboration pour les fouilles de Davayat (63) à la brochure** *Archéologie et Autoroute A 71 : Deux millions d’années en Auvergne* réalisée par André DELPUECH, Circonscription des Antiquités d’Auvergne,

- **Etude géologique** pour le rapport du programme de Prospection-inventaire : les produits céramiques aux époques historiques dans la région de Lezoux (63), 1987, Circonscription des Antiquités d’Auvergne,

- **Etude minéralogique** des téphra de la carotte GEOCLER I (Clermont-Ferrand, Puy-de-Dôme) dans le cadre de : Approche du peuplement préhistorique en zone volcanique active, ATP du CNRS “Approches nouvelles en archéologie, voir rapport final (RAYNAL *et al.*, 1988, diffusion restreinte).

- **Participation** à l’étude de l’environnement géologique du site de Blassac (43), 1989.

- **Participation** aux différentes études en France et en Italie réalisées dans le cadre des activités du GDR 1122 CNRS.

- **Etude sédimentaire** du site protohistorique « Ipogeo 743 di Lavello (Pz) », fouille dirigée par le Pr Mirella Cipolloni Sampo (Scuola di Specializzazione in Archeologia, Università degli Studi di Roma, La Sapienza) ; octobre 1995.

- **Etude pétrographique** d’artefacts (bifaces) de collections anciennes de divers sites du paléolithique inférieure de Venosa (Basilicate, Italie) dans le cadre de la thèse de Carmen SANTAGATA ; novembre 2009.

COMPÉTENCES EN GÉOLOGIE DU QUATÉNAIRE :

- **Minéralogie** : en particulier les minéraux denses.

- **Pétrographie** : en particulier des roches éruptives.

- **Sédimentologie**

- **Spécialiste de l’étude des téphras distales (retombées volcaniques)** en milieu naturel et en milieu archéologique : **minéralogie, géochimie, microfaciologie et étude en lame mince de grand format (micromorphologie).**

Thème de recherche principal : étude de la relation Homme/Volcan en zone volcanique active. Il s’agit de caractériser les témoins distaux des éruptions en contexte archéologique mais aussi d’étudier le volcan, l’environnement global du site archéologique, de quantifier les impacts des phénomènes éruptifs sur l’environnement et sur l’homme.

Cette recherche s'applique à des régions diverses (Massif Central français, Italie méridionale et Caraïbes), de façon diachronique (du paléolithique ancien jusqu'à la période moderne), dans des milieux variés (colluvial, alluvial, palustre et lacustre, remplissages de grottes et abris).

Autres compétences en géologie du Quaternaire :

- * Étude des formations sédimentaires en Limagne d'Auvergne en relation avec les occupations humaines.
- * Étude des stratigraphies des sites du paléolithique ancien.
- * Étude globale des séquences tardiglaciaires dans le Massif Central français.
- * Étude géologique des sites néolithiques et de l'Âge du Bronze.
- * Étude des formations alluviales.

COMPÉTENCES EN ARCHÉOLOGIE :

- * **Étude des sites préhistoriques**, en particulier le paléolithique ancien et le paléolithique supérieur.
- * **Compétence particulière pour l'étude des sites néolithiques et de l'Âge du Bronze en Auvergne.**
- * **Bonne connaissance pour les sites de l'Age du Fer** du Bassin de Clermont-Ferrand.
- * **Grande expérience dans les évaluations archéologiques.**
- * **Encadrement d'équipe de fouille importante et expérience dans la coordination d'opérations archéologiques sur tracé linéaire.**

COMPÉTENCES EN MANAGEMENT DE PROJET ET COORDINATION D'ÉQUIPES :

Coordination et administration de l'opération archéologique sur l'A719 (Gannat, 03) (1993-1994) : cette opération a comporté le management des divers projets de diagnostic et de fouille, l'encadrement d'équipes et la relation avec nos partenaires (l'aménageur – SAPRR – et les propriétaires).

Encadrement une équipe importante sur les fouilles de Buxières-les-Mines (03) de juin à novembre 1992 et d'avril 1993 à juin 1993.

Encadrement une équipe importante sur la fouille du « Brezet » à Clermont-Ferrand (63) en 2000.

Management du Projet d'archéologie préventive sur « La Grande Halle d'Auvergne et le Zenith », **coordination** des différentes équipes de recherche et **encadrement d'une importante équipe** de fouille en 2000 et 2001.

Pendant sept ans, dans le cadre de la fonction d'Adjoint Scientifique et technique (AST) en charge de la région Auvergne, j'ai été **adjoint au Directeur** interrégional Rhône-Alpes/Auvergne et donc membre de l'équipe de direction de l'interrégion. En tant que **manager** pour l'Auvergne, j'étais **le responsable hiérarchique des agents opérationnels auvergnats (env. 37 CDI) mais aussi chef de projets**. Du point de vue scientifique, j'étais le **pilote régional de l'activité scientifique** et l'interlocuteur avec le CNRS, Les Universités et le Service Régional de l'Archéologie. Je dirigeais et orientais les projets de recherche des agents.

LISTE DES PUBLICATIONS

ET

LISTE DES RAPPORTS AFAN/INRAP

LISTE DES PUBLICATIONS

- 1 - **VERNET G.** (1981) - Découverte d'une statuette chasséenne à Prompsat, *Brayauds et Combrailles*, N°28 (N.S. N°10), p. 8-9.
- 2 - **VERNET G.** et BARTHELEMY S. (1983) - Nouvelles données sur le Chasséen en Basse-Auvergne, *Bull. de la Soc. d'Anthropologie du Sud-Ouest*, t. 18, N°3, p. 127-132.
- 3 - DAUGAS J.P., ROGER J.M. et **VERNET G.** (1984) - Les statuettes chasséennes en céramique du Massif Central (Puy-de-Dôme, Haute-Loire, Gard), *Actes du 8ème Colloque interrégional sur le Néolithique*, le Puy 1981, Clermont-Ferrand, CREPA Ed., p. 185-196.
- 4 - **VERNET G.** et PAQUEREAU M.M. (1986) - Le cours moyen de la Morge (Puy-de-Dôme) au Pléistocène : éléments de chronologie et de paléoenvironnements, *11ème R.A.S.T., Clermont-Ferrand*, S.G.F. Ed., Paris, p. 181.
- 5 - MAGOGA L., **VERNET G.** et TUFFERY C. (1986) - Le peuplement préhistorique de la région de Vichy : Relations avec les formations alluviales de l'Allier, *11ème R.A.S.T., Clermont-Ferrand*, S.G.F. Ed., Paris, p. 118.
- 6 - BRACCO J.P., **VERNET G.** et VIALLET P. (1987) - Le Serre-de-la-Fare (Haute-Loire) : Méthodologie et résultats d'une étude d'impact, *R.A.C.F.*, t. 26-2, p. 210-211.
- 7 - **VERNET G.** et DELPUECH A. (1987) - Fosses protohistoriques à Davayat, in : Deux millions d'années en Auvergne, *Archéologie et Autoroute A 71*, p. 37.
- 8 - RAYNAL J.P., MIALLIER D., **VERNET G.**, FAIN J., CAMUS G., MONTRET M., DAUGAS J.P. et SANZELLE S. (1988) - Extension de la datation par thermoluminescence à une retombée trachy-andésitique rapportée au Puy de Pariou (Chaîne des Puys, France), *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 308, Série II, p. 1547-1552.
- 9 - **VERNET G.** (1989) - in RAYNAL J.P. et al. (1989) - Les minéraux en grains du forage GEOCLER I (p. 55-56) et Caractérisation minéralogique des formations alluviales en grande Limagne septentrionale (p. 84-87). in *ATP du CNRS Approches nouvelles en Archéologie par les méthodes de la Physiques, de la Chimie, des Mathématique et des Sciences de la terre. Projet Approche du peuplement préhistorique en zone volcanique active. Rapport final*. Institut du Quaternaire de l'Université de Bordeaux 1 Ed., 31 décembre 1988, 123 p., diffusion restreinte.
- 10 - **VERNET G.**, RAYNAL J.P., MIALLIER D., PILLEYRE T., FAIN J., SANZELLE S. et MONTRET M. (1990) - La retombée de la Moutade, marqueur stratigraphique de l'Alleröd en Limagne septentrionale (Massif Central, France), *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 310, Série II, p. 1077-1082.
- 11 - MAGOGA L., **VERNET G.** et TUFFERY C. (1991) - Le peuplement préhistorique de la région de Vichy : relations avec les formations alluviales de l'Allier. in *Datation et Caractérisation des Milieux Pléistocènes*, Actes des Sumposiums 11 et 17 de la 11ème R.S.T., Clermont-Ferrand, 1986, *Cahiers du Quaternaire N°16*, p. 225-240.

- 12 - **VERNET G.** et PAQUEREAU M.M. (1991) - Le cours moyen de la Morge et de ses affluents (Puy-de-Dôme, France) au Pléistocène : éléments de chronologie et de paléoenvironnement, in *Datation et Caractérisation des Milieux Pléistocènes*, Actes des Symposiums 11 et 17 de la 11ème R.S.T., Clermont-Ferrand, 1986, *Cahiers du Quaternaire N°16*, p. 431-449.
- 13 - **VERNET G.** (1991) - Deux niveaux de retombées volcaniques à la base des travertins hydrothermaux de Gimeaux, in : *Le monde extraordinaire des sources de Gimeaux*, H. GIRARD éd., 2ème trimestre 1991, p. 7-9.
- 14 - LEFEVRE D., PILLEYRE T., **VERNET G.** et RAYNAL J.P. (1991) - Datation per termoluminescenza della serie di Venosa-Notarchirico. *Istituto italiano di Preistoria e Protostoria, XXX Riunione scientifica "Paleosuperfici del Pleistocene e del primo olocene in Italia - Processi di formazione e interpretazione"*, Venosa ed Isernia, 26 ottobre 1991, Résumés, p. 7.
- 15 - MAGOGA L., RAYNAL J.P. et **VERNET G.** (1991) - Une industrie préacheuléenne en Brivadois (Haute-Loire, France). *Revue Archéologique du Centre de la France*, t. 30, p. 151-157.
- 16 - **VERNET G.** (1992) - *Message du volcanisme régional dans les formations quaternaires de Limagne occidentale (Massif Central français), minéraux denses et retombées*. Thèse de l'Université de Bordeaux 1, spécialité : Géologie du quaternaire, N° d'ordre : 724, 335 p.
- 17 - **VERNET G.** (1992) - Buxières-les-Mines, un atelier de production de bracelets en schiste. *AFAN-INFOS*, N°5, décembre 1992, 1 p.
- 18 - JUVIGNE E., KROONENBERT S., VELDKAMP A., EL ARABI A. et **VERNET G.** (1992) - Widespread Alleröd and Boreal trachyandesitic to trachytic tephra layers as stratigraphical markers in the Massif Central, France. *Quaternaire*, 3, (3-4), 1992, p. 137-146.
- 19 - MENNESSIER-JOUANNET C. et **VERNET G.** (1992) - Une fosse de la Tène ancienne au "Pied-de-l'Ane" commune de La Moutade (Puy-de-Dôme). *Revue Archéologique du Centre de la France*, t.31, 1992, p. 167-176.
- 20 - MENNESSIER-JOUANNET C. avec la collaboration de **VERNET G.** (1992) - Sites à fosses rubéfiées du 1er Age du Fer en Limagne d'Auvergne (Puy-de-Dôme). *Revue Archéologique du Centre de la France*, t.31, 1992, p. 21-39.
- 21 - LEFEVRE D., RAYNAL J.P. et **VERNET G.** (1993) - Sedimentary dynamics and tecto-volcanism in the Venosa basin (Basilicata). *Abstracts of Symposium "Quaternary stratigraphy in volcanic areas"*, INQUA SEQS, Rome, september 20-22, 1993, p. 43.
- 22 - **VERNET G.**, RAYNAL J.P., FAIN J., MIALLIER D., MONTRET M., PILLEYRE T. et SANZELLE S. (1993) - Téphrostratigraphy of the last 160 ka in western Limagne (France). *Abstracts of Symposium "Quaternary stratigraphy in volcanic areas"*, INQUA SEQS, Rome, september 20-22, 1993, p. 61.
- 23 - LEFEVRE D., RAYNAL J.P., PILLEYRE T., et **VERNET G.** (1993) - Contribution à la chronostratigraphie de la série de Venosa-Notarchirico (Basilicata). in *Atti Della XXX Riunione Scientifica, Paleosuperfici del Pleistocene e del Primo Olocene in Italia. Processi di Formazione e Interpretazione*. Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, Firenze, p. 117-128.
- 24 - POUENAT P. et **VERNET G.** (1993) - Un atelier d'objets en schiste à Buxières-les-Mines (Allier). *Actes du XVIIème Colloque de l'AFEAF*, Nevers, 1993.
- 25 - LEFEVRE D., RAYNAL J.P., **VERNET G.**, PILLEYRE T., PIPERNO M., SANZELLE S., FAIN J., MIALLIER D. et MONTRET M. (1994) - Sédimentation, volcanisme et présence humaine dans le bassin de Venosa (Basilicata, Italie) au Pléistocène moyen : exemple du site de Notarchirico. *Bulletin de la Société préhistorique française*, t.91, n°2, p. 103-112.
- 26 - RAYNAL J.P., **VERNET G.**, FAIN J., MIALLIER D., MONTRET M., PILLEYRE T., SANZELLE S. et DAUGAS J.P. (1994) - Téphrostratigraphie et préhistoire des 160 derniers millénaires en Limagne d'Auvergne (Massif Central, France). *Bulletin de la Société préhistorique française*, t.91, n°2, p. 149-157.

- 27 - RAYNAL J.P., **VERNET G.**, et VIVENT D. (1994) - Des volcans et des hommes depuis le Tardi-glaciaire en basse Auvergne (massif Central, France). *Il sistema Uomo-Ambiente tra Passato e Presente*, Secondo Seminario Internazionale, Ravello, Villa Rufolo, 3-6 giugno 1994, Abstracts, 1 p.
- 28 - **VERNET G.**, RAYNAL J.P. et ALBORE-LIVADIE C. (1994) - Un aspect distal de l'éruption des "ponces d'Avellino" : observations à la Starza (Ariano-Irpino, Italie). L'eruzione vesuviana delle "Pomici di Avellino" e la facies di Palma Campania (Bronzo antico), Ravello, Villa Rufolo. 15-17 luglio 1994, Abstracts, 1 p.
- 29 - LEFEVRE D., RAYNAL J.-P., **VERNET G.**, PILLEYRE Th., PIPERNO M., SANZELLE S., FAIN J., MIALLIER D. et MONTRET M. (1994) - Sédimentation, volcanisme et présence humaine dans le bassin de Venosa (Basilicate, Italie) au Pléistocène moyen : exemple du site de Notarchirico, *Bull. de la Société Préhistorique française*, 91, 2, p. 103-112.
- 30 - **VERNET G.** (1995) - Les principes généraux de la téphrostratigraphie et l'enregistrement des éruptions tardiglaciaires et holocènes de la Chaîne des Puys dans la cuvette de Clermont-Ferrand : exemple de la coupe de la rue de Blanzat à Clermont-Ferrand, in : *Livret de l'excursion de l'AFEQ en Auvergne, 26-27 Mai 1995*, sous la direction de : Alain de GOËR de HERVE et Bernard VALADAS, p. 5-8, Arrêt 1.
- 31 - **VERNET G.** et RAYNAL J.P. (1995) - La téphra des Roches, marqueur du volcanisme contemporain de la fin du Magdalénien dans le Massif Central français. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 321, série Ila, p. 713-720.
- 32 - **VERNET G.** et RAYNAL J.P. (1995) - Upper pleistocene tephrostratigraphy in Western Limagne (France) and implications for prehistory. *Royal Geological Society*.
- 33 - **VERNET G.**, SANZELLE S., MIALLIER D., FALGUERES C., PILLEYRE T., FAIN J., SOUMANA S., MONTRET M. et CAMUS G. (1995) - Découverte et datation d'un maar basaltique dans la cuvette de Clermont-Ferrand (Massif Central français) : le maar de la Gantière. *Revue d'Histoire Naturelle d'Auvergne*, Géologie en Auvergne Vulcania, n°537, 1995, p. 84-88.
- 34 - **VERNET G.**, RAYNAL J.P. et VIVENT D. (1996) - La téphra de la rue Sous-les-Vignes, marqueur en Limagne du volcanisme trachytique postglaciaire de la Chaîne des Puys. *C. R. Acad. Sci. Paris*, série II 310(1996), p. 325-331.
- 35 - PIPERNO M., LEFEVRE D., RAYNAL J.P., TAGLIACOZZO A. et **VERNET G.** (1997) - Préhistoire du bassin de Venosa au Pléistocène moyen, une révision d'après les recherches récentes à Notarchirico. *Abstracts du XIIIème Congrès U.I.S.P.P. de Forli (Italie)*, sous-section 5.1.
- 36 - **VERNET G.** et LALLEMAND V. (1997) - Bilan des recherches archéologiques menées sur le tracé du contournement autoroutier de Gannat (Allier), *Les Cahiers Bourbonnais*, n° 160, Été 1997, p. 68-72.
- 37 - **VERNET G.**, RAYNAL J.P., FAIN J., MIALLIER D., MONTRET M., PILLEYRE T. et SANZELLE S. (1998) - Tephrostratigraphy of the last 160 Ka in Western Limagne (France). *Quaternary International*, vol. 47/48, p. 139-146.
- 38 - **VERNET G.** (1998) - Un exemple d'impact du volcanisme sur l'évolution d'un réseau hydrographique : l'éruption du maar de Saint-Hippolyte en Limagne septentrionale (France), *QUATERNAIRE, Hommes et Volcans*, volume 9, n°1, 1998, p 7-14.
- 39 - RAYNAL J.P., LEFEVRE D., **VERNET G.**, PILLEYRE T., SANZELLE S., FAIN J., MIALLIER D. et MONTRET M. (1998) - Sedimentary dynamics and tecto-colcanism in the Venosa Basin (Basilicata, Italia). *Quaternary International*, Vol. 47/48, p. 97-105.
- 40 - RAYNAL J.P., **VERNET G.** et VIVENT D. (1998) - Des Volcans et des Hommes depuis le dernier interglaciaire en Basse Auvergne (Massif Central France). *Il sistema Uomo-AMbiente tra Passato e Presente*, Secondo Seminario Internazionale, Ravello, Villa Rufolo, 3-6 giugno 1994, *C.U.E.B.C. Ravello*, EDIPUGLIA, Bari, 1998, p. 197-220.
- 41 - KIEFFER G., **VERNET G.**, RAYNAL J.P., JUVIGNE E., GAMBASSINI P., RONCHITELLI A.M. (1998) - Données nouvelles sur l'extension de l'ignimbrite campanienne, Italie. *Colloque INQUA/UISPP Téphrochronologie et co-existence hommes-volcans*, Brives-Charensac, 24-29 août 1998, Résumés, p. 102-104.

- 42 - LEFEVRE D., RAYNAL J.-P. et **VERNET G.** (1999) - Enregistrements pléistocènes dans le bassin de Venosa, in : *Notarchirico . Un sito del Pleistocene medio iniziale nel bacino di Venosa*, a cura di Marcello Piperno, Edizioni Osanna, 1999, museo « L. Pigorini », p. 139-173.
- 43 - RAYNAL J.-P., LEFEVRE D. et **VERNET G.** (1999) - Lithostratigraphie du site acheuléen de Notarchirico, in : *Notarchirico . Un sito del Pleistocene medio iniziale nel bacino di Venosa*, a cura di Marcello Piperno, Edizioni Osanna, 1999, museo « L. Pigorini », p. 175-205.
- 44 - **VERNET G.**, RAYNAL J.-P., LEFEVRE D. et KIEFFER G. (1999) - Téphras distales dans les dépôts du Pléistocène moyen de Venosa, in : *Notarchirico . Un sito del Pleistocene medio iniziale nel bacino di Venosa*, a cura di Marcello Piperno, Edizioni Osanna, 1999, museo « L. Pigorini », p. 207- 233.
- 45 - **VERNET G.**, RAYNAL J.-P. et ALBORE LIVADIE C. (1999) - La téphra d'Ariano Irpino, un aspect distal de l'éruption plinienne des ponces d'Avellino (Campanie), in : *L'erizione vesuviana delle « Pomici di Avellino » e la facies di Palma Campania (Bronze antico)*, a cura di Claude Albore Livadie, Edizioni Edipuglia, Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali , Ravello, p. 119-124.
- 46 - KIEFFER G., **VERNET G.** et RAYNAL J.-P. (2000) - Reconnaissance de l'ignimbrite campanienne près du golfe de Policastro (Italie), jusqu'à 150 km de sa zone d'émission. Implications volcanologiques et paléoenvironnementales, *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes*, 330(2000), p. 105-110.
- 47 - **VERNET G.** et RAYNAL J.-P. (2000) - Un cadre téphrostratigraphique réactualisé pour la préhistoire tardiglaciaire et holocène de Limagne (Massif central, France), *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes*, 330(2000), p. 399-405.
- 48 - **VERNET G.** et RAYNAL J.-P. (2000) – Hommes et volcans en Basse-Auvergne préhistorique, *Revue d'Auvergne, Nouvelles archéologies, Du terrain au laboratoire*, n°554-555, p. 76-87.
- 49 - DEBERGE Y. avec la collaboration de DUNKLEY J. et de **VERNET G.** (2000) – Un puits à cuvelage en bois de La Tène Finale (Le Brézet, Clermont-Ferrand, Puy de Dôme). *RACF*, tome 39, p. 43-62.
- 50 – POUX M. et **VERNET G.** (2001) - Sanctuaire protohistorique, *L'ARCHÉOLOGUE (Archéologie nouvelle)*, n°54, juin-juillet 2001, p. 42-45.
- 51 – EL GRAOUI M. et **VERNET G.** (2001) – Message du volcanisme du moyen Atlas (Maroc) dans la séquence quaternaire de Casablanca, *TEPHRAS chronologie et archéologie, Les dossiers de l'Archéo-Logis*, n°1, éditeur CDERAD, juillet 2001, p. 35-37.
- 52 – **VERNET G.** et RAYNAL J.-P. (2001) - Tephrostratigraphy of Limagne revisited. Implications for the Last Glacial and Holocene Prehistory, *TEPHRAS chronologie et archéologie, Les dossiers de l'Archéo-Logis*, n°1, éditeur CDERAD, juillet 2001, p. 111-116.
- 53 – KIEFFER G., **VERNET G.**, RAYNAL J.-P., GAMBASSINI P. ET RONCHITELLI A.-M. (2001) – Reconnaissance de l'ignimbrite campanienne en contexte archéologique entre Salerno et Policastro (Italie), *TEPHRAS chronologie et archéologie, Les dossiers de l'Archéo-Logis*, n°1, éditeur CDERAD, juillet 2001, p. 153-158.
- 54 – LEFEVRE D., RAYNAL J.-P., **VERNET G.**, KIEFFER G., PIPERNO M. et TAGLIACOZZO A. (2001) – Hommes et volcans au Pléistocène moyen dans le bassin de Venosa (Basilicate, Italia), *TEPHRAS chronologie et archéologie, Les dossiers de l'Archéo-Logis*, n°1, éditeur CDERAD, juillet 2001, p. 175-182.
- 55 – RAYNAL J.-P. et **VERNET G.**, avec la collaboration de M.-M. PAQUEREAU et G. PAPY (2001) – Sédiments, téphras et pollens dans le Complexe de Soleilhac (Blanzac, Haute-Loire), *TEPHRAS chronologie et archéologie, Les dossiers de l'Archéo-Logis*, n°1, éditeur CDERAD, juillet 2001, p. 191-209.
- 56 – **VERNET G.**, RAYNAL J.-P., KIEFFER G., CAMUS G., GUADELLI J.-L., VIVENT D., MIALLIER D., SANZELLE S., PILLEYRE Th., FAIN J. ET MONTRET M. (2001) – L'éruption trachytique du puy Chopine (Puy-de-Dôme, France) : Impacts proximaux et distaux et implications écoarchéologiques, *TEPHRAS chronologie et archéologie, Les dossiers de l'Archéo-Logis*, n°1, éditeur CDERAD, juillet 2001, p. 227-234.

- 57 – VIVENT D. et VERNET G. (2001) – Apport de la palynologie à l'étude des retombées volcaniques tardiglaciaires et holocènes de la Chaîne des Puys enregistrées en Limagne (France), *TEPHRAS chronologie et archéologie, Les dossiers de l'Archéo-Logis*, n°1, éditeur CDERAD, juillet 2001, p. 255-262.
- 58 - LEFEVRE D., RAYNAL J.-P. et VERNET G. (2001) – Les formations volcano-sédimentaires pléistocènes du Bassin de Venosa (Basilicate, Italie) : cadre stratigraphique et géochronologique des gisements de Venosa Loreto et Notarchirico, *Pré-Actes du XIVe Congrès de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques (UISPP)*, Liège, 2-8 septembre 2001, p. 332-333.
- 59 - VERNET G. et RAYNAL J.-P. (2001) – Eruptions trachytiques de la Chaîne des Puys (France) et leurs impacts sur les environnements, *Pré-Actes du XIVe Congrès de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques (UISPP)*, Liège, 2-8 septembre 2001, p. 334.
- 60 – BERARD B., VERNET G., KIEFFER G. et RAYNAL J.-P. (2001) – Les éruptions volcaniques de la Montagne Pelée et le premier peuplement de la Martinique, *Pré-Actes du XIVe Congrès de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques (UISPP)*, Liège, 2-8 septembre 2001, p. 334.
- 61 – BERARD B., VERNET G., KIEFFER G. et RAYNAL J.-P. (2002) – Les éruptions de la Montagne Pelée et le premier peuplement de la Martinique, in : RAYNAL (Jean-Paul), ALBORE-LIVADIE (Claude), PIPERNO (Marcello) dir., *Hommes et Volcans, De l'éruption à l'objet, Actes du symposium 15.2 du XIVe Congrès, UISPP, Liège, 2001, Les dossiers de l'Archéo-Logis n°2*, 2002, p. 7-14.
- 62 - VERNET G. et RAYNAL J.-P. (2002) - Eruptions trachytiques de la Chaîne des Puys (France) et leur impact sur les environnements, in : RAYNAL (Jean-Paul), ALBORE-LIVADIE (Claude), PIPERNO (Marcello) dir., *Hommes et Volcans, De l'éruption à l'objet, Actes du symposium 15.2 du XIVe Congrès, UISPP, Liège, 2001, Les dossiers de l'Archéo-Logis n°2*, 2002, p. 49-56.
- 63 – LEFEVRE D., RAYNAL J.-P., VERNET G. et PIPERNO M. (2002) - Volcanisme et premiers peuplements en Italie méridionale : l'exemple du site de Notarchirico (Venosa, Basilicate), in : RAYNAL (Jean-Paul), ALBORE-LIVADIE (Claude), PIPERNO (Marcello) dir., *Hommes et Volcans, De l'éruption à l'objet, Actes du symposium 15.2 du XIVe Congrès, UISPP, Liège, 2001, Les dossiers de l'Archéo-Logis n°2*, 2002, p. 67-76.
- 64 – POUENAT P. et VERNET G. (2002) - Un atelier de fabrication d'anneaux en schiste bitumeux à Buxières-les-Mines (Allier), in : MARANSKI (Didier), GUICHARD (Vincent) dir., *Les âges du Fer en Nivernais, Bourbonnais et Berry oriental, Regards européens sur les âges du Fer en France, Actes du XVIIe colloque de l'AFEAF, Nevers, 1993, Collection Bibracte-6*, 2002, p. 151-157.
- 65 – VERNET G. (2002) - Les éruptions holocènes de la Chaîne des Puys et le peuplement mésolithique et néolithique ancien en Basse Auvergne (Massif central, France), in : *5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002, Préactes*, 2002, p. 18.
- 66 – SAINTOT S., PASTY J.-F., BALLUT Ch., FONTANA L., GEORJON C., TREFFORT J.-M. et VERNET G. (2002) - Principaux modes de conservations et approche fonctionnelle des occupations pré et protohistoriques du site Les Patureaux à Clermont-Ferrand, in : *5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002, Préactes*, 2002, p. 22.
- 67 - VERNET G. (2002) - Le Néolithique ancien (épicaldial) et le Néolithique moyen ancien sur le site du Brézet à Clermont-Ferrand (Massif central, France), in : *5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002, Préactes*, 2002, p. 23-24.
- 68 - RAYNAL J.-P., VERNET G. et DAUGAS J.-P. (2003) - Evolution récente de la Limagne d'Auvergne (France) : impacts du volcanisme et aspects des peuplements humains au Tardiglaciaire et à l'Holocène, in *Climatic-environmental variations and impact on man in the circum-mediterranean area during the Holocene, Territorio storico ed ambiente 3*, a cura di Claude Albore Livadie e Franco Ortolani, Edizioni Edipuglia, Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali, Ravello, p. 461- 475.
- 69 – BERARD B., KIEFFER G., RAYNAL J.-P. et VERNET G. (2003) - Les éruptions volcaniques de la Montagne Pelée et le premier peuplement de la Martinique. *Actes du XIXème Congrès International d'Archéologie de la Caraïbe, Aruba 22-28 juillet 2001, AIAC, Publication of the Museo Archeologico Arube*, Vol. 9, The Government of Aruba, Volume II, p. 70-87.

- 70 – VERNET G.** (2003) – La zone occidentale du complexe d'Aulnat (commune de Clermont-Ferrand) : bâtiments, rejets et dépôts en milieu marécageux au Brezet-Est. *Pré-Actes du XXVIIe colloque international de l'A.F.E.A.F.*, Clermont-Ferrand, 29 mai au 1^{er} juin 2003, p.24.
- 71 – TREMENT F., VERNET G., ARGANT J., CABANIS M., DOUSTEYSSIER B., FOURMONT A., MENESSIER-JOUANNET C., LOPEZ-SAEZ J.-A., MACAIRE J.-J. et PRAT B.** (2003) – Le bassin de Sarliève : occupation du sol et paléo-environnement à l'Âge du Fer. *Pré-Actes du XXVIIe colloque international de l'A.F.E.A.F.*, Clermont-Ferrand, 29 mai au 1^{er} juin 2003, p.28.
- 72 – MIALLIER D., SANZELLE S., PILLEYRE Th., VERNET G., BRUGIERE S. et DANHARA T.** (2004) – Nouvelles données sur le téphra de Sarliève et le téphra CF7, marqueurs chrono-stratigraphiques de Grande Limagne (Massif central, France). *C. R. Géoscience* 336 (2004), p. 1-8.
- 73 – BOIVIN P., BESSON J.-C., BRIOT D., CAMUS G., GOËR de HERVE A. de, GOURGAUD A., LABAZUY P., LAROUZIÈRE F.-D. de, LIVET M., MERGOIL J., MAILLIER D., MOREL J.-M., VERNET G. et VINCENT P. M.** (2004) - *Carte Volcanologique de la Chaîne des Puys Massif Central Français au 1/25 000*, 4^{ème} édition, Éditée et réalisée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, Château de Montlosier, Randanne, 63970 Aydat, 120X90 cm.
- 74 – BOIVIN P., BESSON J.-C., BRIOT D., CAMUS G., GOËR de HERVE A. de, GOURGAUD A., LABAZUY P., LAROUZIÈRE F.-D. de, LIVET M., MERGOIL J., MAILLIER D., MOREL J.-M., VERNET G. et VINCENT P. M.** (2004) – *Volcanologie de la Chaîne des Puys Massif Central Français*, 4^{ème} édition, Éditée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, Château de Montlosier, Randanne, 63970 Aydat, (avec la participation de Jannot S. et Raynal J.-P.), 180 p.
- 75 – BLAIZOT F. et VERNET G.** (2004) – La tombe en fosse campaniforme sur le site le Brezet à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme, France), B.A.R. S1284 2004 : *Graves and Funerary Rituals during the Late Neolithic and the Early Bronze Age in Europe (2700 – 2000 BC)*, Proceedings of the International Conference held at the Cantonal Archaeological Museum, Sion (Switzerland), October 4th-7th 2001, edited by Marie Besse and Jocelyne Desideri, p. 43-49.
- 76 - VERNET G.** (2004) – Le site badegoulien de plein-air de la Contrée Viallet à Gannat (Allier). *Volume des résumés du colloque « 1904-2004 Un siècle de Préhistoire et de Protohistoire dans le Massif Central : bilans et perspectives*, Comité Haute-Loire pour la commémoration du centenaire de la SPF, CDDP de Haute-Loire et Musée Crozatier, Le Puy en Velay, octobre 2004, p. 33.
- 77 - VERNET G. et RAYNAL J.-P.** (2004) – Hommes et volcans en Basse Auvergne : nouvelles données téphrostratigraphiques et synthèse. *Volume des résumés du colloque « 1904-2004 Un siècle de Préhistoire et de Protohistoire dans le Massif Central : bilans et perspectives*, Comité Haute-Loire pour la commémoration du centenaire de la SPF, CDDP de Haute-Loire et Musée Crozatier, Le Puy en Velay, octobre 2004, p. 40.
- 78 - POUENAT P. et VERNET G.**(2004) – La série céramique du Néolithique ancien du Brezet à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme). *Volume des résumés du colloque « 1904-2004 Un siècle de Préhistoire et de Protohistoire dans le Massif Central : bilans et perspectives*, Comité Haute-Loire pour la commémoration du centenaire de la SPF, CDDP de Haute-Loire et Musée Crozatier, Le Puy en Velay, octobre 2004, p. 41.
- 79 - SAINTOT S., PASTY J.-F., avec la collaboration de ALIX Ph., BALLUT C., FONTANA L., GEORJON C., MACABEO G., TREFFORT J.-M., VERNET G. et WATTEZ J.** (2004) – Taphonomie et fonction des occupations pré et protohistorique du site Les Patureaux à Clermont-Ferrand, Puy-de-Dôme, , *Préhistoire du sud-ouest 2004-supplément n°9 : 5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002*, p. 43-84.
- 80 - VERNET G.** (2004) - Les éruptions holocènes de la Chaîne des Puys et le peuplement mésolithique et néolithique ancien en Basse Auvergne (Massif central, France), , *Préhistoire du sud-ouest 2004-supplément n°9 : 5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002*, p. 17-24.
- 81 - VERNET G.** (2004) - Le Néolithique ancien (épicaldial) et le Néolithique moyen ancien sur le site du Brézet à Clermont-Ferrand (Massif central, France), , *Préhistoire du sud-ouest 2004-supplément n°9 : 5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002*, p. 85-90.
- 82 – DAUGAS J.-P., GISCLON J.-L., MIALLIER D. et VERNET G.** (2004) – Sépultures plurielles du Néolithique final en Auvergne dans leur contexte interrégional, *Préhistoire du sud-ouest 2004-supplément n°9 : 5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002*, p. 99-106.

- 83 - MIALLIER D., MICHON L., EVIN J., PILLEYRE T., SANZELLE S. et **VERNET G.** (2004) – Volcans de la Chaîne des Puys (Massif Central, France) : point sur la chronologie Vasset-Kilian-Pariou-Chopine. *C.R. Géoscience* 336(2004), Paris, p. 1345-1353.
- 84 – ARDAGNA Y., RICHIER A., **VERNET G.** et DUTOUR O. (2005) – A case of beheading dating from the celtic period (La Tène B, Sarliève-Grande Halle, France). *International Journal of Osteoarchaeology*, 15, 2005, p. 73-76.
- 85 – TREMENT F., ARGANT J., BREHERET J.-G., CABANIS M., DOUSTEYSSIER B., FOURMONT A., FOURNIER G., LOPEZ-SAEZ J.-A., MACAIRE J.-J., PRAT B. et **VERNET G.** (2005) – Paysages et peuplement dans le bassin de Sarliève du Néolithique au Moyen Age (Puy-de-Dôme, France). Éléments pour un nouveau modèle socio-environnemental. In : BERGER J.-F., BERTONCELLO F., BRAEMER F., DAVTIAN G. et GAZENBEEK M. (dir.), *Actes du colloque Temps et espaces de l'Homme en société : analyses et modèles spatiaux en archéologie, XXVe Rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes (21-23 octobre 2004)*, APDCA éd., Antibes, p. 487-500.
- 86 – FOURMONT A., MACAIRE J.-J., BREHERET J.-G., ARGANT J., PRAT B. et **VERNET G.** (2006) – Tephros in lacustrine sediments of the Sarliève marsh (French Massif Central) : age and preservation, *C. R. Geoscience* 338 (2006), Paris, p. 1141-1149.
- 87 – **VERNET G.** et RAYNAL J.-P. (2006) – Deux téphras marqueurs d'éruptions violentes au cours du Boréal dans la Chaîne des Puys (France). *Résumés de la journée « Téphras et séquences quaternaires »*, Réunion spécialisée AFEQ-SGF, 6 nov. 2006, Paris, p. 14.
- 88 – FOURMONT A., MACAIRE J.-J., BREHERET J.-G., ARGANT J., PRAT B. et **VERNET G.** (2006) – Les téphras des sédiments lacustres du Marais de Sarliève (Massif Central, France) : âge et conservation. *Résumés de la journée « Téphras et séquences quaternaires »*, Réunion spécialisée AFEQ-SGF, 6 nov. 2006, Paris, p. 7.
- 89 – TREMENT F., LOISON G., ARGANT J., BREHERET J.-G., CABANIS M., DOUSTEYSSIER B., FOURMONT A., FOURNIER G., LIABEU R., LOPEZ-SAEZ J.-A., MACAIRE J.-J., MILCENT P.-Y., PRAT B., RIALLAND Y. et **VERNET G.** (2006) - Interactions sociétés-milieus en Grande Limagne du Néolithique à l'époque romaine. Apport des recherches interdisciplinaires conduites dans le bassin de Sarliève (Puy-de-Dôme). *Paysages et Peuplements, Aspects culturels et chronologiques en France méridionale, Actualité de la recherche, Actes des 6^e Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente*, Périgeux, 14-16 octobre 2004, Coédition ADRAHP-PSO, p. 11-32.
- 90 – KIEFFER G., **VERNET G.** et RAYNAL J.-P. (2007) – Une téphrostratigraphie en milieu archéologique à la Martinique. *Résumés du Séminaire international d'archéologie : Martinique, terre amérindienne ; une approche pluridisciplinaire*, 8 et 9 mai 2007, Fort-de-France, p. 11.
- 91 - TREMENT F., MENNESSIER-JOUANNET C., ARGANT J., BREHERET J.-G., CABANIS M., DOUSTEYSSIER B., FOURMONT A., LOPEZ SAEZ J. A., MACAIRE J.-J., PRAT B et **VERNET G.** (2007) - Le bassin de Sarliève : occupation du sol et paléa-environnement à l'âge du Fer. in « *L'Archéologie de l'âge du Fer en Auvergne : thème régional* », Mennessier-Jouannet C. et Deberge Y. (Dir.), Lattes, éd. Association pour le développement de l'archéologie en Languedoc-Roussillon (coll. Monographies d'archéologie méditerranéenne), p. 385-400.
- 92 – TREMENT F. (Dir.), ARGANT J., BREHERET J.-G., CABANIS M., DOUSTEYSSIER B., FOURMONT A., FOURNIER G., LIABEU R., LOISON G., LOPEZ-SAEZ J.-A., MACAIRE J.-J., MARINVAL Ph., MENNESSIER-JOUANNET Ch., MILCENT P.-Y., PRAT B., RIALLAND Y. et **VERNET G.** (2007) - Un ancien lac au pied de l'oppidum de Gergovie (Puy-de-Dôme). *Gallia*, 64, 2007, CNRS éditions, Paris, p. 289-351.
- 93 – VERES D., DAVIES S.M., WOHLFARTH B., PREUSSER F., WASTEGARD S., AMPEL L., HORMES A., POSSNERT G., RAYNAL J.-P. et **VERNET G.** (2008) – Age, origin and significance of a new middle MIS 3 tephra horizon identified within a long-core sequence from Les Echets, France. *Boreas*, volume 37, issue 3, 2008, p. 434-443
- 94 – **VERNET G.** et RAYNAL J.-P. (2008) – La formation de Marsat et le téphra CF7, Marqueurs distaux d'éruptions trachytiques violentes de la Chaîne des Puys au Boréal. *Quaternaire*, 19, (2), 2008, p. 97-106.
- 95 – GOURGAUD A., BOIVIN P., DE LAROUZIÈRE F.-D., MIALLIER D. et **VERNET G.** (2008) – *Volcanisme en Auvergne. La Chaîne des Puys*. Editions APA-POUX-ALBI, juin 2008, 32 p.
- 96 - LEFEVRE D., RAYNAL J.-P., **VERNET G.**, KIEFFER G. et PIPERNO M. (2008) - Téphrostratigraphie et premiers peuplements d'Italie méridionale : les gisements pléistocènes de Loreto et Notarchirico (Venosa, Basilicata, Italia). in *Abs-*

tracts du Colloque international « Les premiers expansions humaines en Eurasie à partir de l'Afrique ; Facteurs limitant ou favorisant », Muséum National d'histoire Naturelle, Paris, 26, 27, 28 novembre 2008, 3 p.

- 97** - BOIVIN P., BESSON J.-C., BRIOT D., CAMUS G., GOËR de HERVE A. de, GOURGAUD A., LABAZUY P., LANGLOIS E., LAROUZIÈRE F.-D. de, LIVET M., MERGOIL J., MIALLIER D., MOREL J.-M., **VERNET G.** et VINCENT P. M. (2009) - *Carte Volcanologique de la Chaîne des Puys Massif Central Français au 1/25 000, 5^{ème} édition*, Éditée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, Château de Montlosier, 63970 Aydat, 120X90 cm.
- 98** - BOIVIN P., BESSON J.-C., BRIOT D., CAMUS G., GOËR de HERVE A. de, GOURGAUD A., LABAZUY P., LANGLOIS E., LAROUZIÈRE F.-D. de, LIVET M., MERGOIL J., MIALLIER D., MOREL J.-M., **VERNET G.** et VINCENT P. M. (2009) - *Volcanologie de la Chaîne des Puys Massif Central Français, Volcanology of the Chaîne des Puys, 5^{ème} édition*, Éditée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, Château de Montlosier, 63970 Aydat, (avec la participation de Jannot S. et Raynal J.-P.), 196 p.
- 99** - GOURGAUD A., BOIVIN P., BRIOT D., LIVET M., MERGOIL J., MIALLIER D., **VERNET G.** et VINCENT P.-M. (2009) - *Planète Volcan, l'Auvergne pour comprendre le volcanisme*. Ed. Focus, CRDP d'Auvergne, 2009, 175 p. avec CD Rom.
- 100** - **VERNET G.**, KIEFFER G. et RAYNAL J.-P. (sous presse) - Une téphrostratigraphie en milieu archéologique à la Martinique. in *Martinique, terre amérindienne. Une approche pluridisciplinaire*. BERARD B. (dir.), Fort-de-France, C'éditions, (accepté, à paraître 2010).
- 101** - LEFEVRE D., RAYNAL J.-P., **VERNET G.**, KIEFFER G. et PIPERNO M. (2010) - Tephro-stratigraphy and the age of ancient Southern Italian Acheulean settlements : the sites of Loreto and Notarchirico (Venosa, Basilicata, Italy). *Quaternary International*, 223-224 (2010), p. 360-368.
- 102** - BOIVIN P., BESSON J.-C., FERRY P., GOURGAUD A., MIALLIER D., THOURET J.-C. et **VERNET G.** (à paraître, 2011) - Le point sur l'éruption du lac Pavin, il ya 7 000 ans. Actes de colloque international : Lac Pavin 2009 et autres lacs méromictiques, Besse et Super-Besse (Puy de Dôme, France), 14-16 mai 2009, 14 fig., 5 p.

Liste des rapports AFAN/INRAP contenant des études de géoarchéologie avec un volet téphrostratigraphique

Ces 34 rapports, auxquels j'ai participé (responsable d'opération ou géoarchéologue) dans le cadre de mon emploi (Ingénieur chargé d'étude) à l'AFAN puis à l'INRAP, constituent une « littérature grise » qui n'est pas prise en compte dans mes publications ; cependant, certains de ces documents sont importants car ils relatent souvent les premières observations de nouveaux téphras. Certaines datations, utilisées pour la téphrochronologie de la Limagne, ont été mise en oeuvre dans le cadre de ces opérations d'archéologie préventive.

1 - Alfonso G., **Vernet G.**(2000) - *Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme), 13 rue André Theuriet*. DFS d'évaluation archéologique, juillet 2000, AFAN, antenne Rhône-Alpes/Auvergne, SRA d'Auvergne, 14 p.

2 -Alfonso G., Boissy A., Parent D., Vermeulen Chr., **Vernet G.**, Wittmann A. (2002) - *Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme), Collecteur d'assainissement de Puy-Long*. DFS de surveillance de travaux, juin 2002, AFAN, antenne Rhône-Alpes/Auvergne, 28 p.

3 - Arnaud P., Brizard M., Combes P., Mennessier-Jouannet C., **Vernet G.**, Wittmann A. (2003) - *Aulnat (Puy-de-Dôme), Ilot des Martyrs, rues Lamartine, du Commerce et du 11 Novembre*. RFO de diagnostic archéologique, novembre 2003, INRAP, Centre archéologique de Clermont-Ferrand, 33 p.

4 - Colonge D., Pasty J.-F., Seris D., Bastard V., Dunkler J., **Vernet G.** (2005) - *A 89, section 8, Le Sancy - Combronde*, INRAP, Rapport de diagnostic-évaluation, 2 tomes, 203 p.

5 - Gaime S., **Vernet G.** (2003) - *Nohanent (Puy de Dôme) Lavas, chemin de la Vergne*. Rapport de diagnostic, 2003, INRAP, Antenne Rhône-Alpes/Auvergne, Bron, 35 p.

6 - Gauthier F., Gatto E. (avec la collab. de **Vernet G.**) (2005) - *Clermont-Fd (Puy de Dôme) - rue Adrien Mabrut (Stade Gabriel Montpied)*. Rapport de diagnostic, 2005, INRAP, Direction interrégionale Rhône-Alpes/Auvergne, Bron, 16 p.

7 - Gauthier F., (avec la collab. de Deberge Y. et **Vernet G.**) (2008) - *Gerzat (Puy de Dôme) - boulevard Charles de Gaulle*. Rapport final d'opération de diagnostic, novembre 2008, INRAP, Direction interrégionale Rhône-Alpes/Auvergne, région Auvergne, Centre Archéologique, Clermont-Fd, 129 p.

8 - Guichard V. (coord.)(2000) - *Autoroute A710 : Archéologie préventive. Archéologie en Grande Limagne d'Auvergne sur le tracé de l'autoroute A710 : contribution à l'histoire de l'exploitation d'un milieu palustre*. DFS de diagnostic archéologique, AFAN, ARAFA, 2000, Service Régional de l'Archéologie d'Auvergne, Clermont-Fd, 5 vol.

- 9 - Murat R., Alix Ph., Cabanis M., Combes P., Jallet F., Pasty J.-F., **Vernet G.** (2003) - *Combronde (Puy-de-Dôme), Sous-le-Coudert I*. Rapport de fouille, 2003, INRAP, Centre archéologique de Clermont-Ferrand, 54 p.
- 10 - Mennessier-Jouannet Chr., Bet Ph., Combes P., Brizard V., **Vernet G.**, Argant J. (1999) - *Saint-Beauzire (63), Biopôle - Occupation du sol en bordure du Marais de Coeur « Le Grand Marais »*. Rapport de fouille archéologique, AFAN, novembre 1999, SRA Auvergne, 53 p.
- 11 - Mennessier-Jouannet Chr., Caillat P., Combes P., Couteau S., Ballut C., Cabanis M., Prat B., **Vernet G.** (2004) - *Saint-Beauzire (Puy-de-Dôme), Biopôle Clermont-Limagne - Implantation gauloise de La Tène C1 en bordure du Marais de Coeur*. Rapport de fouille, INRAP, 2004, 58 p.
- 12 - Pouenat P., Gaime S., Boissy A., Henry M.-J., Parent D., Mennessier-Jouannet Chr., Wittmann A., Vital J., **Vernet G.**, Cabanis M., Raynal J.-P. (2005) - *Gerzat (Puy-de-Dôme), Zone Industrielle Sud : Les Pradeaux, Champ Redon, Les Grands Rhonez, Pradoux et Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme), Laval, Palport*. INRAP, DFS de synthèse d'opération d'évaluation archéologique n° 63/5422, 2005, 2 volumes, 67p.
- 13 - Pouenat P., Parent D., Jallet F., Boissy A., Henry M.-J., Gasc J., Valette C., Vallat P., Fernandez C., Gatto E., Caillat P., Wittmann A., Mennessier-Jouannet Chr., Ballut C., **Vernet G.**, Delouche A. (2006) - *Le clos Brûlé, ZAC du Parc industriel des Gravanches (secteur Ouest)*. Rapport de diagnostic, juillet 2006, INRAP, 65p.
- 14 - Pouenat P., Tripeau I. (avec la participation de **Vernet G.**) (2006) - *Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme) Zone industrielle du Brezet, anciens établissements Ladoux. Rue Jules Verne/Boulevard Louis Bléziot*. Rapport de diagnostic, INRAP, janvier 2006, 12 p.
- 15 - Saintot S., Pasty J.-F., Ballut C., Fontana L., Georjon C., **Vernet G.**, Wattez J. (2001) - *Clermont-Ferrand, Les Patureaux*. DFS de fouille, AFAN, Service régional de l'Archéologie d'Auvergne, 72 p.
- 16 - Saintot S., Ballut C., Brisotto V., Cabanis M., Couteau S., Gascq J., Georjon C., Lalaï D., Macabéo G., Parent D., Rouquet J., **Vernet G.** (2004) - *Beaumont (63) Champ-Madame et Artièr-Ronzière A.F.U. Les Jardins de Bernard Maître*. DFS d'opération préventive de fouille, mars 2004, INRAP, Direction Rhône-Alpes/Auvergne, 2 tomes, 256 p.
- 17 - Thévenin E., Mortagne-De Sury B., Bet Ph., Blaizot F., **Vernet G.** (1999) - *Station d'épuration, commune de Clermont-Ferrand, lieu-dit : Voie des Petites Gravanches (63)*. Rapport d'opération d'évaluation archéologique, 1999, AFAN, antenne interrégionale Rhône-Alpes/Auvergne, SRA Auvergne, 34 p.
- 18 - Vermeulen C., Ballut C., **Vernet G.**, Cabezuelo U., Lisfranc R., Forest V., Jacquet P. (2001) - *Chantemerle, Gerzat, Puy-de-Dôme*. Rapport de l'opération préventive de fouille, AFAN/INRAP, Clermont-Ferrand, SRA d'Auvergne, 2001, 78 p.
- 19 - **Vernet G.** (1995) - *Les Jardins de l'Oradou, Clermont-Ferrand (rue de Médicis) (Puy-de-Dôme)*. Rapport de sondages archéologiques, AFAN, Service Régional de l'Archéologie d'Auvergne, 10 p.
- 20 - **Vernet G.** (1995) - *Fossés antiques et indices d'occupation du Néolithique moyen-final. Futur Centre de tri postal, Z.I Les Fontenilles, Lempdes (63)*. Rapport d'opération préventive de fouille d'évaluation archéologique, AFAN, 1996, SRA d'Auvergne, 14 p.
- 21 - **Vernet G.** (1995) - *Recherche d'éléments archéologiques et observations paléoenvironnementales. Saint-Ours-les-Roches (63), Musée Européen du Volcanisme. Rapport intermédiaire n° 1*. Rapport de surveillance de Travaux, AFAN, Service Régional de l'Archéologie d'Auvergne, 13 p.

- 22 - **Vernet G.** (1996) - *Parcelle CI n° 163 au lieu-dit «Le Brezet», rue Jules Verne, Clermont-Ferrand (63)*. Rapport d'opération de fouille d'évaluation archéologique, AFAN, 1996, SRA d'Auvergne, 8 p.
- 23 - **Vernet G.** (1996) - *Emplacement du futur rond-point du Biopôle Clermont-Limagne, Saint-Beauzire (Puy-de-Dôme)*. Rapport d'opération préventive de fouille d'évaluation archéologique, AFAN, 1996, SRA d'Auvergne, 18 p.
- 24 - **Vernet G., Vernet B.** (1996) - *Evaluation archéologique de la formation sédimentaire supérieure. Saint-Ours-les-Roches (63), Centre Européen du Volcanisme « Vulcania »*. Rapport intermédiaire n° 2. Rapport d'opération préventive de fouille d'évaluation archéologique, AFAN, Service Régional de l'Archéologie d'Auvergne, 17 p.
- 25 - **Vernet G.** (1997) - *Chemin de Beaulieu (chemin départemental 772), Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme)*. Rapport d'opération préventive de fouille d'évaluation archéologique, AFAN, 1997, SRA d'Auvergne, 14 p.
- 26 - **Vernet G.** (1997) - *Terrain IVECO (parcelles CN 183a, 185 et 186), Zone Industrielle Le Brezet Est, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme)*. Rapport d'opération préventive de fouille d'évaluation archéologique, AFAN, 1997, SRA d'Auvergne, 17 p.
- 27 - **Vernet G.** (avec la collab. de Delhoume D., Parent D., Robert S., Mennessier-Jouannet) (1998) - *Cébazat et Gerzat (Puy-de-Dôme), évaluation archéologique de l'emprise du futur Parc Logistique*. Rapport d'opération préventive de fouille d'évaluation archéologique, AFAN, Service Régional de l'Archéologie d'Auvergne, 2 tomes, 4 parties, 47 p.
- 28 - **Vernet G.** (1999) - *Evaluation archéologique des formations présentes sous la coulée supérieure. Saint-Ours-les-Roches (63), Centre Européen du Volcanisme « Vulcania »*. Rapport intermédiaire n° 3. Rapport d'opération préventive de fouille d'évaluation archéologique, AFAN, Service Régional de l'Archéologie d'Auvergne, 15 p.
- 29 - **Vernet G.** (1999) - *ZAC de la Mourette, Beaumont (Puy-de-Dôme)*. Rapport d'opération préventive de fouille d'évaluation archéologique, AFAN, Service Régional de l'Archéologie d'Auvergne, 16 p.
- 30 - **Vernet G., Arnaud Ph., Blaizot F., Combes P., Deberge Y., Loughton M., Mennessier-Jouannet Ch., Milcen P.-Y., Olivier F., Vernet B.** (2005a) - *Le Brézet, rue Georges Besse (Clermont-Ferrand, Puy-de-Dôme)*. Rapport Final d'Opération de fouille archéologique, INRAP, 2 tomes, 12 annexes, 165 p.
- 31 - **Vernet G., Caillat P., Mennessier-Jouannet Ch., Parent D., Rebiscoul A., Richier A., Séris D., Vernet B., Wittmann A** (2005b) - *Bassin de Sarliève, Grande Halle d'Auvergne (Cournon, Pérignat-les-Sarliève, Aubière ; Puy-de-Dôme)*. Rapport Final d'Opération de fouille archéologique, INRAP, 3 tomes, 20 annexes, 111 p.
- 32 - **Vernet G.** (avec la collab. de Parent D.) (2005c) - *Blanzat (Puy-de-Dôme), bassin de rétention de Reilhat*. Rapport Final d'Opération de diagnostic archéologique, INRAP, avril 2000, 15 p.
- 33- **Vernet G.** (avec la collab. de Cayrol J. et Parent D.) (2010) - *Approche paléoenvironnemental d'une zone humide (marais de Limagne) : évolution de la fin du Tardiglaciaire à la période moderne - Clermont-Ferrand (Puy de Dôme) - Les Gravanches (zone Coliposte)*. Rapport final d'opération de diagnostic, juin 2010, INRAP, Direction interrégionale Rhône-Alpes/Auvergne, région Auvergne, Centre Archéologique, Clermont-Fd.
- 34- **Vernet G.** (avec la collab. de Gauthier F.) (en cours) - *Cébazat (Puy de Dôme) - Le Colombier (lotissement de Vaye)*. Rapport final d'opération de diagnostic, août 2010, INRAP, Direction interrégionale Rhône-Alpes/Auvergne, région Auvergne, Centre Archéologique, Clermont-Fd.

**LES DÉPÔTS PYROCLASTIQUES DISTAUX :
CARACTÉRISATION, ÉTABLISSEMENT DE
TÉPHROSTRATIGRAPHIES DE
RÉFÉRENCE, TAPHONOMIE ET RELATIONS
HOMME/VOLCAN**

METHODOLOGIE

1 - METHODOLOGIE :

1.1 - Les différentes méthodes d'analyses utilisées pour la caractérisation des produits pyroclastiques distaux :

L'étude des téphras (Téphrochronologie) apparaît en France comme une discipline à part entière et différente de la Volcanologie. En 1987, Brousse et Bardintzeff rédigent deux chapitres (*Téphrochronologie* et *Le volcanisme quaternaire - Influence sur le cadre de vie*) dans l'important ouvrage « *Géologie de la préhistoire* » (Miskovsky, 1987). Ils exposent les méthodes utilisées dans l'identification des téphras et soulignent l'intérêt chronologique des dépôts pyroclastiques, la relation tephra/site préhistorique et enfin la relation Hommes/Volcan. Une bonne connaissance des méthodes classiques utilisées en volcanologie (Fisher et Schimincke, 1984 ; Bourdier, 1994) est bien évidemment la base pour une bonne étude des téphras.

La méthode utilisée pour l'étude des téphras est délicate car elle fait appel à des spécialités diverses : en premier lieu une bonne étude de terrain avec des relevés stratigraphiques les plus précis possibles (comme je l'avais déjà souligné lors de ma thèse, un bon géologue n'est-il pas avant tout un homme de terrain ?) ; puis, la mise en œuvre des études en laboratoire, aussi bien sur le niveau téphrique lui-même que sur son environnement sédimentaire. La téphrologie fait intervenir des méthodes d'études sédimentologiques (figures sédimentaires, granulométrie et morphoscopie), et pétrographiques (minéralogie, minéraux lourds et géochimie). Les techniques et les méthodes utilisées pour l'étude des dépôts pyroclastiques ont été bien décrites par plusieurs auteurs : Bardintzeff et Brousse (1987), Teulade (1989), Vernet (1992) et Juvigné (1993). Elles visent à éclaircir les points suivants : composants, classement, épaisseur des lits, granoclassement et lamination, autres structures primaires et milieu. Ces différents points concourent à la caractérisation des dépôts pyroclastiques et à leur classement en retombée (fall), déferlantes (surge) et coulée pyroclastiques (flow) (Figure 1) (Sheridan, 1971 ; Walker, 1971 ; Cas et Wright, 1987 ; Lajoie et Stix, 1992 ; Tremblay, 1997).

La Méthodologie utilisée ici est résumée dans un schéma montrant les divers types de prélèvements et dégageant trois domaines de résultats : (1) Position chronologique et influence de l'événement éruptif sur le milieu ; (2) Remaniement et taphonomie ; (3) Caractérisation des téphras (Figure 2; Vernet *et al.*, 1999). Les observations et prélèvements n'ont pas été limités aux seuls téphras mais ont intéressé également les niveaux sus et sous-jacents au dépôt pyroclastique.

ÉLÉMENTS	RETOMBÉE (<i>FALL</i>)	COULÉE (<i>FLOW</i>)	DÉFERLANTE (<i>SURGE</i>)
COMPOSANT	-pauvre en fines (<i>finer depleted</i>) -riche en fragments lithiques, en écharde de verre et en cristaux	-riche en matrice, en fragments lithiques et en écharde de verre	-riche en cristaux et en fragments lithiques
CLASSEMENT	-bien classée	-pauvrement classée	-bien classée dans les dépôts de coulées pyroclastiques
ÉPAISSEUR DES LITS	-régulière et épouse la surface (épaisseurs uniformes ou <i>mantle bedding</i>)	-irrégulière avec remplissage des vallées	-contrôlé par la topographie avec épaissement dans les vallées et amincissement sur les crêtes
GRANOCLASSEMENT ET LAMINATION	-les lits massifs sont rares -le granoclasement normal et inverse -absence de structures de tractions bien définies comme les laminations parallèles et obliques, mais les stratifications mal définies sont observées	-les lits sont massifs -le granoclasement inverse et normal est présent	-les stratifications internes ou entrecroisées sont présentes dans les dépôts de base surge -les stratifications internes sont peu présentes dans les dépôts de type nuée ardente
AUTRES STRUCTURES PRIMAIRES	-des <i>bomb-sags</i> et des lapillis accréionnaires sont communs dans des dépôts subaériens et marins peu profonds -les conduits d'échappement de gaz sont absents	-les lapillis accréionnaires sont présents dans les lits supérieurs de certaines coulées pyroclastiques subaériennes et sont rares ou absents dans les dépôts sous-marins -les conduits d'échappement de gaz sont communs	-évidences de lapillis accréionnaires dans les dépôts de <i>base surge</i>
MILIEU	-subaérien et sous-marin	-subaérien et sous-marin	-subaérien

Figure 1 : Caractéristiques des dépôts pyroclastiques (d'après Walker, 1981 ; Cas et Wright, 1987 ; Lajoie et Stix, 1992 ; Tremblay, 1997).

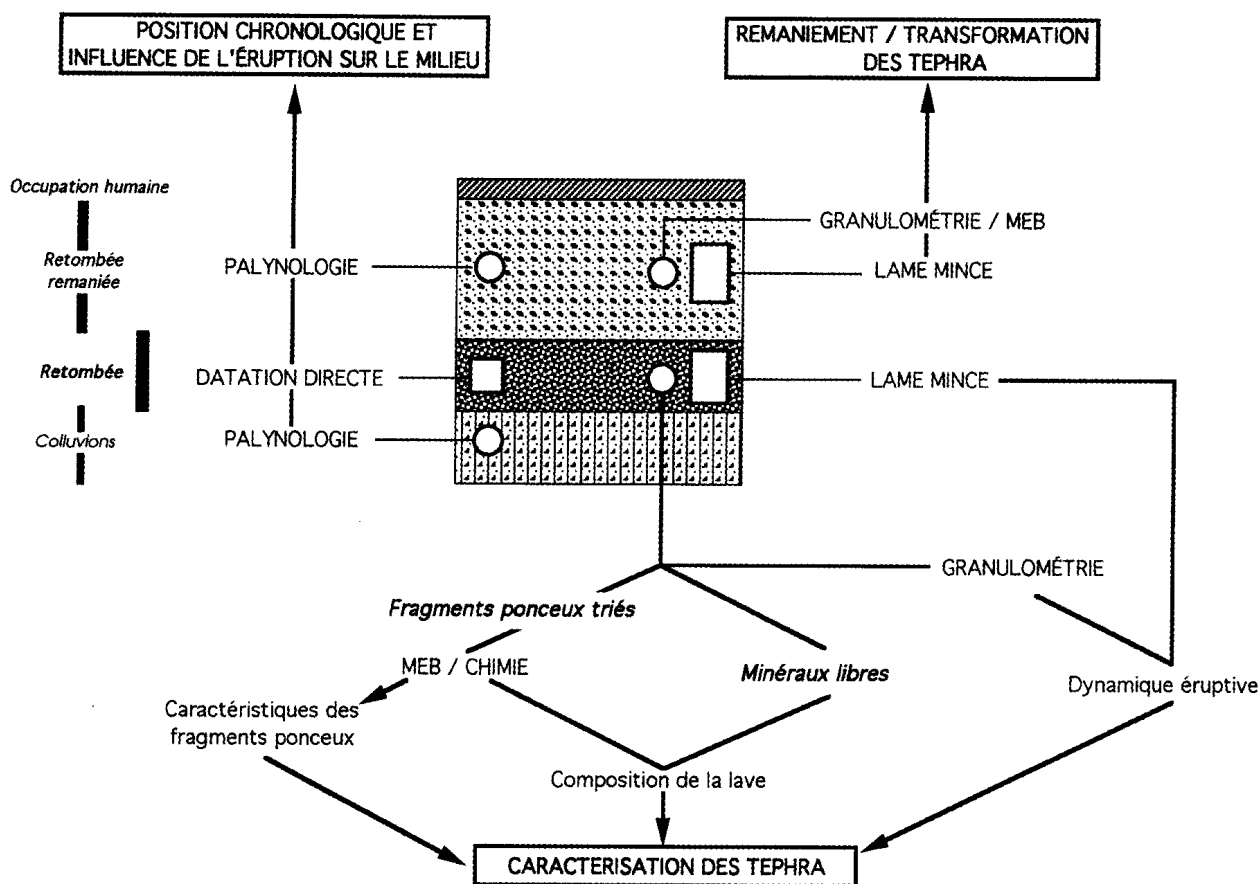


Figure 2 : méthodologie appliquée à l'étude des recouvrements téphriques distaux

1.1.1 - Etude stratigraphique, structures sédimentaires et lithologie :

Pour chaque niveau de téphra étudié, une bonne description de l'environnement sédimentaire a été faite. Les observations de terrain ont été conduites selon les méthodes classiques de la géologie des formations volcano-sédimentaires. On y trouvera la description des niveaux rencontrés et leur relation stratigraphique. Les phénomènes pouvant indiquer une période climatique particulière (pédogenèse et cryergie) seront particulièrement recherchés et décrits.

Pour le niveau de téphra lui-même, les figures sédimentaires associées (litage, granoclasement, lit massif et stratifications entrecroisées) seront décrites avec précision et participeront à l'établissement du macrofaciès de ce dépôt. De plus, l'étude des structures sédimentaires, à l'affleurement, peut permettre de déterminer le mode de mise en place des pyroclastites (retombée [fall], déferlante [surge] et coulée pyroclastique [flow]). Si ces différentes structures sédimentaires peuvent être liées au mode de mise en place des dépôts pyroclastiques, ils peuvent aussi résulter d'un remaniement purement sédimentaire de ces formations. Un des problèmes principal sera donc de déterminer dès le terrain si ces dépôts pyroclastiques sont en position primaire ou remaniées (formations épyclastiques). Les phénomènes d'altérations seront également recherchés et décrits car ils peuvent participer

à l'hétérogénéité des dépôts pyroclastiques, en particulier par des dissolutions et des cristallisations secondaires. La présence de dépôts d'argile dans les vides d'un niveau téphrique peut être dû à un remaniement mais aussi, par exemple, à une illuviation consécutive à une pédogenèse.

1.1.2 - Etude granulométrique :

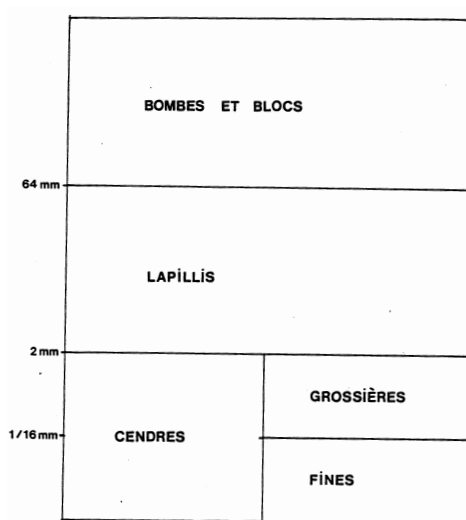


Figure 3 : Classification granulométrique des pyroclastes (Fischer, 1961).

La granulométrie est essentielle pour l'étude des téphras : elle permet de caractériser ce dépôt et son mode de mise en place, ou encore son remaniement. Elle a été couramment utilisée (Fischer, 1964 ; Walker, 1971 ; Sheridan, 1971 ; Miskovsky et Bardintzeff, 1985). Dans les différentes études proposées, on donnera une description souvent sommaire des données granulométriques (en particulier la médiane $Md \phi$ et l'indice de classement $\sigma \phi$; Inman, 1952). La dénomination de ce sédiment sera donnée selon la classification granulométrique des pyroclastes de Fischer (1961) (Figure 3). Il faut rappeler ici que l'établissement des courbes granulométriques des dépôts pyroclastiques est sujet à discussions étant donné qu'une abrasion des grains peut intervenir lors du tamisage (en particulier lorsque l'on a des éléments ponçeux fragiles) et ainsi fausser les résultats.

Les paramètres qui gouvernent la granulométrie des téphras sont nombreux et d'origine variée. Certains sont liés à des phénomènes indépendants des mécanismes éruptifs ou de transport des projections. Les courbes granulométriques d'une même formation peuvent donc différer grandement d'une localité à une autre. Toutefois, l'interprétation des données granulométriques peut permettre d'obtenir des renseignements sur le type d'éruption, le mode de dépôt et un remaniement éventuel. Ces données feront parties des renseignements utiles lors des corrélations entre téphras.

Plusieurs auteurs (Walker, 1971 ; Fisher et Schmincke, 1984) ont établi des diagrammes (en particulier le diagramme $\sigma \phi / Md \phi$) permettant de distinguer le mode de dépôt : dépôt de déferlante, de coulée et de retombée (Bardintzeff et Miskovsky, 1984) (Figure 4). Il faut cependant souligner que ces différents modèles proposés doivent être pris avec prudence lorsque l'on travaille sur des dépôts distaux ou des phénomènes de remaniements peuvent largement perturber les données.

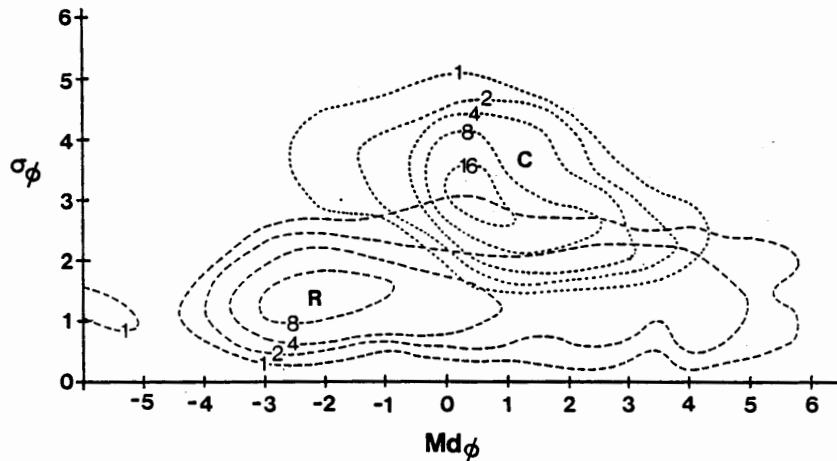


Figure 4 : Diagramme $\sigma \phi / Md \phi$ permettant de distinguer le mode de dépôt d'une formation pyroclastique : dépôt de déferlante, de coulée et de retombée.

1.1.3 - Morphoscopie des pyroclastes :

L'étude de la morphoscopie des pyroclastes a été effectuée à plusieurs échelles suivant la nature du téphra. En effet, l'observation des pyroclastes a été faite à l'œil nu, à la binoculaire, au microscope optique et enfin au microscope électronique à balayage (MEB). De plus, des informations complémentaires ont été acquises lors de l'étude du dépôt en lame mince de grand format. La morphoscopie est une partie importante de l'étude d'un téphra et son intérêt a été démontré (Teulade, 1989). Elle apporte des renseignements sur le type de volcanisme mais aussi sur les phénomènes d'altération postérieurs au dépôt. L'étude au MEB des pyroclastes a été particulièrement développée par Heiken et Wohletz (1985) dans un ouvrage où chaque morphologie de pyroclaste est rattachée à un type d'éruption (éruption magmatique de différents types, éruption phréatomagmatique, éruption phréatique et dépôts distaux de cendres).

Dans l'étude morphoscopique des pyroclastes, il faut inclure, bien évidemment, l'étude des échardes vitreuses afin de quantifier les différents types de morphologie (Ewart, 1963 ; Heiken, 1972 ; Fisher et Schmicke, 1984). On distingue trois types de morphologie :

- les corps en X, en Y ou en T (cusped shreds) correspondant aux fragments de parois séparant trois (ou quatre) vésicules adjacentes,
- les échardes plates (platy shreds) correspondant aux fragments de parois délimitant deux vésicules relativement grandes,
- les échardes ponceuses (pumice shreds) où la texture vésiculée est encore visible.

Leur morphologie est directement liée au degré de vésiculation qui révèle la nature de l'éruption, magmatique ou hydromagmatique. Dans le cas d'éruptions à magma visqueux, la morphologie des échardes vitreuses résulte en grande partie de la fragmentation des ponces. Les échardes de verre basaltique sont constituées de deux natures de verre : du

sidéromélane (verre brun plus ou moins transparent) et du tachylite (verre noir, opaque et riche en microlites de Fe-Ti (Fisher et Schimincke, 1984 ; Heiken et Wohletz, 1985).

Prenons l'exemple des éruptions hydromagmatiques (ou phréatomagmatiques) ou la morphologie des échardes vitreuses (mais aussi des pyroclastes) est directement lié au brusque refroidissement du magma au contact de l'eau. La vésiculation est alors inhibée ce qui implique que les échardes (et les pyroclastes) présentent des formes anguleuses, non vésiculées avec des faces curvi-planaires caractéristiques correspondant à des fractures liées à la contraction thermique (Walker et Croasdale, 1972). Pour les éruptions phréatomagmatiques à magma basaltique et trachybasaltique, les pyroclastes sont constitués de verre noir opaque (tachylite) et cette constitution, associée à la morphologie, amène souvent les volcanologues à parler de « produits trempés ».

1.1.4 - Géochimie :

Dans notre étude, la géochimie a été réalisée sur des pyroclastes de magma juvénile triés à la binoculaire. Cette sélection a pour but principal de ne pas englober des xénolithes dans l'analyse ; cependant, cette opération a aussi pour conséquence d'éliminer les phénocristaux libres, dont certains appartiennent pourtant au magma juvénile. L'analyse a porté sur les éléments majeurs. Dans de rares cas (lorsqu'il n'existait pas de pyroclaste suffisamment volumineux) l'analyse a été faite sur des échardes vitreuses par microsonde. La détermination du magma est donnée grâce à la classification de Le Bas *et al.* (1985) (actualisée en 2002 par Le Maitre) qui est considérée par la Sous-Commission de l'Union géologique internationale comme la classification de référence.

1.1.5 - Minéralogique :

Comme cela avait été le cas dans ma thèse (Vernet, 1992) l'étude minéralogique des téphras a été faite à partir de l'étude des cortèges des minéraux lourds (Duplaix, 1958 ; Parfenoff *et al.*, 1970) (Figure 5). Deux fractions sont systématiquement étudiées (250 µm à 160 µm et 160 µm à 80 µm). Les résultats sont donnés en pourcentage global sur ces deux fractions, sauf lorsqu'une nette différence existe entre celles-ci. Des précisions d'ordre morphologique peuvent être données pour certaines espèces minérales rencontrées : forme, pléochroïsme, altération, présence ou non de verre volcanique à la surface des grains (« Bubble-Wal texture » de Fischer, 1963) qui est considérée comme un bon critère de distinction entre les minéraux propres aux téphras et ceux d'origine détritique locale. Un tri des éléments minéralogiques des pyroclastites s'effectue lors du transport (Westgate et Gorton, 1981), et il en est tenu compte lors de l'établissement des corrélations.

Des informations complémentaires sur les minéraux contenus dans les téphras ont été obtenues lors de l'observation en lames minces (Roubault *et al.*, 1963). Celle-ci permet en particulier d'observer les minéraux leucocrates comme les feldspaths. D'autre part, l'habitus des minéraux est précisé : minéraux libres automorphes, minéraux libres en éclats, microlites et phénocristaux.

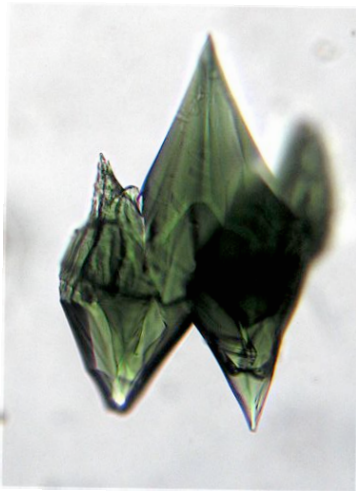
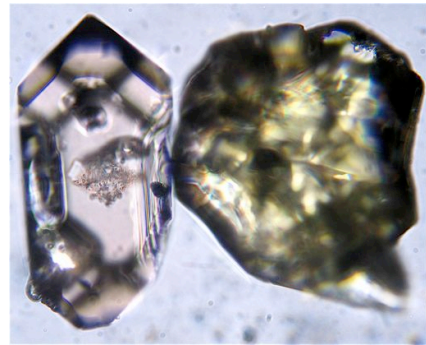
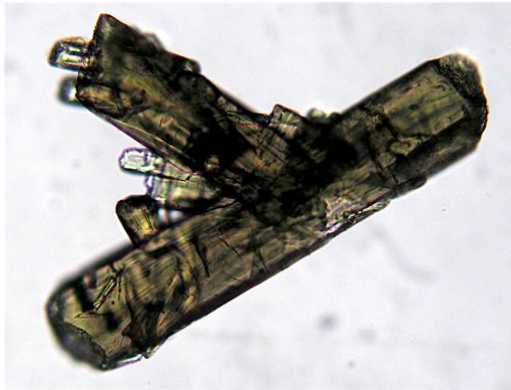


Figure 5 : Exemples de minéraux en grains (clinopyroxène brun, zircon, sphène et clinopyroxène vert aciculaire de type augite).

1.1.6 - Essai de datation :

La réalisation de datations numériques (TL et/ou ^{14}C) et l'obtention de données palynologiques ont été une des priorités lors de nos études. En effet, le but ultime de la téphrostratigraphie est de caler chronologiquement le téphra étudié et de le rattacher à un volcan source. L'attribution chronologique d'un niveau téphrique permet aussi de corréler entre eux les téphras, même si - au final - le volcan source reste inconnu.

Comme nous avons souvent travaillé sur des séquences comportant des niveaux archéologiques ces derniers, nous ont apporté, dans le cas où nous ne disposons pas d'autres éléments datant, une possibilité de situer chronologiquement l'événement éruptif qui se trouvait sur ou sous le niveau d'occupation humaine.

1.2 - Développement de l'étude en lame mince de grand format ; microfaciologie des dépôts pyroclastiques :

La pédologie utilise pour son étude des lames minces de grand format (65 mm X 1,40 mm) taillées dans des blocs de sédiments orientés préalablement imprégnés de résine (micromorphologie) (Figure 6). Cette technique (Guilloré, 1985) permet d'observer les microstructures présentes dans le niveau sédimentaire étudié.

Jusqu'à présent les structures sédimentaires des dépôts pyroclastiques (macrostructures et microstructures) étaient décrites par les volcanologues uniquement lors des relevés de terrain par des observations à l'œil nu (ou à la loupe). Il m'est apparu intéressant d'appliquer la méthode utilisée en pédologie aux formations pyroclastiques. En effet, la réalisation de lames minces de grand format permet une observation beaucoup plus fine des structures sédimentaires présentes dans le dépôt étudié : microlitages, granoclassement, agrégats, fracturation des clastes et orientation des clastes. Les fragments laviques, présents dans ces lames, ont été décrits suivant les principes de la pétrographie des roches éruptives (Jung, 1977).

Cette méthode d'étude apporte aussi des éléments concernant l'évolution post-dépôt (ta-phonomie) des téphras. On peut observer des traits pédologiques qui révèlent une pédogenèse ancienne postérieure au dépôt, des remaniements dus à des ruissellements, des déformations cryergiques ou de tassements et des altérations chimiques.

Ces observations nous permettent de proposer des microfaciès pouvant être caractéristique du mode de dépôt des pyroclastites. En particulier la définition de ces microfaciès permet de distinguer les dépôts de coulées pyroclastiques (flow), de déferlantes (surge) et de retombée (fall). Cette microfaciologie des dépôts pyroclastiques apparaît comme une méthode d'analyse originale et la multiplication des observations permet déjà de proposer certains microfaciès (*Proto-Lapilli Accrétionnés - PLA ; Micro-Litage à Doublé de lamines - MLD*) comme des marqueurs caractéristiques de certains dépôts, en particulier les déferlantes et les coulées pyroclastiques.

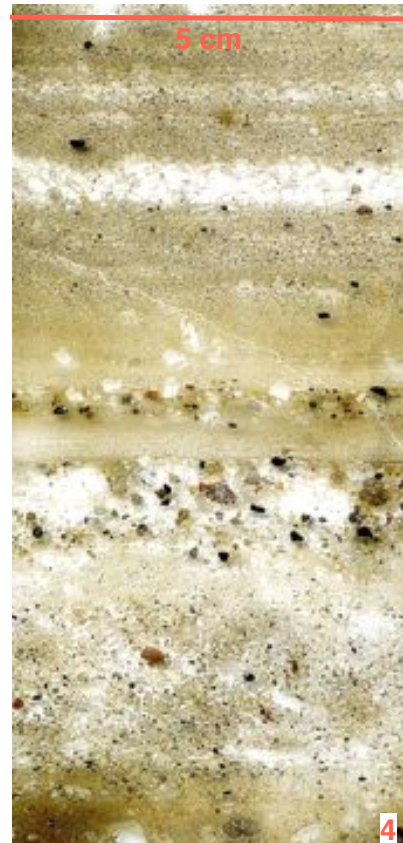
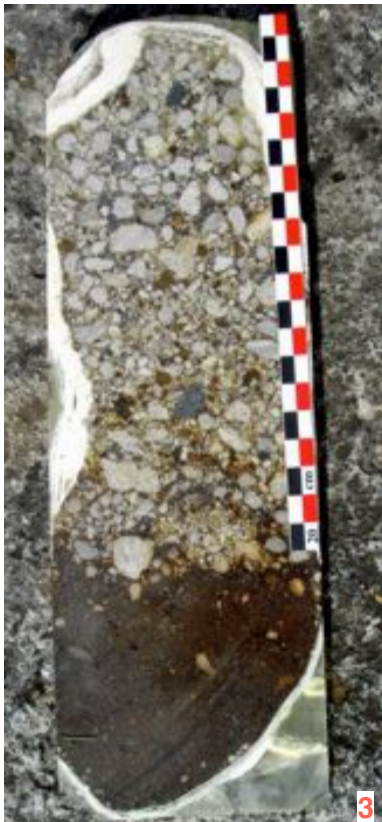


Figure 6 : Exemples des phases de réalisation des lames minces de grand format. 1 : découpe du bloc dans les sédiments (Clt-Fd, Les Gravanches) ; 2 : pose des bandes plâtrées (idem) ; 3 : découpe du bloc induré par la résine (St Pierre, Martinique) ; 4 : réalisation de la lame 6X12 (Gricignano, Italie).

1.3 - Références :

Bardintzeff J.-M., Brousse R. (1987) - Téphrochronologie. In : *Géologie de la Préhistoire : méthodes, techniques, applications*, Géopré, Paris, 973-990.

Bardintzeff J.-M., Miskovsky J.-C. (1984) - Identité granulométrique des tephra. *Bull. AFEQ*, 1984-4, 221-231 et *Bull. PIRPSEV* n° 86, 20 p.

Bourdier J. L. avec la collaboration de Boivin P., Gourgaud A., Camus G., Vincent P. M., Lenat J. F. (1994) - Le Volcanisme. BRGM éd., *Manuels et Méthodes*, 25, 344 p.

Brousse R., Bardintzeff J.-M. (1987) - Le volcanisme quaternaire - Influence sur le cadre de vie. In : *Géologie de la Préhistoire : méthodes, techniques, applications*, Géopré, Paris, 241-250.

Duplaix S. (1958) - *Détermination microscopique des minéraux des sables*. Librairie Polytechnique Ch. Béranger.

Cas R.A.F., Wright J.V. (1987) - *Volcanic successions. Modern and Ancient*. Allen & Unwin Publishers, London, 1987, 528 p.

Ewart A. (1963) - Petrology and petrogenesis of the Quaternary pumice ash in the Taupo area, New Zealand. *J. Petrol.*, vol. 4, 392-431.

Fisher R. V. (1961) - Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 72,1961, 521-528.

Fisher R. V. (1963) - Bubbles-wall texture and its significance. *J. Sed. Petrol.*, 33, 1963, 224-235.

Fisher R. V. (1964) - Maximum size, median diameter and sorting of tephra. *J. Geophys. Res.*, 69-2, 341-355.

Fisher R. V., Schimincke H.-U. (1984) - *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo.

Guilloré P., 1985 - *Méthode de fabrication mécanique et en série des lames minces*. doc. ronéo, Inst. Nat. Agron. Paris-Grignon, Dépt. des sols.

Heiken G., Wohletz K. (1985) - *Volcanic Ash*. University of California Press, Berkeley, 246 p.

Inman D. L. (1952) - Measures for describing the size distribution of sediments. *J. Sed. Petrol*, 22, 3, 125-145.

Jung J. (1977) - *Précis de Pétrographie. Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives*. 3^e édition, Ed. Masson, 327 p.

Juvigné E. (1993) - *Contribution à la téphrostratigraphie du Quaternaire et son application à la géomorphologie*. Mémoire pour servir à l'Explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique. n° 36, 66 p. Bruxelles.

Lajoie L., Stix J. (1992) - Volcaniclastic rocks. in : *Faciès Models, response to sea level change*, Édité par R.G.Walker et N.P. James. Geological Association of Canada, 101-118.

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, 1986, 745-750.

Le Maitre R. W. (2002) – *IUGS, classification of igneous rocks and glossary : recommendations of the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*, 236 p.

Miskovsky J.-C., Bardintzeff J.-M. (1985) - La spécificité granulométrique des retombées volcaniques : l'exemple de la chute de ponce P1 à 1 300 ans ap. J.-C. sur la Montagne Pelée (Martinique). *Bull. AFEQ*, 1985-4, 249-256.

Miskovsky J.-C. (sous la direction de) (1987) - *Géologie de la Préhistoire : méthodes, techniques, applications*. Géopre, Ed. A.E.E.G.P., Paris, 1297 p.

Parfenhoff A., Pomerol C., Tourenq J. (1970) - *Les minéraux en grains : méthodes d'étude et détermination*. Ed. Masson.

Roubault M., Farries J., Touret J., Welsbrod A. (1963) - *Détermination des minéraux des roches*. Ed. Lamarre-Poinat, Paris, 365 p.

Sheridan M. F. (1971) - Particule-size characteristics of pyroclastic tuffs. *J. Geophys. Res.*, vol. 76, n°23, 5627-5634.

Teulade A. (1989) - *Tephrologie des formations cendro-ponceuses en milieux lacustres quaternaires. Méthode d'étude et applications au Massif Central français (Velay) et aux Carpates orientales roumaines (dépression de Brasov)*. Thèse de l'Université d'Aix-Marseille II, spécialité : Géologie du Quaternaire, 24 février 1989, 301 p.

Tremblay E. (1997) - *Sédimentologie des volcanoclastites de la formation de Beauceville, Appalaches du Québec*. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, 1997, 143 p.

Vernet G. (1992) - *Message du volcanisme régional dans les formations quaternaires de Limagne occidentale (Massif central français). Minéraux denses et retombées*. Thèse de l'Université de Bordeaux 1, spécialité : Géologie du Quaternaire, n° 724, 335 p.

Vernet G., Raynal J.-P., Albore Livadie C. (1999) - La téphra d'Ariano Irpino, un aspect distal de l'éruption plinienne des ponces d'Avellino (Campanie), in : *L'erizione vesuviana delle « Pomici di Avellino » e la facies di Palma Campania (Bronze anti-*

co), a cura di Claude Albore Livadie, Edizioni Edipuglia, Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali , Ravello, 119-124.

Walker G.P.L. (1971) - Grainsize characteristic of pyroclastic deposits. *J. Geol.*, 79, 1971, 696-714.

Walker G.P.L. (1981) - Plinian eruptions and their products. *Bull. Vol.*, vol. 44-2, 1981, 223-240.

Westgate J.A. et Gordon M.P. (1981) - Correlation techniques in tephra studies. in : « *Tephra Studies* », S. Self and R.S.J. Sparks eds., 73-9.

LE MASSIF CENTRAL FRANÇAIS

2 - LE MASSIF CENTRAL FRANCAIS

2.1 - Les téphras piégés dans le remplissage lacustre du maar de Soleilhac :

La vaste dépression circulaire de Soleilhac - où des dépôts quaternaires affleurants sont reconnus comme fossilifères depuis 1829 (F. Robert) - est interprété comme un maar que depuis la fin des années soixante-dix (Mergoïl *et al.*, 1979). La reconnaissance de ce cratère de maar permet d'expliquer la genèse des dépôts lacustres. Les sondages profonds effectués depuis ont confirmé et compliqué cette conception (Bonifay, Mergoïl, 1988).

En accord avec les règles formelles de la lithostratigraphie (Salvador, 1994), les dépôts étudiés sont provisoirement dénommés *Complexe de Soleilhac*. Les grandes lignes de la lithostratigraphie générale du gisement sont les suivantes : six ensembles majeurs ont été définis, notés F à A, du plus ancien au plus récent (Bonifay *et al.*, 1976).

Description des six ensembles lithostratigraphiques de Soleilhac :

- Ensemble F : pyroclastites en place ou remaniées sur la pente interne du cratère, puissance d'ordre métrique à décimétrique.
- Ensemble E : argiles bleues et marnes, puissantes de plusieurs dizaines de mètres vers le centre du lac.
- Ensemble D : « sables roux », commençant par des intercalations silteuses et argileuses au sein du sommet de E et passent ensuite à des sédiments grossiers sableux et graveleux. Leur puissance est d'une dizaine de mètres.
- Ensemble C : ce sont des sables gris, plus ou moins grossiers et graveleux, d'une puissance moyenne d'un mètre. Ils contiennent l'essentiel de la faune et l'industrie préhistorique.
- Ensemble B : alternance de sables graveleux et de sapropels, puissance d'environ trois mètres.
- Ensemble A : colluvions anciennes et coulées de blocs, d'une puissance d'environ cinq mètres).

Des sondages carottés (S1 et S2), réalisés en 1983, ont permis de révéler la présence de plusieurs panneaux de brèche de maar qui viennent s'intercaler dans E et entre D et E. Une interprétation du système volcano-sédimentaire faisant intervenir deux structures de type maar emboîtées a alors été proposée (Bonifay, Mergoïl, 1988).

En 1995, un échantillonnage des carottes des sondages S1 et S2 a été réalisé (par J.-P. Raynal et G. Vernet) pour étude sédimentologique et microfaciologique. En plus des prélèvements classiques, il a été réalisé des prélèvements en blocs pour la réalisation de lames minces de grand format en particulier au niveau des possibles apports téphriques. Une étude téphrologique basée sur les microfaciès a été conduite. L'ensemble des résultats a donné lieu à une communication au Symposium intercongrès INQUA et UISPP, Té-

phrochronologie et coexistence Hommes-volcans, à Brives-Charensac en août 1998 (Raynal, Vernet, 2001). Nous présenterons ici les microfaciès d'apports téphriques identifiés et ceux de niveaux interprétés comme issus du tuff-ring du maar de Soleilhac.

2.1.1 - Les téphras basaltiques, marqueurs du volcanisme local :

Dans le sondage S1, entre 16,10 et 27, 45 m, au sein de dépôts lacustres correspondant vraisemblablement aux ensembles D et E, plusieurs téphras basaltiques ont été observés et peuvent être rapprochés de ceux décrits dans l'ensemble D du sondage S2. Nous décrivons ici trois de ces niveaux : niveau 34, 44 et 59.

Dans le sondage S2, l'ensemble E contient au moins deux téphras basaltiques remaniés (niveaux 45 e et 45 u) et l'ensemble D deux téphras non remaniés (niveaux 37 et 33 c) qui seront décrits ici.

2.1.1.1 - Le niveau 34, sondage S1 :

Il s'agit d'un niveau épais de 30 cm avec une limite inférieure nette et une limite supérieure diffuse. A la base, on note une lamine sableuse (1 cm d'épaisseur), puis une partie médiane grossière et une partie sommitale où l'on note une diminution de la taille des clastes.

La lamine de base est constituée par des pyroclastes (taille ≤ 1 mm) de magma juvénile non vésiculés, noirs opaques et présentant des formes anguleuses (tachylite). Ils présentent toutes les caractéristiques de pyroclastes trempés issus d'une éruption phréatomagmatique explosive. On note également la présence en proportion importante (50 à 60 %) de xénoclastes issus du socle. La morphologie des pyroclastes, la forte proportion des xénoclastes et la fragmentation importante de l'ensemble des clastes aboutissant à une granulométrie fine nous conduisent à interpréter cette lamine comme étant le témoin de la phase initiale fortement explosive (blast) d'une éruption à caractère phréatomagmatique (éruption de type maar).

La partie médiane de ce téphra (34/S1), assez grossière (taille moyenne des clastes de l'ordre de 9 mm) est constitué de pyroclastes vésiculés (69 %), de clastes laviques (10 %) et de xénoclastes (21 %) :

- Les pyroclastes adoptent des formes arrondies ou anguleuses. Ils sont « frais » et non roulés. Leur vésiculation est faible à moyenne. Leur matrice vitreuse noire opaque emballée des phénocristaux d'olivine et - en moins grand nombre - de clinopyroxène brun-vert. Des microlithes (lattes de plagioclase) sont visible dans la matrice. Le diamètre maximum des trois plus gros pyroclastes rencontrés dans la lame est de 9 à 10 mm. Certains de ces pyroclastes présentent un caractère « trempé » ; tachylite à morphologie anguleuse résultant d'une fracturation important de ces clastes (Heiken, Wohletz, 1985).
- Les clastes laviques sont anguleux ou arrondis, de taille comparable à celle des pyroclastes vésiculés. Il s'agit d'une lave grise (basalte) constituée d'une pâte riche en microlithes (lattes de plagioclase, pyroxène, olivine et magnétite) de vésiculation faible à nulle, contenant des phénocristaux d'olivine (souvent altérée en iddingsite) et de clinopyroxène brun-vert. L'un de ces clastes laviques a été observé dans un pyroclaste vésiculé. Cette

observation tendrait à montrer que ces clastes laviques ne correspondent pas à des éléments de magma juvénile de cette éruption mais seraient plutôt des clastes de basalte repris.

- Les xénoclastes du socle sont représentés par des grains polycristallins (granite à biotite) anguleux dont la taille peu atteindre 10 mm. On observe également des minéraux libres (quartz, feldspath, biotite) de taille plus réduite. Signalons un grain de brèche pyroclastique.

Cette partie médiane du téphra S4/S1 peut être interprété comme le témoin d'une éruption à caractère phréatomagmatique qui s'est produite non loin du lac de maar de Soleilhac. Les pyroclastes vésicules (scories) constituent la part de magma juvénile apporté lors de l'éruption alors que les autres fragments rencontrés sont des xénoclastes. Leur forte proportion (33 %) et le caractère trempé de certains pyroclastes (vésiculation faible, verre tachylitique, forme anguleuse résultant de cassures) sont caractéristiques d'une phase phréatomagmatique ; la lamine de base représentant l'explosion initiale (blast) de cette éruption. Le granoclassement normal observé entre la partie médiane grossière et la partie supérieure plus fine résulte sans doute de la décantation du matériel pyroclastique à travers une tranche d'eau.

2.1.1.2 - Le niveau 44, sondage S1 :

Il s'agit d'un niveau homogène sableux (taille moyenne des clastes de l'ordre de 2 à 3 mm) épais de 2 cm avec une limite inférieure nette et une limite supérieure non observée.

Ce téphra (44/S1) est constitué de pyroclastes vésiculés (31 %), de clastes laviques (16 %) et de xénoclastes (52 %). Les pyroclastes vésiculés présentent les mêmes caractéristiques que ceux du téphra 34/S1 ; en revanche, ils sont de taille plus réduite avec les trois plus gros éléments rencontrés sur la lame qui possèdent un diamètre maximum de 2,7 à 3 mm. Les clastes laviques sont des fragments anguleux ou arrondis de basalte à phénocristaux, identique à celui déjà décrit pour le téphra 34/S1. Les xénoclastes sont représentés par des grains polycristallins anguleux (granite à biotite). Les minéraux libres (feldspath, quartz, biotite) sont nombreux. Parmi ces xénoclastes, on note la présence d'une ponce fibreuse.

Ce niveau représente un apport de matériel pyroclastique (téphra) provenant qu'une éruption à caractère phréatomagmatique. Il n'est pas exclu que ce téphra soit légèrement remanié comme le montre l'incorporation de ponces provenant des téphras 42 et/ou 49 qui encadrent le niveau étudié.

2.1.1.3 - Le niveau 59, sondage S1 :

Il s'agit d'un niveau de 4,7 cm d'épaisseur présentant un granoclassement normal, avec une limite inférieure nette et une limite supérieure diffuse (Figure 7).

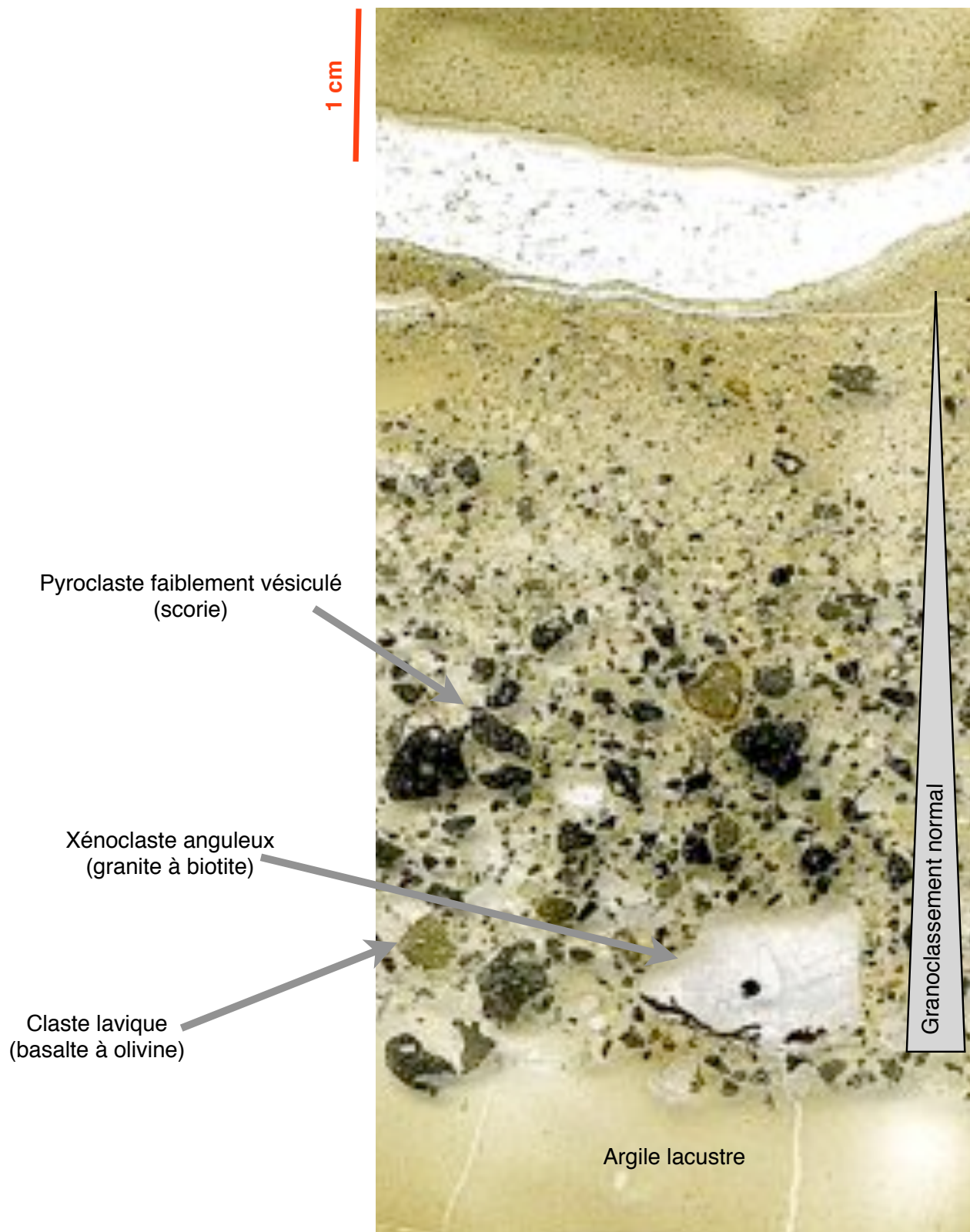


Figure 7 : Lame mince de grand format du téphra 59/S1 dans les sédiments lacustres du paléolac de maar de Soleilhac (43).

Ce téphra (59/S1) est constitué de pyroclastes vésiculés (49 %), de clastes laviques (15 %) et de xénoclastes (36 %) :

- Les pyroclastes adoptent des formes anguleuses. Ils sont « frais » et non roulés. Leur vésiculation est faible à moyenne. Leur matrice vitreuse noire opaque emboîte des phénocristaux d'olivine et de clinopyroxène brun-vert. Le clinopyroxène brun-vert est plus abondant que dans les autres niveaux. Le diamètre maximum des trois plus gros pyroclastes rencontrés dans la lame est de 5 à 7 mm. Certains de ces pyroclastes présentent un caractère « trempé » ; tachylite à morphologie anguleuse résultant d'une fracturation importante de ces clastes (Heiken, 1972 ; Heiken, Wohletz, 1985).
- Les clastes laviques sont anguleux ou arrondis, de taille (maximum 4 mm) légèrement inférieure à celle des pyroclastes vésiculés. Il s'agit d'une lave grise (basalte) constituée d'une pâte riche en microlithes (lattes de plagioclase, pyroxène, olivine et magnétite) de vésiculation faible à nulle, contenant des phénocristaux d'olivine, de clinopyroxène brun-vert et d'amphibole brune.
- Les xénoclastes du socle sont représentés par des grains polycristallins (granite à biotite) anguleux dont la taille peut atteindre 14 mm. On observe également des minéraux libres (quartz, feldspath, biotite) assez abondants.

L'observation en lame mince de grand format a permis d'observer un microfaciès particulier. En effet, certains clastes portent un fin revêtement cendré représentant un stade initial d'accrétion. Il s'agit du stade initial de lapilli accrétionnés armés. Ce type de microstructuration a été rencontré et décrit (Vernet *et al.*, 1999 ; cf. chapitres) à plusieurs reprises dans notre travail et il est toujours associé à des produits pyroclastiques issus d'éruptions phréatomagmatiques (Moore, Peck, 1962 ; Walker, 1971 ; Fischer, Schmincke, 1984 ; Cas, Wright, 1992). Nous les avons dénommés Proto-Lapilli Accrétionnés (PLA) ou lapilli accrétionnés de type 1 (Vernet, ce travail).

Définition d'une microstructuration en proto-lapilli (PLA) : autour d'un claste de nature variée (cristal, claste de lave, ponce, scorie, boule de cendres fines) on observe un revêtement externe peu développé de particules fines agglomérées (échardes vitreuses, xénoclastes finement pulvérisés, microéclats de minéraux) représentant un début d'accrétion.

Ce niveau représente un apport de matériel pyroclastique (téphra) provenant qu'une éruption à caractère phréatomagmatique révélé par la morphologie des pyroclastes anguleux et peu vésiculés (tachylite), le pourcentage élevé des xénoclastes (total = 51 %) et par la présence de PLA. Le granoclassement normal observé correspond à la décantation du matériel pyroclastique à travers une tranche d'eau. Les éléments les plus lourds (grosses scories, fragments laviques et gros fragments de socle) sédimentent en premier. Les fragments plus fins décantent moins vite et se retrouvent au sommet du dépôt. Les minéraux libres se retrouvent dispersés dans l'ensemble du niveau, leur sédimentation étant fonction de leur densité, de leur taille et de leur forme.

2.1.1.4 - Le niveau 37 du sondage S2 :

Ce niveau est composé de sables fins lités. Les grains anguleux qui constituent la majorité des lits sont des feldspaths et des biotites. Certains des lits composant ce niveau apparaissent plus grossiers, à composition quasi-exclusivement sableuse très bien classée ($Md_{\phi} = 1,60$; $\sigma_{\phi} = 0,94$) contiennent des pyroclastes vésiculés noirs millimétriques anguleux frais et des minéraux libres volcaniques (clinopyroxène brun-vert).

Les lits plus grossiers à scories du niveau 37 (sondage S2) marquent des apports téphriques répétitifs au sein d'une séquence lacustre sableuse. Contrairement aux téphras reconnus dans le sondage S1 qui caractérisaient des éruptions phréatomagmatiques proches, Les apports téphriques du niveau 37/S2 marquent plutôt des apports lointains d'éruptions certes basaltiques mais où le caractère phréatomagmatique n'est pas certain ; il peut s'agir de retombées distales d'un panache strombolien.

2.1.1.5 - Le niveau 33c du sondage S2 :

Il s'agit d'un niveau épais de 4 cm et présentant un granoclassement normal. Ses limites, inférieure et supérieure, sont nettes.

Ce téphra (33c/S2), assez grossière (taille moyenne des clastes de l'ordre de 8 mm) est constitué de pyroclastes vésiculés (41 %), de clastes laviques (9 %) et de xénoclastes (50 %) :

- Les pyroclastes adoptent des formes arrondies ou anguleuses. Ils sont « frais » et non roulés. Leur vésiculation est faible à moyenne. Leur matrice vitreuse noire opaque emballée des phénocristaux d'olivine et - en moins grand nombre - de clinopyroxène brun-vert. Des microlithes (lattes de plagioclase) sont parfois visible dans la matrice. Le diamètre maximum des trois plus gros pyroclastes rencontrés dans la lame est de 7 à 10 mm. Certains de ces pyroclastes présentent un caractère « trempé » ; tachylite à morphologie anguleuse résultant d'une fracturation important de ces clastes (Heiken, Wohletz, 1985). Certains de ces pyroclastes contiennent des clastes laviques et des fragments de granite.
- Les clastes laviques sont anguleux ou arrondis, de taille un peu inférieure à celle des pyroclastes vésiculés. Il s'agit d'une lave grise (basalte) constituée d'une pâte riche en microlithes (lattes de plagioclase, pyroxène, olivine et magnétite) de vésiculation faible à nulle, contenant des phénocristaux d'olivine. Il s'agit d'un basalte à olivine.
- Les xénoclastes du socle sont représentés par des grains polycristallins (granite à biotite) anguleux. On observe également des minéraux libres (quartz, feldspath, biotite).

Ce téphra (33c/S2) présente les même caractéristiques que les téphras reconnus dans le sondage S1 (cf. chapitres 2.1.1.1, 2.1.1.2 et 2.1.1.3) et représente donc le témoin d'une éruption à caractère phréatomagmatique survenue dans l'environnement proche du lac de maar de Soleilhac. Le granoclassement normal observé résulte de la décantation du maté-

riel pyroclastique à travers une tranche d'eau comme pour le téphra 59/S1 (cf. chapitre 2.1.1.3).

2.1.1.6 - Synthèse sur les téphras basaltiques :

La mise en évidence de téphras basaltiques (au moins une dizaine) montre que la sédimentation lacustre du paléolac de maar de Soleilhac a enregistré des apports volcaniques locaux, principalement dus à des éruptions à fort caractère phréatomagmatique (de type maar), confirmant ainsi l'existence d'un volcanisme actif dans cette région du Velay au cours du Pléistocène moyen

La réalisation de lames minces de grand format nous a permis de mettre en évidence :

- Une phase initiale fortement explosive, de type blast, à la base du téphra 34/S1. Ce type de dépôt, marquant la base d'un téphra, a été décrit pour le téphra CF3 dans la cuvette clermontoise (Vernet, 1992). Des observations récentes de CF3 confirment le caractère explosif de la lamine basale (cf. chapitre 2.3.2.1).
- Une microstructuration (Proto-Lapilli Accrétionné ou PLA) pour le téphra 59/S1, confirmant le caractère phréatomagmatique de l'éruption responsable de ce dépôt téphrique.
- Un granoclassement normal pour les téphras 34/S1, 59/S1 et 33c/S2 qui met en lumière le mode de dépôt de ces pyroclastites : décantation à travers une tranche d'eau.

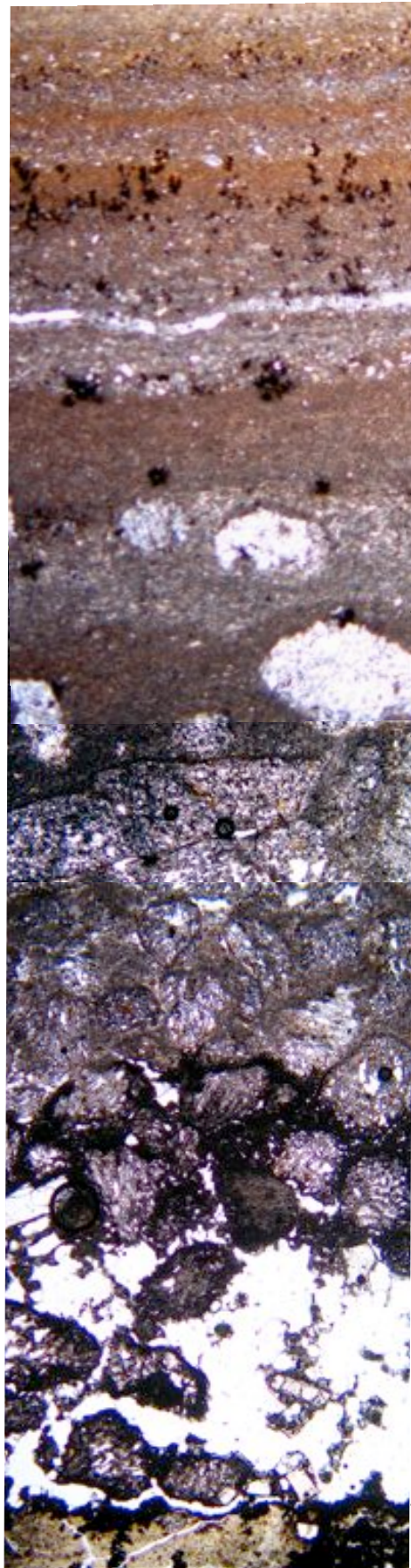
2.1.2 - le téphra acide, marqueur du volcanisme des Monts Dorés :

Une retombée ponceuse directe a été identifiée dans le sondage S1 (Teulade, 1985, 1988, 1989) ; ce téphra a été corrélé avec les « ponces supérieures du Sancy » (Cantagrel, Beaubron, 1983) et plus particulièrement avec la nappe de ponces de Neschers que diverses méthodes de datation situaient vers 0,8 M.a. avant que ne soit proposée une date $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $0,58 \pm 0,02$ M.a. (Lo Bello *et al.*, 1987), résultat confirmé par un âge TL de $0,52 \pm 0,04$ M.a. (Pillyre, 1991).

Lors de notre échantillonnage de cette même carotte du sondage S1, nous (G.V. et J.-P. R) avons retrouvé un niveau à ponces (téphra 49/S1) dans une position stratigraphique proche de celle décrit par Teulade (1985) ; en revanche, nous n'avons pas observé de niveau à ponces dans la carotte S2. Dans S1, Teulade décrit deux niveaux à ponces, un niveau inférieur de 6 cm d'épaisseur et un niveau supérieur de 3 cm d'épaisseur, séparés par environ 70 cm de sédiment lacustre. Visiblement le niveau inférieur a été totalement prélevé par Teulade et le téphra (49/S1) que nous avons pu observer correspond au niveau supérieur.

La partie de la carotte S1 étant intacte au niveau du téphra 49/S1, nous avons prélevé un bloc afin de réaliser une lame mince de grand format. Visiblement, ce niveau n'avait pas été précédemment échantillonné ; Teulade a travaillé uniquement sur le niveau inférieur et a simplement fait une brève description du niveau supérieur qu'il interprète comme un simple « remaniement du dépôt de retombée pyroclastique correspondant au niveau inférieur » (Teulade, 1985).

1 cm



Cendres fines litées



Cendres fines granoclassées
à échardes ponceuses



Cendres fines



Cendres fines à ponces
et échardes ponceuses



Cendres fines à ponces



Niveau à ponces

Figure 8 : Microstratigraphie du téphra 49/S1
(maar de Soleilhac, 43).

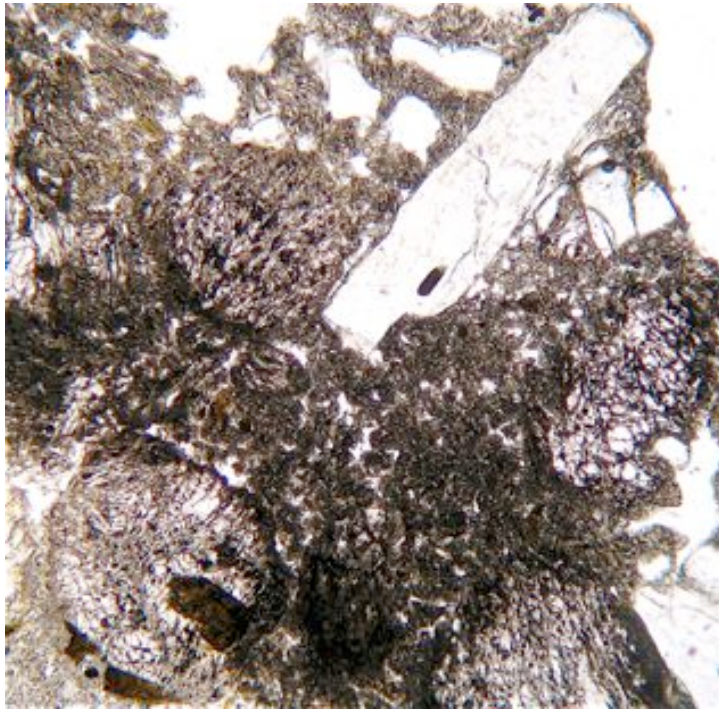


Argile varvée lacustre

La lame mince réalisée permet de décrire la microstratigraphie de ce niveau téphrique, de bas en haut on observe (Figure 8) :

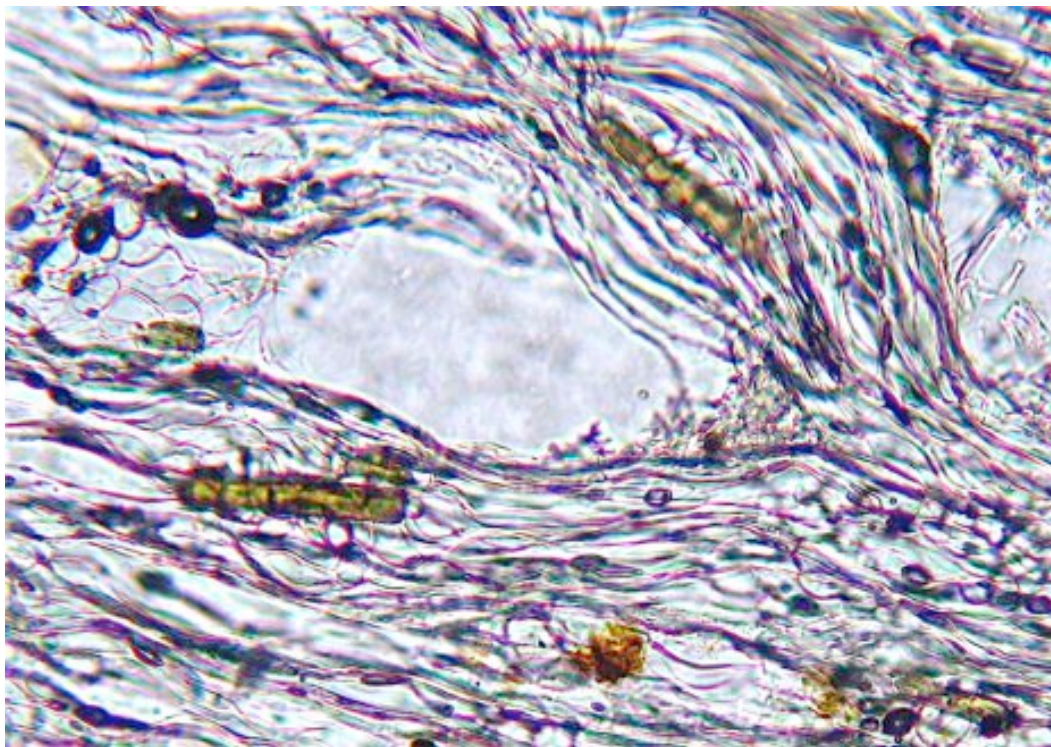
- L'argile varvée lacustre.
- Après une limite nette, un niveau à ponces (épaisseur = 7 à 8 mm). Les ponces apparaissent assez « serrées », cependant une matrice constituée exclusivement d'échardes vitreuses est présente entre les ponces. On note un léger granoclassement inverse : à la base les ponces possèdent un diamètre moyen de 900 μm alors qu'il atteint 1,5 mm au sommet. Des cristaux libres de feldspath (dont la longueur peut dépasser le millimètre, Figure 9) sont présents à la base de ce niveau. Les ponces sont très vésiculées et présentent une texture à vésicules subsphériques dominante mais il existe aussi des individus à texture nettement fibreuse. Des microcristaux d'amphibole (Figure 10) ont été observés dans ces ponces ainsi que de rares phénocristaux de ce même minéral. Aucun élément lithique (débris de roche cristalline ou volcanique) n'a été observé dans ce niveau à ponces.
- Une lamine (épaisseur = 1,5 à 3 mm) de cendres fines à ponces. Dans une matrice vitreuse très fine on trouve des ponces (\varnothing moyen = 2 mm ; la plus grosse ponce atteint 3 mm) dispersées assez régulièrement au sein de la lamine.
- Une lamine (épaisseur = 1 à 1,5 mm) de cendres fines constituées d'échardes ponceuses au sein desquelles on trouve encore des ponces dispersées assez régulièrement au sein de la lamine. La variation de la taille des échardes vitreuses de la matrice détermine un granoclassement inverse.
- Une lamine (épaisseur = 1,2 mm) homogène de cendres fines. Les ponces et les fragments ponces de taille réduite sont totalement absents.
- Une lamine (épaisseur = 2,5 mm) de cendres fines constituées d'échardes ponceuses. La variation de la taille des échardes vitreuses détermine un granoclassement normale. Les ponces sont totalement absentes de cette lamine.
- Cendres fines litées sur 3 à 4 mm constituées par l'alternance de lamines riches en échardes vitreuses (Figure 11) et de lamines à matrice où la fraction argileuse devient de plus en plus forte. On note de rares ponces (taille moyenne = 500 à 600 μm) à l'aspect arrondi. Nous avons là un passage diffus entre le téphra en place et la sédimentation lacustre franche.

Les microfaciès des différentes lamines constituant le téphra 49/S1 permettent de proposer qu'il s'agit d'une retombée ponceuse en place. La matrice des 5 lamines inférieures est exclusivement constituée d'échardes vitreuses et de fragments ponceux. L'absence de constituant pouvant provenir des sédiments lacustres environnants (argile lacustre ou fragment lithique (débris de roche cristalline ou volcanique) plaide pour une absence de remaniement de ce dépôt. Teulade (1989) avait interprété ce niveau comme un dépôt secondaire et il avait donc conclu que la séquence lacustre de Soleilhac avait enregistré un seul apport téphrique ponceux. Nos observations obligent à revenir sur cette conclusion et



1120 μm

Figure 9 : Phénocristaux de feldspath et d'amphibole (téphra 49/S1, Soleilhac).



10 μm

Figure 10: Microcristaux d'amphibole dans une ponce fibreuse (téphra 49/S1, Soleilhac).

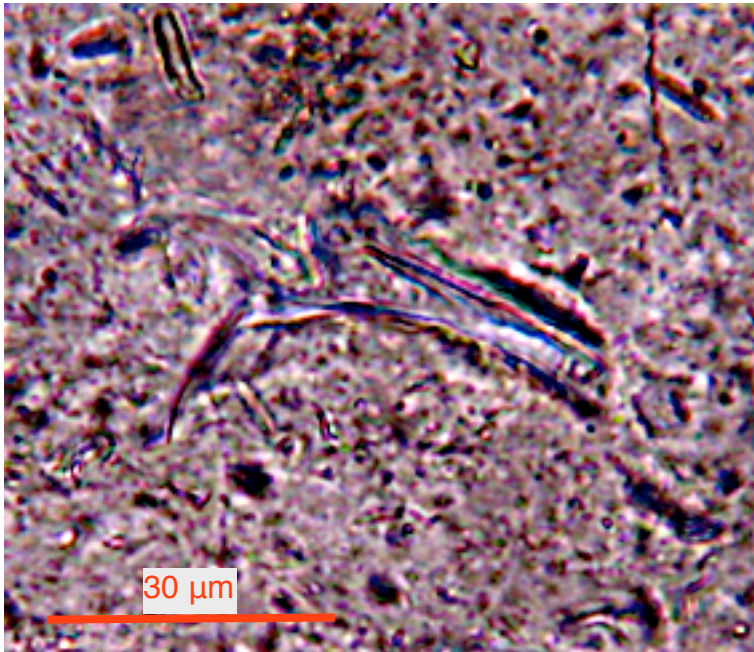


Figure 11 : Echardes de types corps en Y et en X (Soleilhac, téphra 49/S1).

démontrent qu'il y a bien deux arrivées de ponces au sein de la séquence lacustre (séparée par 0,70 m d'argile lacustre). Le fait qu'il y ai deux arrivées ponceuses distinctes (mais de faciès identique) ne remet pas en cause l'origine de ces apports qui reste les « ponces supérieures du Sancy ».

2.1.3 - Faciès de tuff-ring :

Les dépôts de l'ensemble E dans le sondage S2 sont surmonté par un ensemble de niveaux de tuff-ring ou de « brèche de maar ». Deux lames minces (niveaux 44 et 38 du sondage S2) permettent une description de ces pyroclastites.

Ces niveaux sont constitués par une matrice fine brune consolidée emballant des clastes de taille parfois conséquente (plus de 2 cm). On note la présence de pyroclastes (scories) noires peu vésiculées et de xénoclastes (basalte à olivine et granite à biotite). La proportion des xénoclastes est importante (plus de 50 %) et le plus gros atteint la taille de 28 mm.

L'observation la plus importante est la mise en évidence d'une microstructuration au sein de ces dépôts. Certains clastes présentent une fine couche de produits cendreux sur leurs bords représentant un stade initial d'accrétion. Cette structure en « pseudo-sable » est donnée comme fréquente dans les dépôts d'éruptions phréatomagmatiques (Moore, Peck, 1962 ; Walker, 1971 ; Fischer, Schmincke, 1984 ; Cas, Wright, 1992). Les multiples observations de cette microstructure au cours de notre travail de recherche nous ont conduit à proposer de la qualifier de Proto-Lapilli Accrétionné (PLA) ou « lapilli accrétionné de type 1 ». Nos observations confirment que ce microfaciès est caractéristique d'éruptions phréatomagmatiques et précisent qu'il est plus particulièrement associé à des dépôts de déferlantes (surge) et aussi de coulées pyroclastiques (flow). Il est donc normal de le retrouver dans les pyroclastites constituant le tuff-ring d'un maar où la part des déferlantes basales est forte. Cependant, il peut être présent dans des dépôts de retombées distales (fall) comme le montre son observation dans le téphra 59/S1 (cf. supra). Il faut noter ici que des lapilli accrétionnés ont été décrits dans les dépôts phréatomagmatiques de l'anneau incomplet de projection du maar de Soleilhac sur le bord ouest de la dépression (Mergoil, 1981).

2.1.4 - Références :

Bonifay E., Bonifay M.F., Panattoni R., Tiercelin J.J. (1976) - Soleilhac Blanzac, Haute-Loire nouveau site préhistorique du début du Pléistocène moyen. *Bull. de la Société Préhistorique Française*, 1976, tome 73, Etudes et Travaux, 293-304.

Bonifay E., Mergoïl J. (1988) Les maars de Soleilhac Blanzac, Haute-Loire et leurs séries volcano-sédimentaires. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 1988, t; 307, série II, 1561-1566.

Cantagrel J.M., Baubron J.C. (1983) - Chronologie des éruptions dans le massif volcanique des Monts Dore : implications volcanologiques. *Géologie de la France*, 21, 1983, 12, 123-142.

Cas R.A.F., Wright J.V. (1992) - *Volcanic successions. Modern and ancient*. Chapman & Hall, 1992, London, 526 p.

Fischer R.V., Schmincke H.U. (1984) - *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag, 1984, Berlin, 472 p.

Heiken G.H. (1972) - Morphology and petrography of volcanic ashes. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1972, 83, 1961-1988.

Heiken G., Wohletz K. (1985) - *Volcanic Ash*. University of California Press, Berkeley. Los Angeles. London, 1985, 241 p.

Lo Bello P., Féraud G., Hall C.M., York D., Lavina P., Bernat M. (1987) - $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ step heating and laser fusion dating of a quaternary pumice from Neschers, Massif Central, France : the defeat of senocystic contamination. *Chem. Geol. Isot. Geosci. Sect.*, 1987, 66, 61-71.

Mergoïl J., Boivin P., Camus G., Goër de Herve A. de, Gourgaud A., Kieffer G., Vincent P. (1979) - Le maar, site paléontologique privilégié en contexte volcanique. *7è R.A.S.T.*, 1979, Lyon, Société Géologique de France éd., 325.

Moore J.G., Peck D.L. (1962) - Accretionary lapilli in volcanic rocks of the Western United States. *Journal of Geology*, 1962, 70, 182-193.

Pilleyre Th. (1991) - *Datation par thermoluminescence. Application à la chronologie des retombées volcaniques*. Thèse de I(Université de Clermont II, 1991, DU345, 164 p.

Raynal J.-P., Vernet G., avec la collaboration de M.-M. Paquereau et G. Papy (2001) – Sédiments, tephres et pollens dans le Complexe de Soleilhac (Blanzac, Haute-Loire). *TEPHRAS chronologie et archéologie, Les dossiers de l'Archéo-Logis*, n°1, éditeur CDERAD, juillet 2001, 191-209.

Robert F. (1829) - Mémoire sur les ossements fossiles des environs de Cussac, commune de Polignac Haute-Loire. *Annales de la Société d'Agriculture du Puy*, 1829.

Salvador A. (1994) - *International Stratigraphic Guide*. International Union of Geological Sciences and Geological Society of America Ed., 1994, Boulder, 214 p.

Teulade A. (1985) - *Etude téphrologique de formations lacustres de maars du Velay occidental*. DEA, Université d'Aix-Marseille II, 1985, 72 p.

Teulade A. (1988) - Les téphra cendro-ponceux dans les sédiments du lac de maar de Soleilhac Haute-Loire : pétrographie et origine. *Soc. Hist. Nat. Auvergne*, 1988, 53, 39-43.

Teulade A. (1989) - *Téphrologie des formations cendro-ponceuses en milieux lacustres quaternaires. Méthode d'étude et application au Massif Central français Velay et aux Carpathes orientales roumaines dépression de Brassov*. Thèse de l'Université d'Aix-Marseille II, 1989, 301 p.

Vernet G., Raynal J.-P., Lefèvre D., Kieffer G. (1999) - Téphras distales dans les dépôts du Pléistocène moyen de Venosa. in : *Notarchirico . Un sito del Pleistocene medio iniziale nel bacino di Venosa*, a cura di Marcello Piperno, Edizioni Osanna, 1999, museo « L. Pigorini », 207- 233.

Walker G.P.L. (1971) - Grainsize characteristics of pyroclastic deposits. *Journal of Geology*, 1971, 79, 696-714.

2.2 - Les dépôts de maar (tuff-ring)

2.2.1 - Découverte d'un nouveau maar dans l'agglomération clermontoise : le maar de La Gantière :

En 1992, une importante coupe stratigraphique a été observée au cours de travaux de construction dans le secteur Sud-Est de Clermont-Ferrand. Des dépôts lités riches en éléments volcaniques ont été interprétés comme issus d'un maar, inconnu auparavant, apparenté par sa nature et son âge au maar de Limagne tels que ceux de Clermont-Ferrand, de Saint-Hippolyte et de Ladoux. Cette découverte a fait l'objet d'une publication (Vernet *et al.*, 1995) dans un volume de la Revue d'Auvergne, intitulé « Géologie en Auvergne. Du passé à l'avenir », qui montre que l'Auvergne est, sans contexte, une terre classique de la géologie et que son université a toujours abrité un laboratoire de géologie très actif.

2.2.1.1 - Introduction :

Des travaux de construction, effectués au printemps 1992, le long de la rue de La Gantière ont permis d'observer une coupe de terrain de plus de 5 mètres de hauteur au sein de laquelle des dépôts lités riches en matériaux volcaniques ont attiré notre attention.

Ces dépôts forment un relief bien marqué de 4 à 5 mètres de hauteur bordant au Sud/Sud-Ouest une vaste dépression (zone de La Pardieu) où les travaux d'urbanisme montrent l'existence de fortes accumulations de sédiments (alluvions, formations palustres, téphas...).

2.2.1.2 - La stratigraphie :

Au niveau de la rupture de pente entre la rue de La Gantière et le boulevard Gustave-Flaubert, on distingue de bas en haut :

- ensemble 1 (1 m à 1,50 m visible) : argile verdâtre à caractère palustre, avec des traces de racines vers le sommet,
- ensemble 2 (0,20 m à 0,30 m) : paléosol de marais, noir, riche en matière organique,
- ensemble 3 (4 m à 4,50 m) : succession de lits plans, horizontaux, d'épaisseur et de granulométrie variables, très riches en éléments volcaniques (scories noires non vésiculées, petites bombes en choux-fleur). Les lits de granulométrie fine forment des dalles très compactes ou les scories sont emballées dans une matrice constituée d'une " bouillie " de marnes. Les toits de certains de ces niveaux sont parsemés de petites empreintes et de fragments végétaux hachés et orientés ainsi que de charbons de bois de taille millimétriques. Les lits plus grossiers contiennent une forte proportion de débris minéraux (quartz, feldspaths et fragments de marnes craquelés en surface, de taille parfois pluricentimétrique),
- ensemble 4 (1 m à 2 m) : en position emboîtée dans l'ensemble 3 des alluvions grossières à galets de quartz, granite et basalte,
- ensemble 5 (0,5 m à 2 m) : colluvions grises à noires à rares vestiges archéologiques (céramiques et silex) néolithique.

2.2.1.3 - Caractéristiques macroscopiques de l'ensemble 3 :

La forte proportion de débris minéraux (xénoclastes), la présence de petites bombes en chou-fleur et de scories anguleuses et compactes à l'aspect trempé de lave juvénile ainsi que la stratification régulière sont caractéristiques de projections issues d'une éruption phréatomagmatique ; certains niveaux évoquent les produits du maar de Ladoux. On note la présence de fragments chauffés (craquelés) de marnes oligocènes (Figure 12). L'observation attentive de cette formation permet de l'interpréter comme un dépôt de déferlantes basales (base surge). La majorité des lits sont plans, mais la présence de quelques chenaux d'érosion (chenaux en U) montrent que certains souffles ont été particulièrement violents et l'on peut supposer que l'affleurement est proche du point éruptif. La dépression de zone de La Pardieu située immédiatement au Nord-Est pourrait marquer la trace de la dépression cratérique.



5 cm

Figure 12 : Macrofaciès du tuff-ring du maar de La Gantière (Clermont-Ferrand, 63). Dépôts rythmés caractéristiques d'éruptions phréatomagmatiques. Au centre, un fragment arrondi de marne oligocène (substrat dans lequel s'ouvre le cratère) présentant un cortex craquelé révélant une chauffe de ce bloc lors de l'éruption.

2.2.1.4 - Observations microscopiques d'un niveau de l'ensemble 3 :

Afin de préciser le microfaciès des produits éruptifs, nous avons réalisé une lame mince de grandes dimensions (Figure 13) dans un niveau grossier consolidé surmonté d'un niveau fin millimétrique. Nous constatons une forte proportion (50 %) de fragments de minéraux et de roches qui sont par ordre d'importance des feldspaths, des quartz, des fragments polycristalins de granite, de grés et de marno-calcaire. Ces clastes peuvent être considérés comme des xénoclastes issus du substratum (socle et formations oligocènes).

A propos des pyroclastes on distingue :

- des pyroclastes de basalte juvénile noirs, non vésiculés, riches en microlites de plagioclases et en cristaux automorphes d'olivine et de clinopyroxène brun,

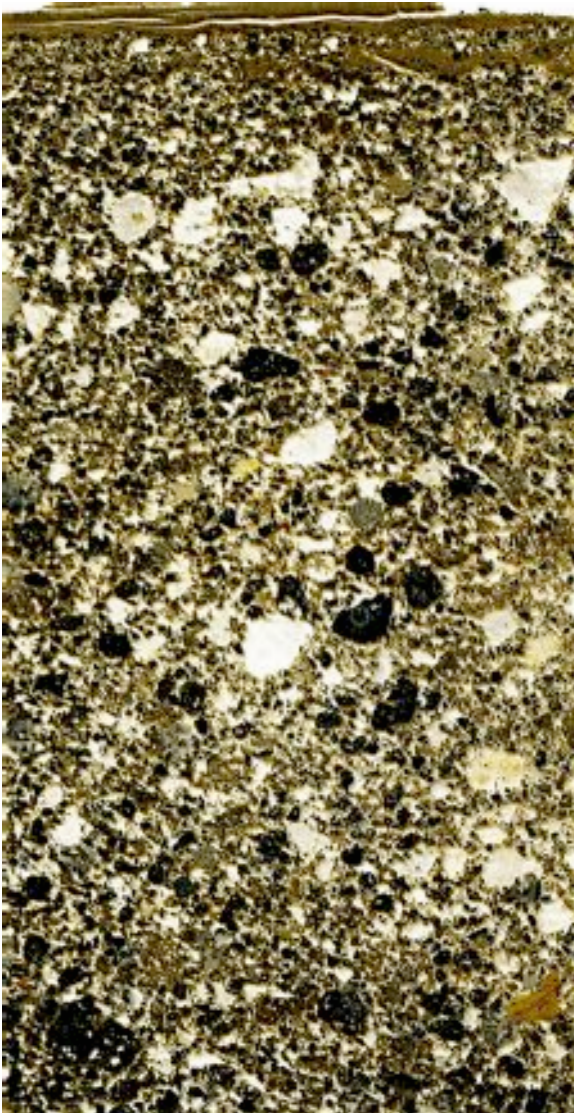


Figure 13 : Microfaciès d'un niveau grossier (surmonté d'un niveau fin millimétrique) des dépôts du maar de la Gantière (Clermont-Ferrand, 63). On note la présence de deux types de fragments de lave juvénile (fragments compacts de verre noir trempé et fragments vésiculés de verre beige clair), de nombreux xénoclastes (jusqu'à 50 % dans certains horizons) et des minéraux libres en éclats.

- des pyroclastes de basalte juvénile constitués d'un verre beige clair, vésiculé et contenant des microlites de plagioclases, des petits cristaux d'olivine et de clinopyroxène ainsi que de nombreux granules de magnétite,

- des minéraux libres (olivines et clinopyroxènes bruns) souvent fracturés ou en éclats.

Dans le basalte juvénile, les olivines sont plus nombreuses que les clinopyroxènes bruns. Celles-ci se présentent sous la forme de cristaux automorphes de petite taille présentant parfois des défauts de cristallisation en leur cœur. Ces olivines rappellent celles observées dans le tuff-ring du maar de Saint-Hippolyte et dans les formations alluviales hautes (Fw2 Sardon, Fw vol. Morge et Fv vol. Chambaron) de secteur de la Morge (Vernet, 1992, 1998). Les pyroxènes bruns sont automorphes et se présentent parfois mâclés en étoiles ou groupés. Ces clinopyroxènes bruns mâclés en étoiles sont caractéristiques des quarante-trois téphras reconnus dans la partie inférieure (phase I) de la carotte GÉOCLER I et sont considérés comme des marqueurs du volcanisme de la bordure occidentale de la Limagne (Vernet, 1992). Dans le secteur de la Morge, une retombée - la retombée inférieure de Rouzat -, d'âge interglaciaire, est également caractérisée par ce même clinopyroxène.

2.2.1.5 - Datation par thermoluminescence (TL) et par résonance paramagnétique électronique (RPE) :

La méthode de datation par thermoluminescence et celle de datation par résonance paramagnétique électronique permettent d'évaluer le temps qui s'est écoulé depuis qu'un grain de quartz a été chauffé pour la dernière

fois. Dans le cas d'un quartz prélevé en milieu volcanique on peut ainsi dater une éruption.

L'expérience de datation des dépôts de la rue de La Gantière a été faite par l'équipe de datation par TL du Laboratoire de Physique Corpusculaire de l'université Blaise Pascal à Clermont-Ferrand en collaboration avec l'Institut de Paléontologie Humaine (Paris) pour les mesures de RPE.

Tout calcul effectué, l'âge donné par la TL est de 86 ± 8 ka, celui donné par la RPE est sensiblement le même ou légèrement plus vieux. Donc, les deux techniques - dont il faut rappeler qu'elles sont indépendantes pour ce qui concerne le phénomène physique mesuré - s'accordent pour indiquer que les quartz extraits des dépôts de la rue de La Gantière ont été chauffés pour la dernière fois à une époque qui se situe vers 80-90 000 ans avant nous.

2.2.1.6 - Conclusion :

La découverte et la datation d'un nouveau maar dans la cuvette clermontoise confirment l'importance d'une phase éruptive basaltique à dynamisme phréatomagmatique le long de la bordure occidentale de la Limagne entre 100 et 80 ka (Vernet, 1992 ; Raynal *et al.*, 1994). Cette phase éruptive était bien marquée par les téphras présents à la base de la carotte GÉOCLER I réalisée dans le remplissage lacustre du maar de Clermont-Ferrand, par les cortèges minéralogiques des hautes terrasses du secteur de la Morge et par la retombée inférieure de Rouzat conservée dans des travertins hydrothermaux

2.2.2 - Observations du tuff-ring du maar d'Anchald (Petite Chaîne des Puys) :

Lors de la réalisation des sondages d'archéologie préventive sur le tracé de l'autoroute A89 en 2002 (Rapport final d'opération INRAP, D. Colonge [sous la dir.], 2005) des tranchées ont permis d'observer des dépôts pyroclastiques en bordure nord de la dépression du maar d'Anchald (Figure 14).

Le maar d'Anchald appartient à un ensemble de cinq édifices volcaniques (Puy de Banson, Puy de La Vialle, Puy de Neuffont, maar d'Anchald et Puy de Pranal) grossièrement alignés du Sud au Nord et formant « la Petite Chaîne des Puys ». La morphologie des cônes et le degré d'inversion des coulées suggèrent un âge plus ancien que celui de la plupart des appareils de la Chaîne des Puys (Boivin *et al.*, 2009). Le maar d'Anchald était jusqu'alors connu que par une vaste dépression circulaire ($\varnothing = 1$ km), située à l'Est du village de Bromont-lamothe et son anneau pyroclastique n'était pas connu.

Les tranchées réalisées ont montré la présence de dépôts fortement lités sur environ 25 m de largeur à partir de la rupture de pente marquant le bord nord de la dépression. L'épaisseur maximale de ces dépôts ne dépasse pas 1,50 m. Leur présence n'est pas détectable dans le paysage (aucun relief). Un paléosol argileux organique de couleur noire est présent sous les dépôts pyroclastiques (contact souligné par un liseré d'oxydation).

Le macrofaciès des dépôts (Figure 15) est caractérisé par des dépôts fins à litages réguliers constitués de matériaux finement pulvérisés et issus du substratum granito-gneissique (cf. chapitre 6 de Volcanologie de la Chaîne des Puys ; Boivin *et al.*, 2009). On note

une quasi-absence de pyroclastes de magma juvénile. Des blocs décimétriques de gneiss sont présents dans la partie sommitale des dépôts où ils déforment nettement ces derniers ; il s'agit de blocs fichés (ou projectiles balistiques) courant dans les dépôts phréatomagmatiques proximaux. Malgré la proximité du cratère, on note l'absence de lit grossier non classé pouvant traduire des écoulements denses. De même, les figures de dunes et anti-dunes sont absentes. Le dépôt apparaît comme un ensemble de lits plans (légèrement ondulés) finement laminés. L'altération (argilisation) de ces dépôts confirme un âge relativement ancien pour cet appareil éruptif.



Figure 14 : La dépression du maar d'Anchald (pointillés rouges) et la zone d'observation des produits pyroclastiques (étoile verte).

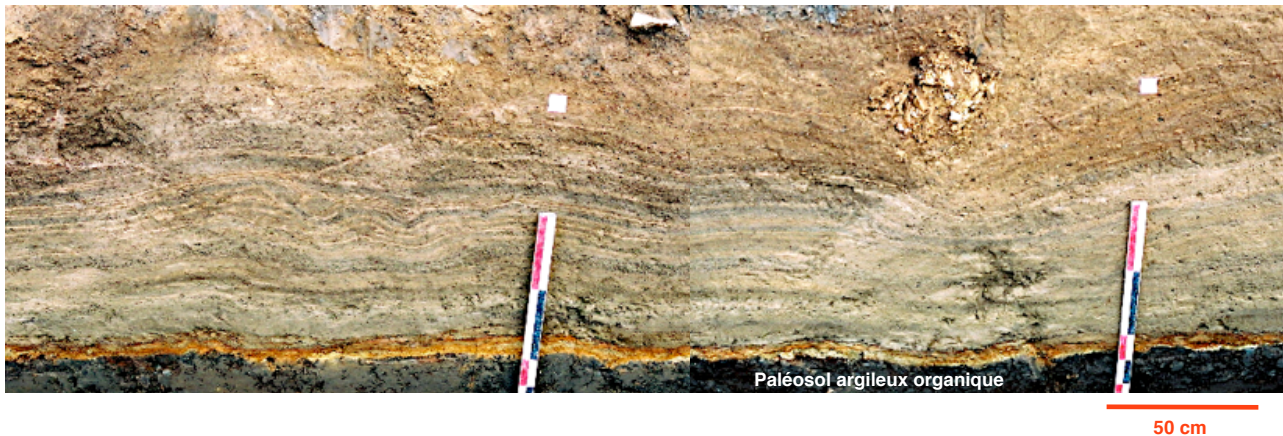


Figure 15 : Macrofaciès des dépôts du maar d'Anchald (Petite Chaîne des Puys, 63) suivant une coupe perpendiculaire au bord du cratère : dépôts fins (épaisseur = 1,50 m) à litages réguliers constitués d'une bouillie de matériaux issus du substratum granito-gneissique pauvre en pyroclastes de magma juvénile. Un bloc fiché de gneiss déforme les dépôts. Un paléosol argileux organique de couleur noire est présent sous les dépôts pyroclastiques (contact souligné par un liseré d'oxydation).

2.2.3 - Références :

Boivin P., Besson J.-C., Briot D., Camus G., Goër de Herve A. de, Gourgaud A., Labazuy P., Langlois E., Larouzière F.-D. de, Livet M., Mergoïl J., Miallier D., Morel J.-M., Vernet, Vincent P. M. (2009) – *Volcanologie de la Chaîne des Puys Massif Central Français, Volcanology of the Chaîne des Puys*, 5^{ème} édition. Éditée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, Château de Montlosier, 63970 Aydat, (avec la participation de Jannot S. et Raynal J.-P.), 196 p.

Colonge D., Pasty J.-F., Seris D., Bastard V., Dunkler J., Vernet G. (2005) - *A 89, section 8, Le Sancy - Combronde*, INRAP, Rapport de diagnostic-évaluation, 2 tomes, 203 p.

Miallier D., Sanzelle S., Falguères C., Fain J., Montret M., Pilleyre Th., Soumana S., Laurent M., Camus G., De Goër de Herve A. (1994) - Intercomparaisons of red TL and ESR signals from heated quartz grains. *Radiat. Meas.*, 23/1, 143-153.

Pilleyre Th., Montret M., Fain J., Miallier D., Sanzelle S. (1992) - Attempts at dating ancien volcanoes using the red TL of quartz. *Quat. Sc. Rev.*, 11, 13-17.

Raynal J.-P., Vernet G., Fain J., Miallier D., Montret M., Pilleyre Th., Sanzelle S., Daugas J.-P. (1994) - Téphrostratigraphie et préhistoire des 160 derniers millénaires en Limagne d'Auvergne (Massif Central, France). *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, 91, 2, 149-157.

Soumana S. (1993) - *Développement des techniques de dosimétrie dans le cadre de la datation par thermoluminescence*. Thèse Univ. Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 180 p.

Vernet G., Sanzelle S., Miallier D., Falguères C., Pilleyre T., Fain J., Soumana S., Montret M., Camus G. (1995) - Découverte et datation d'un maar basaltique dans la cuvette de Clermont-Ferrand (Massif Central français) : le maar de la Gantière. *Revue d'Histoire Naturelle d'Auvergne, Géologie en Auvergne Vulcania*, n° 537, 1995, 84-88

2.3 – Éruptions phréatomagmatiques violentes :

Le volcanisme de la Chaîne des Puys est caractérisé par des éruptions qui comportent souvent des phases marquées par un dynamisme éruptif de type phréatomagmatique. L'appareil éruptif peut avoir un dynamisme uniquement phréatomagmatique et l'on a alors la formation d'un cratère d'explosion (maar), ou bien une phase phréatomagmatique précède une activité strombolienne ce qui se traduit par un dépôt particulier dit « de débouillage » à la base des produits pyroclastiques. Au niveau du volcan lui-même le cône strombolien oblitère complètement le cratère d'explosion primaire qui devient invisible et ne réapparaît seulement que lors de phases d'exploitation en carrière de l'édifice.

Ce dynamisme phréatomagmatique se rencontre aussi bien avec des magmas basiques (basaltes), intermédiaire (trachybasalte) et aussi acide (trachytes) (Boivin *et al.*, 2008 ; Gourgaud [sous la dir.], 2009).

Pour ce qui nous concerne - c'est-à-dire les pyroclastites - les mécanismes éruptifs liés à ces éruptions (ou à ses phases éruptives) ont produit non seulement des retombées (fall) provenant de la dispersion du panache mais surtout des déferlantes (surge) lors de l'écroulement de la colonne éruptive. Si les produits de ces écoulements pyroclastiques turbulents et destructeurs sont bien connus sur l'édifice et son environnement immédiat, l'identification de ceux-ci dans des séquences sédimentaires distales, à plusieurs kilomètres du point éruptif, est beaucoup plus rare. Les études menées dans le bassin de Clermont-Ferrand apportent des arguments montrant que ce secteur a été touché par des souffles éruptifs violents provenant de volcans situés à plusieurs kilomètres. Lorsque l'on connaît le pouvoir destructeur de tels phénomènes, il est particulièrement intéressant en termes de modélisation des risques de montrer que des zones distales subissent non seulement des retombées (fall) mais également des déferlantes (surge).

2.3.1 – Les dépôts de la rue de Médicis à Clermont-Ferrand : témoins de souffles éruptifs violents :

Une opération d'archéologie préventive réalisée en 1995 (Vernet, rapport AFAN, 1995) a permis d'observer, dans plusieurs sondages et au-dessus de la coulée, des séquences sédimentaires contenant des téphras. Hormis le rapport interne AFAN de 1995 et une brève citation dans une publication (Raynal *et al.*, 1998), les téphras de la rue de Médicis n'ont pas été publiés en tant que telle.

La mise en place de la coulée de trachybasalte, provenant du complexe volcanique de Gravenoire-Saint-Jacques-Cézeaux, se situe autour de 60 000 ans (De Göer *et al.*, 1993). Grâce à des observations antérieures, nous savons qu'il existe au toit des coulées issues de ce complexe volcanique des poches de sédiments limoneux jaunâtres qui ont livré en plusieurs points des documents paléontologiques. En 1880, Pommerol découvre dans « les fentes de la coulée de lave » remplies d'argiles sableuses des ossements de *Bos primigenius*, de cheval et de *marmotte (Arctomys Lecoqi)*. Lors de l'aménagement des égouts le long du boulevard Pochet Lagaye une puissante poche de limons a fourni des terriers des dents, des ossements et plusieurs crânes entiers de marmottes et de campagnols des neiges (*Microtus Nivalis*) (De Göer et Poidevin, inédit). Lors de la construction

du boulevard Bingen le long de la rue de Médecis de nouvelles poches de limons conservées dans des anfractuosités de la coulée ont livré une faune würmienne (cheval, renne et *Bos primigenius*) (Vernet, inédit).

2.3.1.1 : La stratigraphie du sondage S2 :

Les sondages réalisés montrent l'existence de poches de limon sableux. Comme on pouvait le supposer ces accumulations sont réparties de façon très locale dans des dépressions de la paléo-surface de la coulée. L'irrégularité de cette paléo-surface est accentuée par la présence d'hornitos (amas de scories et de petites bombes soudées, témoins de phénomènes faiblement explosifs dus à une reprise locale du dégazage au sein de la coulée) comme le montrent les accumulations de blocs scoriacés rougeâtres dans quatre des sondages. Deux poches décamétriques de limons ont été cartographiées et nous présentons ici la stratigraphie de l'une d'elles relevée dans le sondage S2.

De haut en bas, nous avons observé (Figure 16) :

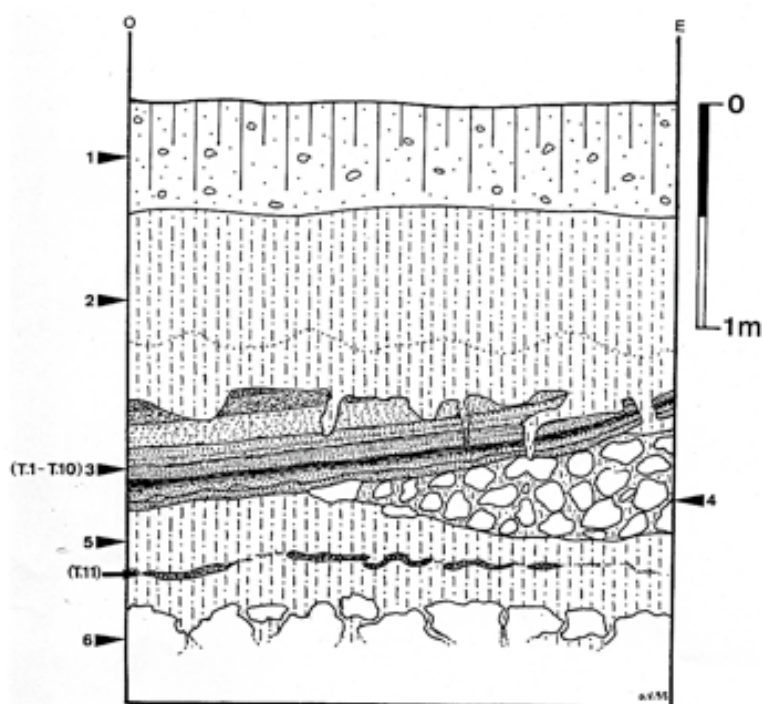


Figure 16 : Séquence téphro-sédimentaire de la rue du Médecis (Clermont-Ferrand, 63).

- ensemble 1 (épaisseur = 0,50 m) : colluvions brunes sablo-argileuses à fragments de basalte portant la pédogenèse actuelle,

- ensemble 2 (épaisseur = 0,90 m) : limons sableux jaunâtres. Cet ensemble peut être subdivisé en deux niveaux (2a et 2b) ; en effet, 2b (partie inférieure de 2) présente une structure en « lentilles de glace » caractéristique de l'action du gel (Van Vliet-Lanoe, 1976, 1987 ; Bertrand, 1989). Sa limite inférieure est ravinante (dépressions et fissures pénétrant dans l'ensemble 3),

- ensemble 3 (épaisseur maximale = 0,50 m) : il s'agit d'une accumulation de plusieurs niveaux téphriques à l'aspect fortement lités. Dix niveaux différents de T1 à T10) sont distingués :

des niveaux grisâtres lités à xénoclastes du socle (T1, T2, T3, T5, T6 et T8), deux niveaux de scories grisâtres à xénoclastes présentant un granoclasement inverse (T10a et T10b) et trois niveaux (T4, T7 et T9) de granulométrie fine et à litage planaire fin,

- ensemble 4 (épaisseur maximale = 0,45 m) : blocs de trachybasalte plus ou moins émoussés emballés dans une matrice limoneuse jaunâtre. Il s'agit d'un « convoi à blocs » mis en place sous climat froid (Van Vliet-Lanoe et Valadas, 1983),

- ensemble 5 (épaisseur maximale = 0,60 m) : limons sableux, jaunâtres, identiques à l'ensemble 2. Au sein de cette unité stratigraphique, un mince niveau (épaisseur maximale = 1 cm) discontinu de cendres volcaniques noires non litées et sans granoclassement (T11) est présent. Ce téphra est interprété comme le témoin d'une retombée (fall) distale d'un panache strombolien,
- ensemble 6 (épaisseur observée = 0,40 m) : blocs scoriacés noirs de trachybasalte représentant le sommet de la coulée de Saint-Jacques.

2.3.1.2 – Datation des téphras :

Les différents niveaux de téphras observés sont postérieurs à la coulée de Saint-Jacques, datée de 60 000 ans (De Göer *et al.*, 1993). Il faut remarquer ici qu'il est fort peu probable que ces téphras soient liés à l'activité volcanique responsable de la mise en place de cette coulée ; en effet, ils sont nettement postérieurs et interstratifiés dans des dépôts limoneux bien au-dessus du toit de la coulée.

Les différentes données paléontologiques (cf. supra) placent nettement le dépôt des limons dans la dernière période glaciaire (Würm). Le climat froid würmien a laissé son empreinte sur ces sédiments : structuration en « lentilles de glace » des limons et faciès de « convoi à blocs ».

En 1992, des poches de limons jaunâtres ont été observées, lors de travaux, sur le plateau des Cézeaux (commune d'Aubières). Des téphras fortement lités, identiques à ceux de la rue de Médicis, étaient présents à la base des limons et reposaient sur la coulée de Saint-Jacques. Une datation directe de ces téphras par TL a donné un âge d'environ 45 000 ans (Pilleyre, 1992) qui peut donc être retenu pour l'ensemble 3 de la rue de Médicis à Clermont-Ferrand.

2.3.1.3 – Caractérisation des téphras de l'ensemble 3 :

Plusieurs caractéristiques de l'ensemble 3 permettent d'emblée d'orienter notre réflexion vers un dynamisme de type phréatomagmatique :

- l'aspect général, finement lité, avec des lits planaires bien marqués et réguliers est un indice fort pour rapprocher ce dépôt de ceux constituant les tuff-ring des maars. En effet, cette hyper-stratification est due à la forte rythmicité des explosions dans ce dynamisme phréatomagmatique,
- on note une forte proportion de xénoclastes. Dans des dépôts d'origine phréatomagmatique, ces débris arrachés au substrat constituent jusqu'à 70 % des matériaux émis,
- les clastes de magma juvénile ont un aspect noir vitreux (tachylite), compact, peu vésiculé et anguleux. La présence de ces éléments « trempés » et fragmentés est due au choc thermique au contact de l'eau.

Ces observations de terrain permettent d'attribuer les dépôts de l'ensemble 3 à un dynamisme phréatomagmatique.

Dans le cas de dépôt d'origine phréatomagmatique, il est courant que l'on ait à la fois des niveaux de retombées (fall) alternant avec des niveaux de déferlantes (surge). Certaines lamines (T10a, T10b, T1, T2 et T3) sont peu ou pas litées et peuvent être considérées comme des retombées (fall), en revanche, les lamines T9, T4 et T7 sont finement laminées et constituées de matériaux fins. Elles évoquent les lits plans de base énergie des dépôts distaux de déferlantes (surge).

Une étude au microscope optique d'une lame mince de grand format couvrant le sommet de T10b, T9 et la base de T8 permet d'apporter des éléments complémentaires quant à l'attribution de la lamine T9 à un dépôt de déferlante (surge) (Figure 17).

La figure n°18 montre le caractère finement laminé de T9. Le microfaciès de T9 est le suivant : il s'agit d'une superposition de lits (épaisseur moyenne = 500 μm). Chacun de ces lits est constitué de trois parties :

- à la base une passée claire (P1) à clastes sans matrice intergranulaire (faciès « framework supported » franc ; Walker, James, 1992). Les clastes sont dominés par des xénoclastes (fragments de socle, feldspaths en cristaux libres). On observe des clastes de magma juvénile d'aspect noir vitreux (tachylite) peu vésiculés et anguleux (Figure 20), mais aussi des pyroclastes vésiculés à mésostase de verre brun translucide (sidéromelane) possédant une pellicule de verre plus sombre qui peut être interprété comme une « croûte » de verre trempé (Figure 19). Un de ces pyroclaste (n° 3 de la figure 19) adopte une morphologie assez rare de sphérule ($\varnothing = 320 \mu\text{m}$). Enfin, des minéraux libres en éclats essentiellement des clinopyroxènes complètent le cortège des clastes de P1,

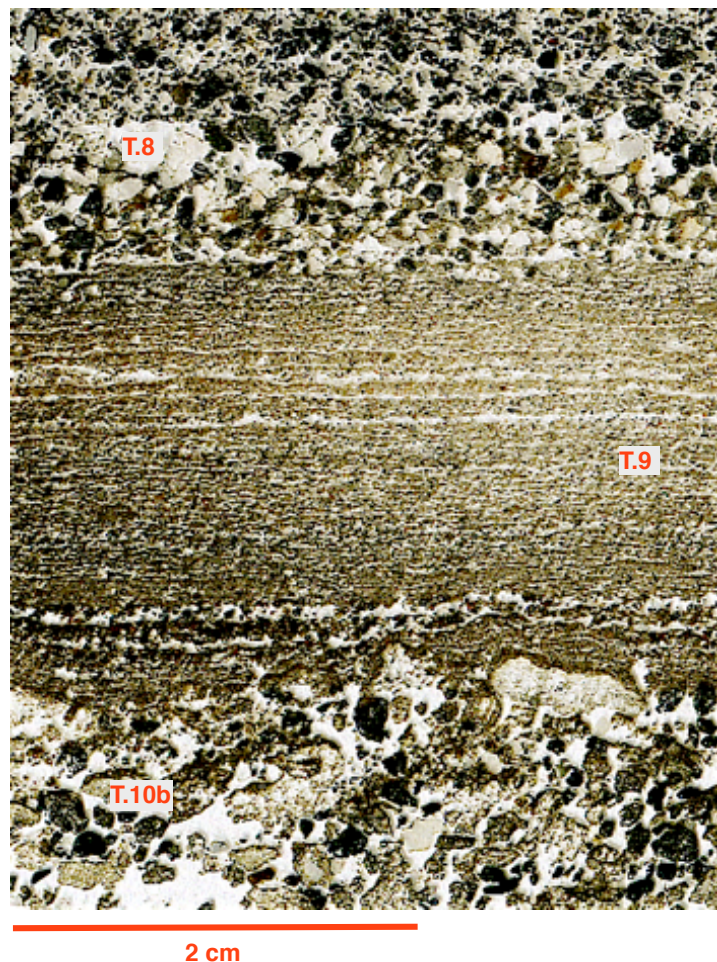
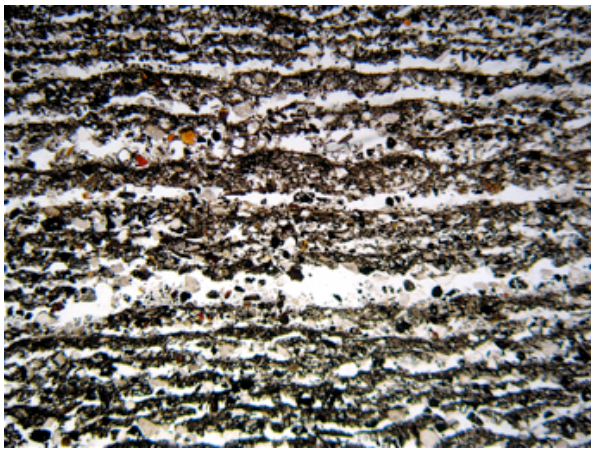
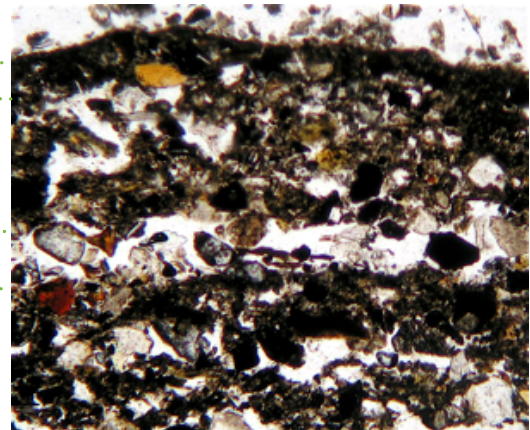
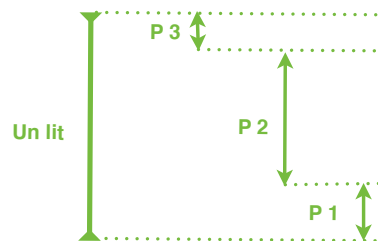


Figure 17 : Lame mince de T9 de l'ensemble 3 (rue de Médecis, Clermont-ferrand). Ces dépôts sont finement laminés (épaisseur moyenne des lamines = 0,5 mm).



5 mm

Figure 18 : Détail de T9 (ensemble 3, rue de Médicis, CIt-Fd) montrant le microfaciès du dépôt : superposition de lits constitués de trois parties, à la base une passée claire à clastes sans matrice (P 1), une partie centrale beige (P 2) constituée d'une matrice fine vacuolaire emballant de nombreux clastes et une partie sommitale sombre (P 3) constituée de matrice fine compacte emballant de rares clastes de taille réduite. Microfaciès MLD.



500 µm

- une partie centrale beige (P2) constituée d'une matrice (particules finement pulvérisées) vacuolaire, emballant des clastes de même nature que ceux de P1,
- une partie sommitale sombre (P3) constituée d'une matrice fine compacte emballant de rares clastes de taille réduite.

Du point de vue de la granulométrie des constituants, cette division en trois passées (P1, P2 et P3) se traduit par un granoclassement normal au sein du lit : les particules les plus grossières (clastes uniquement) dans P1 puis particules grossières + particules fines pulvérisées (matrice) dans P2 et enfin, particules fines pulvérisées seules dans P3. Il y a donc un « lit maigre » (LM = P1) à la base puis un « lit gras » (LG = P2 + P3) au sommet. Ce tri vertical est un phénomène décrit pour les écoulements turbulents (déferlantes) où les particules en suspension sont déposées sur une même verticale d'autant plus tard qu'elles seront plus fines. Si ces granoclassements normaux étaient décrits à l'échelle de l'affleurement, en revanche, la mise en évidence de lits granoclassés à l'échelle microscopique (l'épaisseur moyenne d'un lit est de 500 µm), grâce aux lames minces de grand format, est une donnée nouvelle. Ce microfaciès peut être maintenant utilisé comme un critère de reconnaissance des dépôts de déferlantes (surge). Nous avons reconnu ce même microfaciès dans les dépôts de déferlantes au cœur du bassin de Venosa (éruption du Monte Vulture) et aussi dans les dépôts de la phase phréatomagmatique de l'éruption

du Vésuve dite « des ponces d'Avellino » à Gricignano. Il s'agit de notre microfaciès ***Micro-Litage à Doublé de lamines (une grasse LG/une maigre LM) (MLD)***.

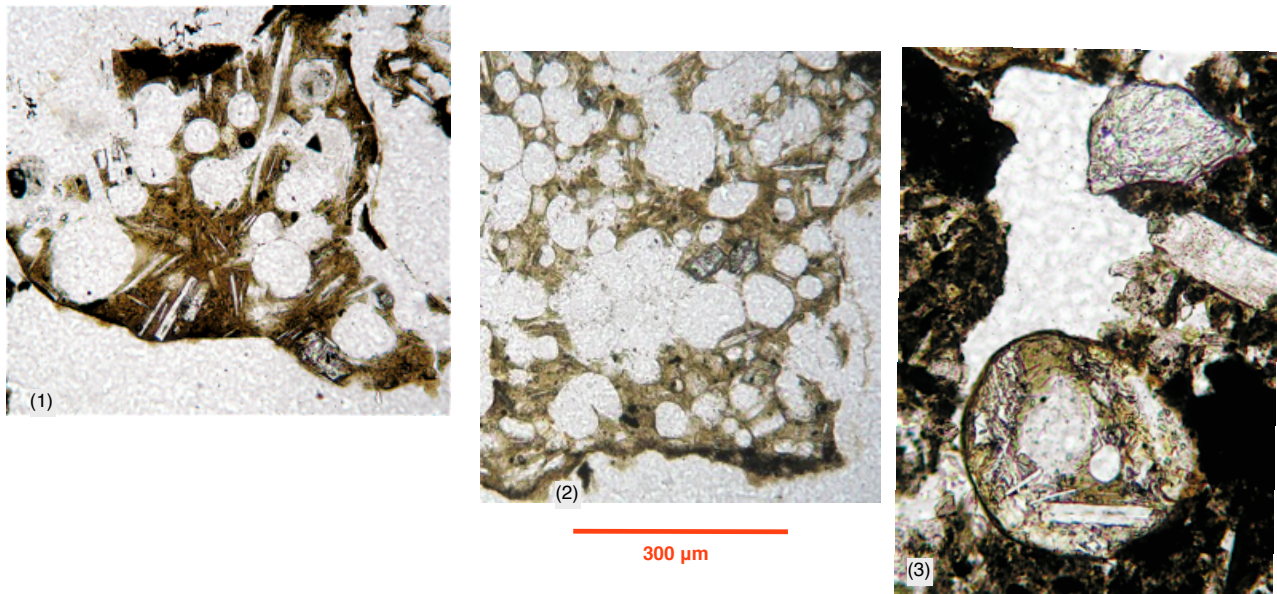


Figure 19 : Pyroclastes vésiculés constitués de verre brun translucide contenant des microlites de plagioclase et d'olivine provenant de T9/T10 (ensemble 3, rue de Médicis, Clermont-Ferrand). Une pellicule de verre plus sombre (trempé) est à noter sur les trois exemples. Le pyroclaste (3) se présente sous la forme d'une sphérule (ou bille) ($\varnothing = 320 \mu\text{m}$) vitreuse à croûte trempée lisse.

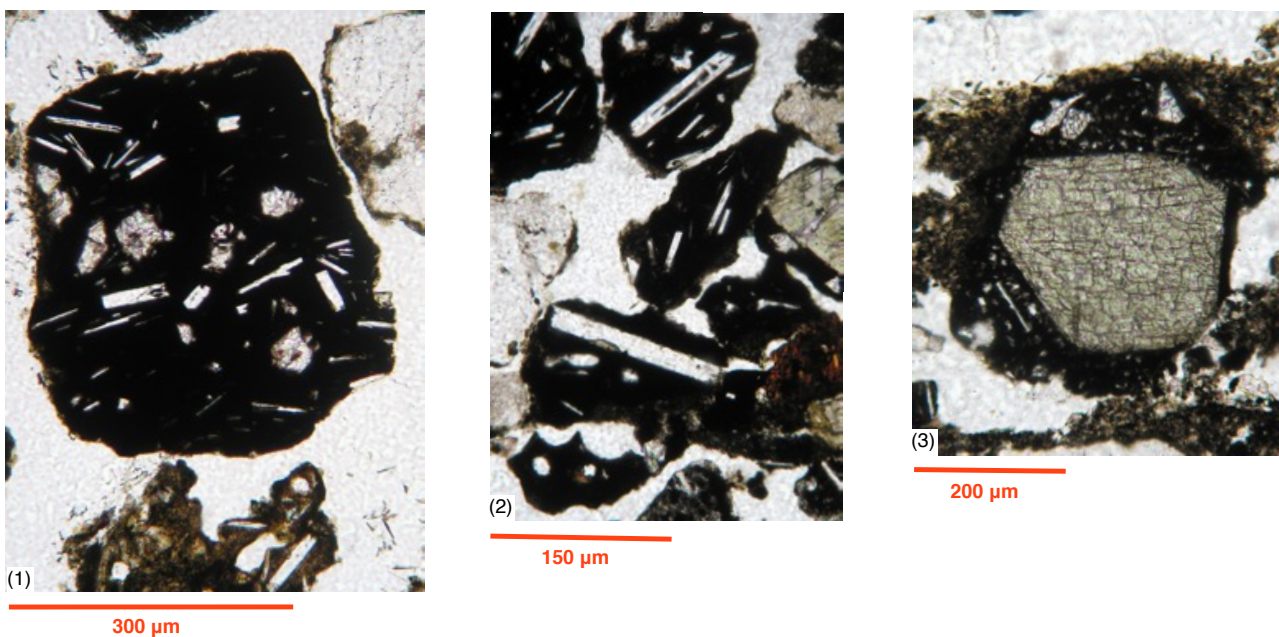


Figure 20 : Pyroclastes de verre opaque noir à vésiculation quasi nulle et contenant des microlites de plagioclase et d'olivine ainsi que des phénocristaux de clinopyroxène vert (T9/T10, ensemble 3, rue de Médicis, Clermont-Ferrand).

2.3.2 – Un niveau de «blast» à la base de CF3 :

Depuis sa première observation sur le locus de la rue Sous-les-Vignes à Clermont-Ferrand, CF3 a été interprété comme des dépôts provenant d'une éruption débutant par une phase phréatomagmatique très affirmée de type blast (suivant les critères de G. Kieffer, 1984), puis une phase mixte magmatique et phréatomagmatique (coexistence de scories peu vésiculées noires et de scories très vésiculées) et enfin une phase principale purement magmatique (retombée de panache d'éruption strombolienne) (Vernet, 1992). Si cet exemple d'évolution du dynamisme au cours d'une éruption a été évoqué à plusieurs reprises dans des publications plus générales (par exemple : Raynal *et al.*, 1994 ; Vernet *et al.*, 1998 ; Vernet et Raynal, 2000) portant sur la téphrostratigraphie de la Limagne, en revanche, aucune synthèse sur CF3 n'a été produite. Dans le cadre du mémoire de HDR, Il nous paraît donc judicieux d'exposer les dernières données acquises sur CF3 ainsi qu'une réflexion sur ce recouvrement téphrique omniprésent dans la cuvette clermontoise.

2.3.2.1 - Microfaciès des différents niveaux de CF3 :

Avant de décrire les faciès en lame mince, une vue rapprochée de la base de CF3, prise sur le site de Cébazat-Parc-logistique, permet une distinction macroscopique des trois niveaux anciennement décrits. De bas en haut (Figure 21) :

- CF3 (1) = lamine limoneuse beige rougeâtre,
- CF3 (2) = lamine riche en xénoclastes du socle et scories noires trempées,
- CF3 (3) = niveau principal constitué de grosses scories vésiculées noires bleutées.

Pour le niveau principal CF3 (3) - qui peut dépasser les vingt-cinq centimes d'épaisseur - des scories noires bleutées très vésiculées (taille des trois plus grosses scories = 3 cm) (Figure 22) forment la totalité de ce niveau. Il n'y a pas de xénoclastes, ni de matrice fine. En lame mince, on retrouve ces gros pyroclastes très vésiculés (scories) de verre volcanique marron clair contenant des microlites de plagioclases, des grains de magnétite et de rares phénocristaux de clinopyroxènes et d'hornblendes brunes. De très rares scories, de taille réduite (0,5 cm), non vésiculées, de verre volcanique noir sont à signaler. La matrice est totalement absente et le faciès est « framework supported » franc (Walker, James, 1992). Il faut noter que, sur certains sites, les vides intersticiels sont occupés par des illuviations argiliques microlitées.

Pour le niveau intermédiaire CF3 (2), les pyroclastes les plus gros sont bien vésiculés (scories) et constitués de verre marron clair à rares phénocristaux (hornblendes brunes). Des pyroclastes anguleux, généralement de taille plus réduite et constitués de verre volcanique noir peu vésiculé, peuvent représenter jusqu'à 40 % des clastes. Les xénoclastes du socle sont présents mais restent rares (env. 5 %). Le faciès est « framework supported » franc (Walker, James, 1992).

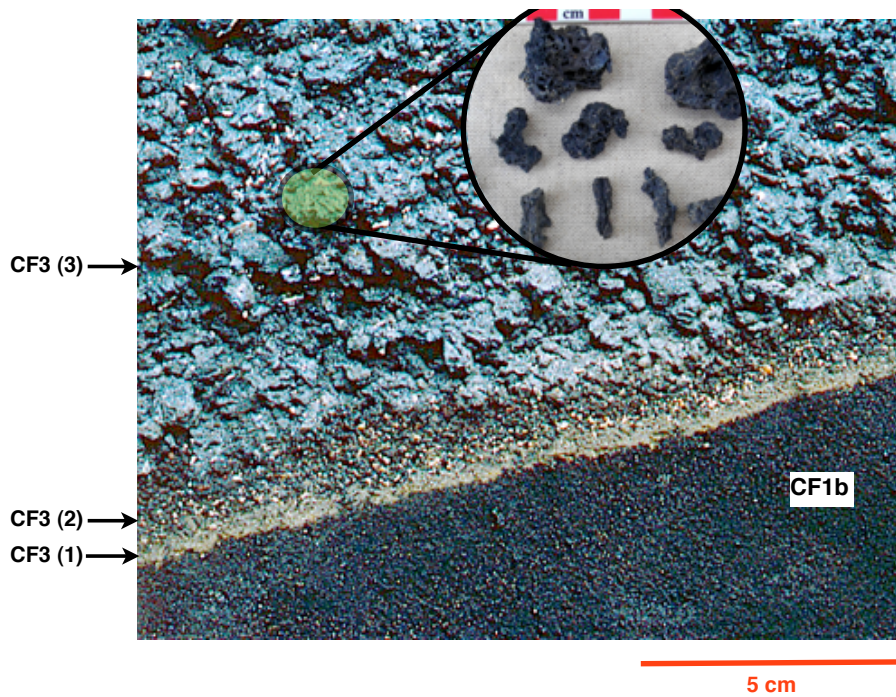


Figure 21 : Base de CF3 (site de Cébazat-Parc-logistique) reposant sur CF1b. On distingue une lamine limoneuse beige rougeâtre (CF3, 1), puis une lamine riche en xénoclastes du socle et scories noires trempées (CF3, 2) et enfin le niveau principal (CF3, 3) constitué de grosses scories vésiculées noires bleutées (taille des trois plus grosses = 3 cm).



Figure 22 : Morphologie des pyroclastes (scories) du niveau principal CF3 (3) (Nohant-lotissement, 63).

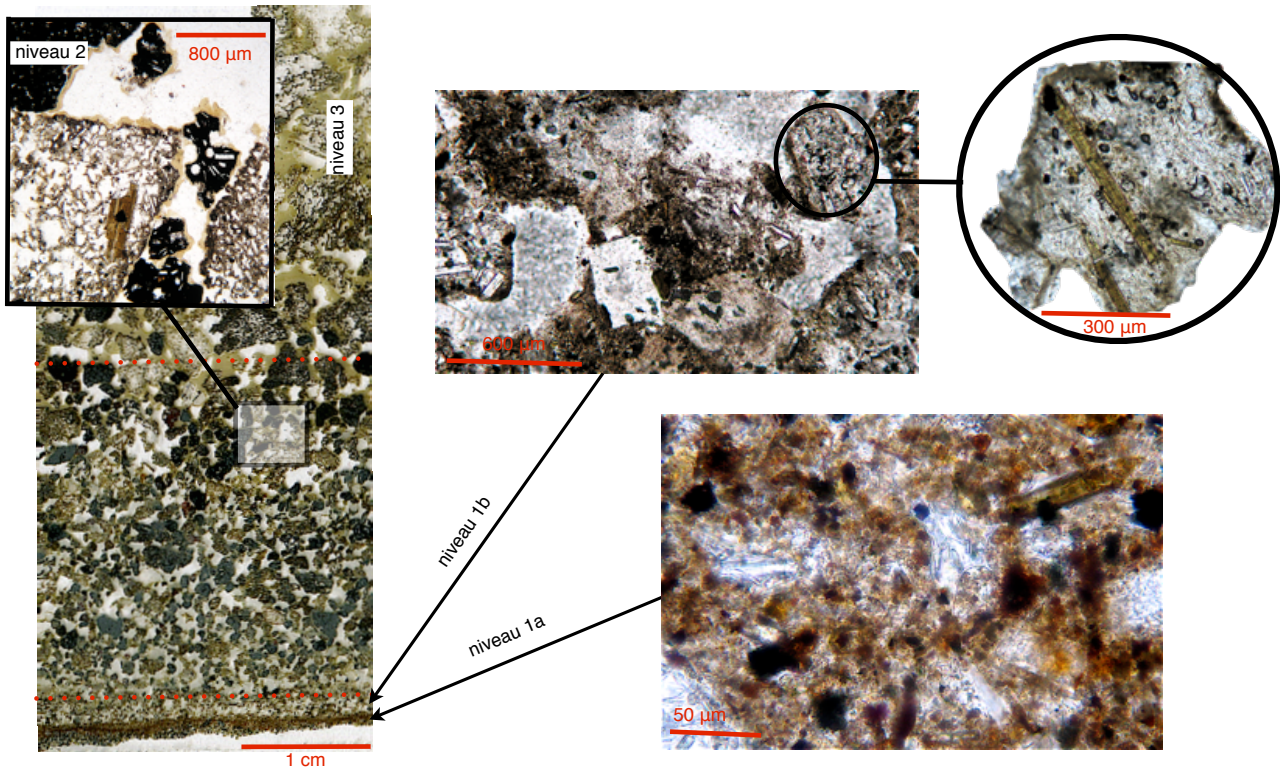


Figure 23 : Base du téphra CF3 montrant l'évolution de l'éruption depuis une phase explosive initiale (niveaux 1a et 1b), puis une phase phréatomagmatique et magmatique (niveau 2) et enfin une phase magmatique sub-plinienne.

L'observation attentive en lame mince (Figure 23) de la lamine basale CF3 (1) apporte de nouvelles données qui confirment le dynamisme explosif et permet de subdiviser cette lamine en deux sous niveaux :

- niveau 1a (épaisseur = 1mm) : matrice compacte rougeâtre (particules fines pulvérisées) emballant des minéraux volcaniques fragmentés (clinopyroxènes et plagioclases), des xénoclastes (quartz), des fragments de verre volcaniques compacts noirs (trempés ?) et des échardes de verre ponceuses (50 µm).
- niveau 1b (épaisseur = 3 mm) : matrice vacuolaire beige (particules fines pulvérisées) emballant toujours des minéraux volcaniques fragmentés, des xénoclastes et des pyroclastes compacts noirs mais aussi des pyroclastes (700 µm en moyenne) de verre quasi incolore, très vésiculés à ponceux, contenant des microlites de plagioclases, de nombreux grains de magnétite et des clinopyroxènes en aiguilles.

La matrice constituée de particules fines pulvérisées et l'extrême fragmentation des minéraux volcaniques, des xénoclastes et des pyroclastes de verre compact noir confirment le caractère explosif violent de type « blast » à l'origine de la mise en place de CF3 (1a et 1b), déjà évoqué lors des premières études (Vernet, 1992). Des pyroclastes de verre volcanique translucide bien vésiculés sont maintenant mise en évidence. Dans CF3 (1b), il s'agit de microponces alors que dans CF3 (1a) la pulvérisation plus importante (traduisant

l'extrême violence de l'explosion initiale) aboutit à des éclats ponceux (pumice shards ; Fischer, Schminske, 1984).

Du point de vue de la granulométrie globale de CF3, deux nouvelles analyses montrent des courbes cumulatives unimodales relativement proches (Figure 24).

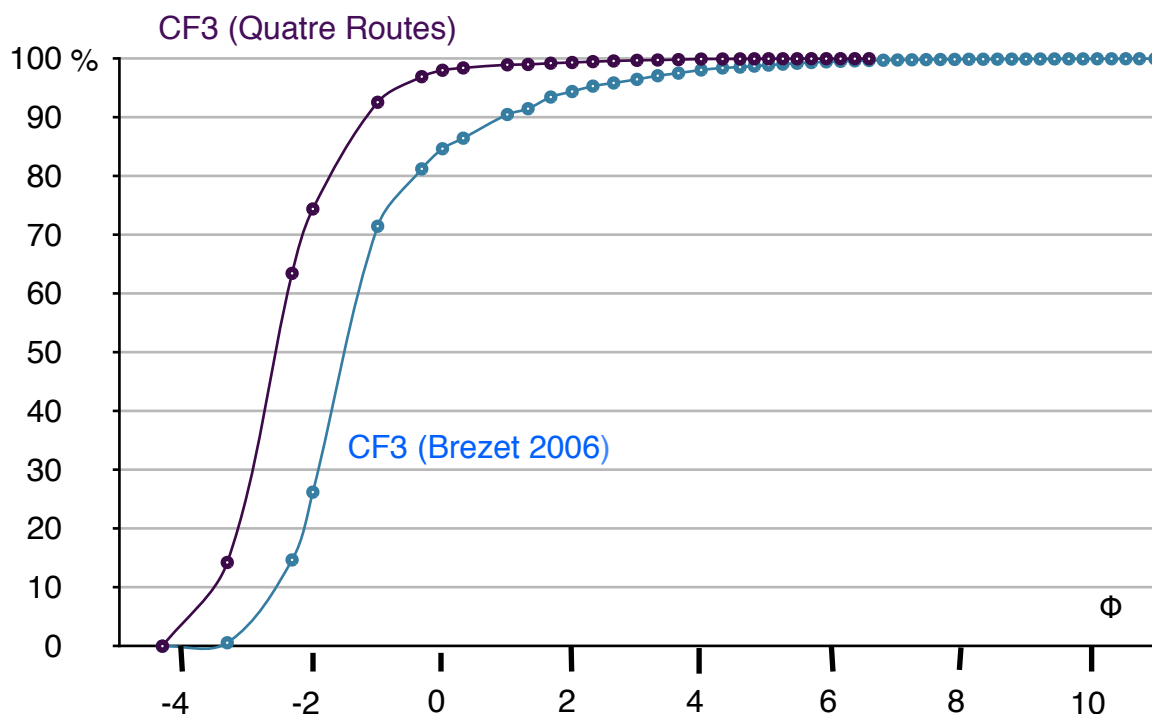


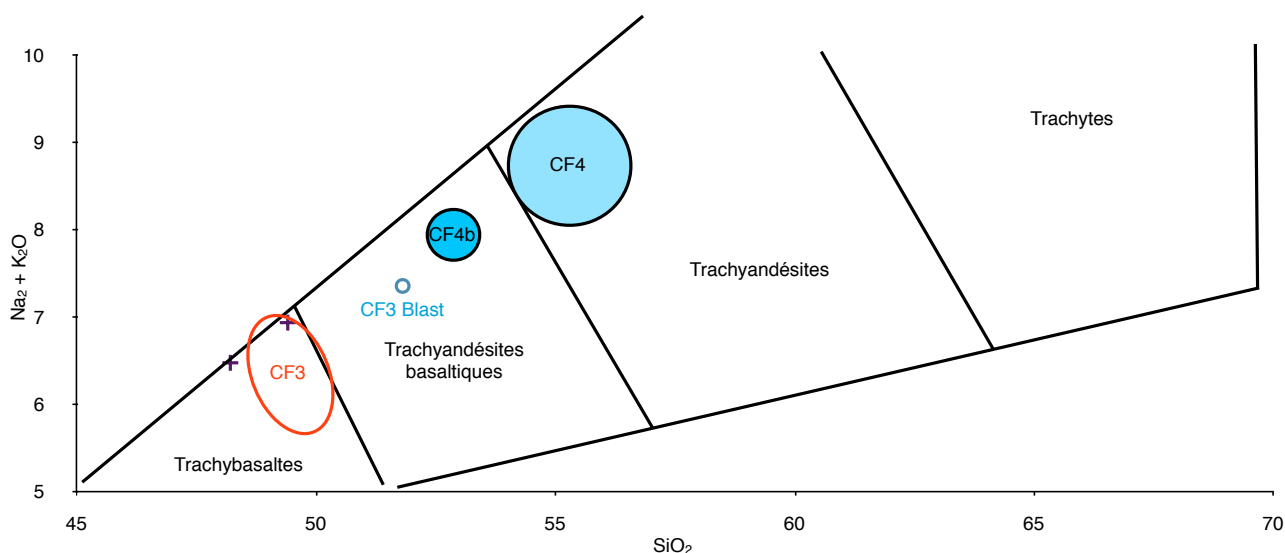
Figure 24 : Courbes cumulatives de CF3 (sur les coupes des Quatres Routes et du Brézet 2006 sur la commune de Clermont-Ferrand (63)).

2.3.2.2 - Nouvelles données géochimiques pour CF3 (Figure 25) :

Deux nouvelles analyses (rue Theuriet et Nohanent-lotissement), réalisées sur des scories triées provenant du niveau principal (3) de CF3, confirment que le magma juvénile de la phase magmatique de CF3 est un trachybasalte (SiO_2 corrigé compris entre 48 et 50 %).

Une analyse (Nohanent-lotissement), réalisée sur des éléments triés provenant de la base de CF3 (CF3 1a et 1b), donne un résultat sensiblement différent des analyses faites sur le niveau principal CF3 (3). Le magma de la phase phréatomagmatique (blast) initiale de CF3 est plus riche en silice (SiO_2 corrigé = 51,6 %) et se situe dans le domaine des trachyandésites basaltiques.

Figure 25 : Géochimie de CF3. En rouge = domaine de variation de CF3, données anciennes ; croix violettes = CF3 sur les sites de la rue Theuriet et de Nohanent-lotissement ; cercle bleu = CF3 lamine de base (Blast) à Nohanent-lotissement.



L'évolution du dynamisme de l'éruption responsable de l'émission de CF3 s'accompagne donc d'une évolution de la composition du magma, d'une phase initiale trachyandésitique basaltique vers une phase terminale trachybasaltique.

2.3.2.3 - Nouvelles données minéralogiques pour CF3 (Figure 26) :

Le cortège minéralogique (minéraux denses des fractions granulométriques comprises entre 250 μm et 80 μm) retenu pour CF3, à l'issue de ma thèse (Vernet, 1992) et qui a été retenu dans la téprostratigraphie proposée, était le suivant : clinopyroxène vert (29,85 %), olivine (29,92 %), hornblende brune (19,82 %) et autres minéraux (20,41 %).

Deux nouvelles analyses (Gerzat-Chantemerle et Les 4 routes ; cf. Figure 26), réalisées sur la fraction granulométrique comprise entre 160 μm et 80 μm , donnent des résultats différents en pourcentages pour les trois espèces minérales principales : clinopyroxène (27,5 % et 36,4 %), olivine (15 % et 1,6 %) et hornblende brune (57,5 % et 62 %).

Ces résultats démontrent que les pourcentages de chacune des espèces minérales sont variables au sein du lobe de dispersion d'un téphra. Les données issues des cortèges de minéraux lourds doivent rester indicatives et souvent on ne pourra retenir qu'une association de minéraux caractéristique ou un minéral vraiment dominant ou encore la présence d'un minéral caractéristique d'un type de magma (par exemple, le sphène pour certains magmas trachytiques de la Chaîne des Puys).

Pour CF3, il faudra retenir que le cortège minéralogique de ce téphra se caractérise pour la présence de deux minéraux dominants (clinopyroxène et hornblende brune) et d'un troisième (olivine) en pourcentage variable (pouvant être fort).

	CPX	Hornb. B.	Olivine	Zircon	Apatite	Sphène	Amph. V.
Gerzat CF1a	60 %	40 %					
Gerzat CF3	27,5 %	57,5 %	15 %				
Gerzat CF4a	54 %	34,5 %	4 %		4 %		3,5 %
Gerzat CF4b	83 %	14 %	3 %				
Gerzat CF5	78 %	7,5 %		10 %	4,5 %		
QRO CF1a	47,3 %	49,4 %	2,2 %		1,1 %		
QRO CF1b	49,5 %	50,5 %					
QRO CF2	77 %	20 %			3 %		
QRO CF3	36,4 %	62 %	1,6 %				
QRO CF4	69,7 %	12,2 %	15,1 %		3 %		
QRO CF6	63 %	34 %	0,7 %	2,3 %			
QRO CF7	70 %	22,5 %	2,5 %	2,5 %	2,5 %		
QRO Téphra Z	17 %	66,5 %	3,5 %	8,5 %	4,5 %	1 %	
Brézet CF1a	60 %	40 %					
Brézet CF1b	53 %	47 %					
Brézet CF4	74 %	10 %	16 %				

Figure 26 : Cortèges minéralogiques (minéraux denses) de seize échantillons provenant de trois séquences téphrosédimentaires (Gerzat - Chantemerle, Les Quatre Routes et Le Brézet 2006). En rose pâle, les cortèges du téphra CF1a ; en rose foncé, ceux du téphra CF1b ; en vert clair, ceux du téphra CF3 ; en beige clair, ceux du téphra CF4 et enfin en jaune ceux de la lamine CF4b présente dans le secteur de Gerzat.

2.3.3 - CF4, une éruption phréatomagmatique :

Les nouvelles observations réalisées sur le téphra CF4 (cf. chapitre 2.5.2) permettent maintenant d'affirmer qu'il résulte une phase éruptive à dynamisme phréatomagmatique franc. Outre la présence de nombreux xénoclastes, le caractère remarquable de ce dépôt est la présence (autour des 20 % des pyroclastes) d'un type particulier de pyroclaste : hyaloclaste anguleux, dense (non vésiculé), à l'aspect trempé, de couleur noire (tachylite) et à cassures planaires et/ou conchoïdales. Ce type de morphologie de pyroclastes est typique des éruptions phréatomagmatiques et a été particulièrement bien décrit par Heiken et Wohletz (1985). En revanche, le faciès de CF4 est nettement celui d'une retombée (fall) qui résulte d'une éruption phréatomagmatique certes violente mais dont les déferlantes (surge) ne semblent pas avoir atteint la cuvette clermontoise.

2.4 - Les téphras liés à l'éruption du puy de La Nugère :

Le puy de la Nugère est lié à deux produits emblématiques de l'Auvergne : La fameuse « Pierre de Volvic » et la non moins célèbre « Eau de Volvic ». Il est également un édifice important de la Chaîne des Puys tant pour les études réalisées sur l'édifice lui-même (son histoire, l'évolution magmatique, sa chronologie) que sur ses produits distaux (téphras).

Le puy de la Nugère appartient à la partie nord de la Chaîne des Puys (Figure 27) où il apparaît comme un ensemble complexe et imposant. En effet, Les premiers auteurs (et en particulier Glangeaud en 1913) soulignent le caractère complexe de ce volcan. Il est également l'un des plus volumineux de la Chaîne des Puys. Bentor (1954) puis Camus (1975) étudient ce volcan et montrent son évolution en plusieurs périodes :

- une période initiale à magma basaltique : cônes stromboliens précurseurs dits « Ancienne Nugère » et cône strombolien principal dit « Grande Nugère »,
- une période trachy-andésitique comprenant une phase initiale explosive qui constitue la « Nouvelle Nugère » et une phase effusive finale « Puy de la Louve ».

Cette histoire éruptive avec modification chimique du magma (comportant un cas typique de mélange magmatique) a été située dans le temps que par une seule date TL, réalisée par Guérin (1983), de 10 900 plus ou moins 2 400 ans. Cette date permet de situer chronologiquement que la phase effusive finale (c'est-à-dire la coulée de la fameuse Pierre de Volvic).

Treize retombées ont été repérées dans différents environnements palustres et lacustres d'un vaste espace comprenant la Limagne occidentale et plus à l'Est les Monts du Forez et s'étendant vers le Sud à la Chaîne des Puys méridionale, aux Monts Dore, à l'Artense, au Cézallier et au Cantal (Juvigné, 1987, 1991, 1992, 1993 ; Juvigné et Gewalt, 1987 ; Juvigné *et al.*, 1987 ; Gewalt et Juvigné, 1988 ; Juvigné *et al.*, 1992 ; Etlicher *et al.*, 1987). Deux de ces treize téphras (Téphra de la Nugère et Téphra T4 de la Godivelle) ont comme origine supposée le puy de la Nugère. Il faut

rajouter à ces téphras, le téphra T875 découvert dans le remplissage lacustre du Gour de Tazenat (Juvigné et Bastin, 1995).

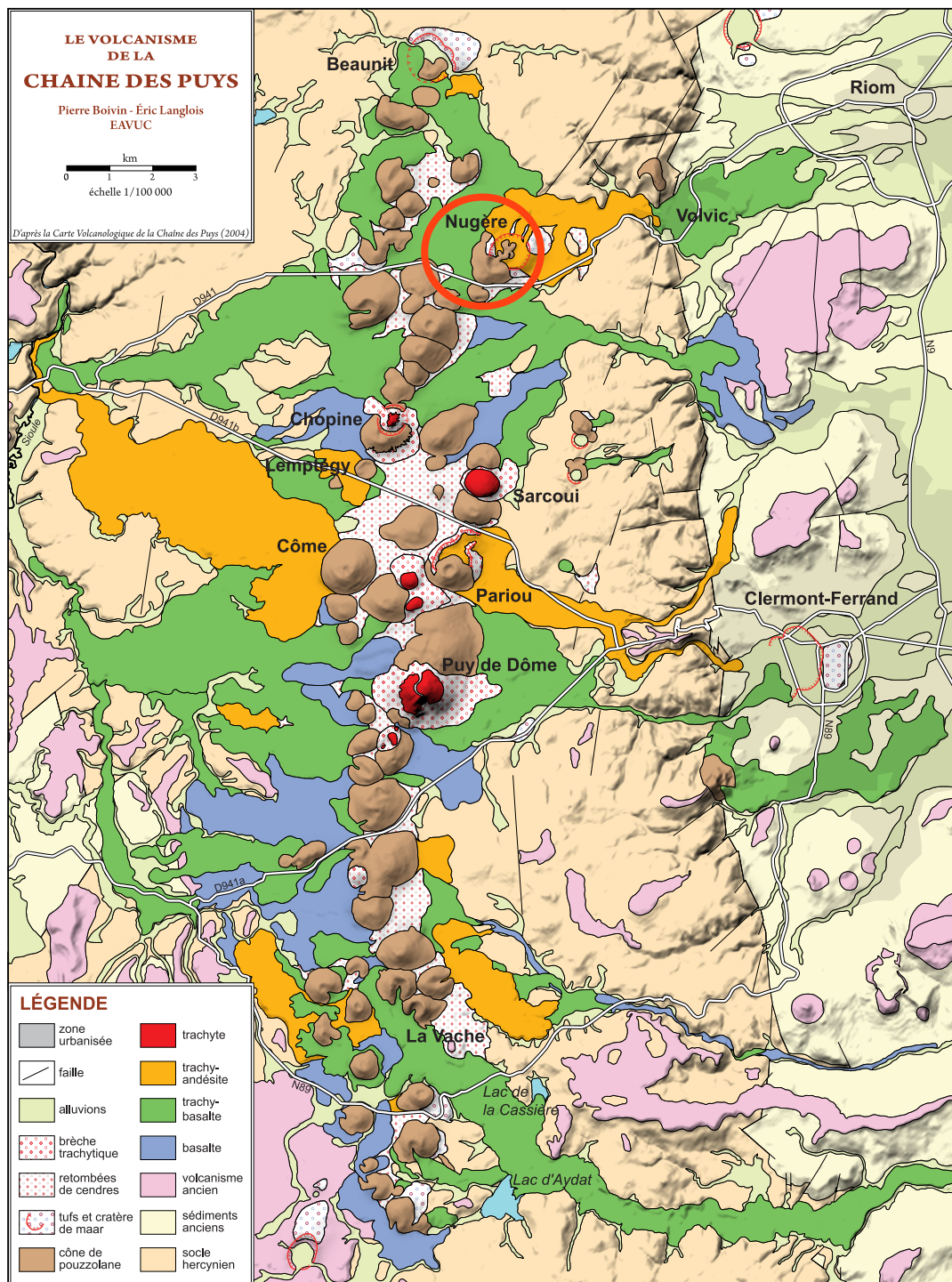


Figure 27 : Position du volcan de « La Nugère » dans la Chaîne des Puys (d'après Boivin *et al.*, 2009a).

Les études de téphrostratigraphie réalisées en Limagne depuis plus de 15 ans (Vernet, 1992, 2004 ; Vernet *et al.*, 1990, 1998 ; Vernet et Raynal, 1995, 2000a, 2000b, 2001 ; Raynal *et al.*, 1994 ; Vivent et Vernet, 2001 ; Boivin *et al.*, 2009b) permettent de proposer comme volcan-source le puy de la Nugère pour au moins quatre téphras : la retombée de Cellule, la retombée de la Moutade, le complexe téphrique CF1a/CF1b et la retombée supérieure de Gimeaux.

L'étude de ces différents recouvrements téphriques confirme l'importance des éruptions du puy de la Nugère. En effet, les lobes de dispersion de ces cendres couvrent de vastes zones, que l'impact sur les biotopes est notable. Le volume des cendres du complexe téphrique CF1a/CF1b à l'hectare est estimé en moyenne à 1 500 m³ et peut atteindre 4 500 m³ dans certains points de la cuvette clermontoise. Le téphra CF1b a été le premier repéré en contexte archéologique ; il recouvre le dernier niveau d'occupation du site magdalénien d'Enval.

2.4.1 – Le puy de la Nugère et son histoire éruptive :

2.4.1.1 – Localisation et importance de l'édifice :

Le puy de la Nugère est situé dans la partie nord de la Chaîne des Puys (Figure 27 ; Boivin *et al.*, 2009a) à 3,5 km à l'ouest de la faille bordière occidentale de la Limagne et du bourg de Volvic. Avec une altitude de 993 m, il domine d'environ 200 m le plateau des Dômes (socle plutonique et métamorphique). Son volume est estimé à 6 500 m² ce qui en fait un des volcans les plus imposants de la Chaîne des Puys. Du point de vue morphologique, il se caractérise par un édifice complexe (voir infra) qui se distingue des autres volcans (cônes stromboliens à cratère unique). La seconde caractéristique morphologique de cet édifice est la présence d'une importante coulée de trachy-andésite qui nappe la quasi-intégralité des flancs nord et est du puy et s'étend à l'Est jusqu'à Volvic. Cette coulée est l'une des plus connues de la région. En effet, sa lave (appelée *Pierre de Volvic*) a été intensément exploitée depuis l'époque romane pour être utilisée comme matériau de construction remarquable des édifices importants de villes et villages de basse Auvergne. Enfin, Le puy de la Nugère et ces coulées constituent un élément important du bassin hydrogéologique de la célèbre *Eau de Volvic*.

2.4.1.2 – Historique des recherches et proposition d'une histoire éruptive :

– *Historique des recherches* :

Le premier auteur à parler de ce puy est Montlosier en 1788 dans son ouvrage *Théorie des volcans d'Auvergne*, n'en donnant que peu d'indications. Von Buch (1819) est le premier auteur à pressentir la nature complexe de ce volcan. La complexité du puy de la Nugère est confirmée par Glangeaud en 1913. L'auteur qui décrit le mieux l'évolution magmatique (et surtout pétrographique) de ce puy est Bentor (1954) dans son ouvrage, *La chaîne des Puys (Massif Central français), recherches géologiques et pétrographiques*. Enfin, La genèse du puy de la Nugère est établie dans la thèse de Camus en 1975 et ce schéma évolutif reste valable aujourd'hui. Ce dernier auteur

publie deux articles sur l'interprétation du puy de la Nugère en 1974 (Camus, 1974 ; Camus et Roche, 1974). En ce qui concerne l'évolution magmatique originale des laves de cet édifice, il existe un article incontournable, *Magma mixing at La Nugère Volcano*, publié en 1984 par Gourgaud et Camus.

– *L'évolution du système volcanique du Puy de la Nugère :*

Nous présentons ici le schéma évolutif communément admis (Boivin *et al.*, 2009b) principalement basé sur celui proposé par Camus (1975). La constitution de cet édifice est divisée en quatre périodes (Figure 28) :

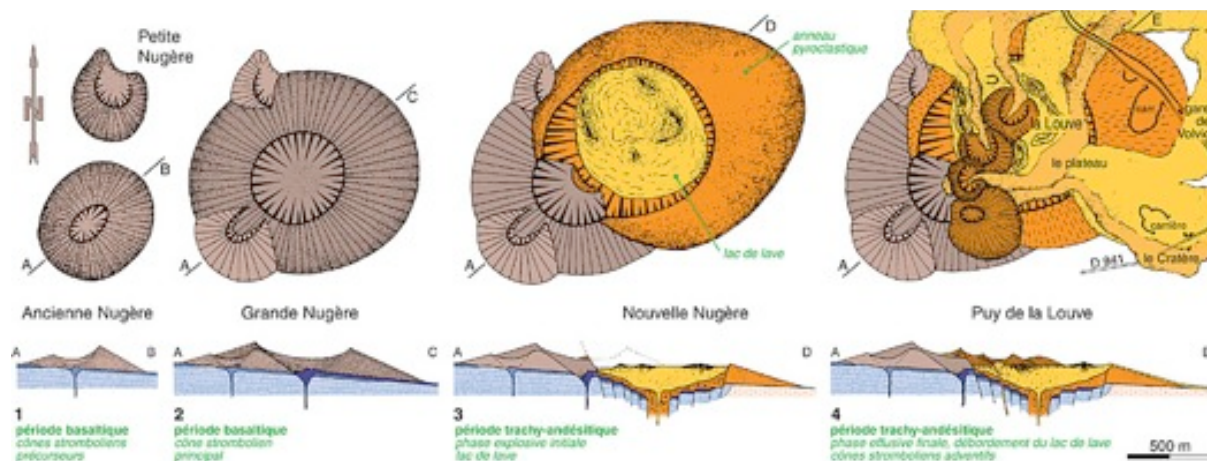


Figure 28 : Evolution du volcan de « La Nugère » (d'après Boivin *et al.*, 2009b).

- Une période initiale pendant laquelle deux cônes (au Nord la Petite Nugère et au Sud l'Ancienne Nugère) s'installent. Pour Bentor (1954), l'ancienne Nugère possède un magma trachytique. Camus (1975) ne donne pas d'explication sur cette phase initiale et il cite simplement Bentor mais considère que ces deux cônes sont de nature basaltique.
- Une période basaltique qui voit la mise en place d'un imposant cône : la Grande Nugère. Malgré l'importance de ce cône (en partie détruit lors de la phase suivante), les données sur cette période restent très réduites.
- Une période trachy-andésitique, phase explosive (la Nouvelle Nugère) : Camus (1975) explique la mise en place d'un vaste cratère proche du type maar. Il y a un changement de magma juvénile qui devient trachy-andésitique, mais l'on note des enclaves trachytiques et c'est durant cette phase qu'il existe des mélanges de magma (Gourgaud et Camus, 1984). Les dépôts de cette phase explosive sont très rythmés et de type « déferlantes basales ». Une phase plus « strombolienne » semble caractériser le sommet de ces dépôts. À la fin de cette période, un lac de lave (trachy-andésite) (le Plateau) se met en place avec une croûte partiellement solidifiée.
- Une période trachy-andésitique, phase effusive (Puy de la Louve et coulées de Volvic) : Le lac de lave déborde au Nord et à l'Est et sur sa croûte plusieurs petits cônes stromboliens (dont le principal est le Puy de la Louve) se mettent en place. Les débordements du lac de lave et les coulées issues des cônes adventifs donnent naissance aux coulées de Volvic qui se développent vers l'Est jusqu'à la

faille bordière occidentale de la Limagne. Cette dernière période est la seule directement datée sur le volcan : 10 900 ± ou - 2 400 ans TL (Guérin, 1983).

Ce schéma évolutif du puy de la Nugère montre que les phases anciennes sont encore largement méconnues. Pour les deux cônes de la période initiale (Petite Nugère et Ancienne Nugère) il reste un problème de taille puisque Bentor décrit un trachyte pour l'Ancienne Nugère alors que pour Camus les deux cônes sont basaltiques. L'âge de la mise en place de ces deux cônes reste totalement inconnu ainsi que le laps de temps entre cette période initiale et la période suivante.

La seconde période (Grande Nugère) est entièrement basaltique pour Camus, alors que Bentor (pour cet auteur la Grande Nugère porte le nom de Nouvelle Nugère), le magma est d'abord trachy-basaltique puis basaltique (essexibasalte). L'âge de la mise en place de ce cône strombolien reste inconnu.

Pour le reste de l'histoire de ce volcan, les deux auteurs sont d'accord sur la nature trachy-andésitique des produits éruptifs émis lors de ces phases finales qui restent les seules datées.

Enfin, signalons que nous avons effectué une analyse des minéraux lourds des produits de la période trachy-andésitique, phase explosive qui donne le cortège suivant : Pyroxène vert (63,5 %), Amphibole brune (26 %), Olivine (9 %) et Divers (1,5 %).

2.4.2 – Les produits distaux attribués au puy de la Nugère :

2.4.2.1 – Le Téphra de la Nugère :

Le nom « Téphra de la Nugère » a été proposé par Juvigné (1993) pour deux téphras précédemment définis, le téphra d'Allières (Etlicher *et al.*, 1987) et le téphra de Ravel (Juvigné *et al.*, 1992).

Son magma, déterminé sur scories (sur le locus de Ravel), est une trachy-andésite basaltique (Juvigné, 1993). Son cortège de minéraux lourds est dominé par un clinopyroxène (diopside alumineux) (66 % en moyenne) et une amphibole brune (32 % en moyenne) (Juvigné *et al.*, 1992).

À Ravel, ce téphra est encadré par deux dates 14C : 12 370 ± 230 BP (GrN 12891) et 9810 ± 100 BP (GrN 12890) (Kroonenberg *et al.*, 1987). Dans les Monts du Forez, ce même téphra est placée dans l'Alleröd d'un diagramme pollinique et il est encadré par deux dates 14C : 11 490 ± 60 BP (GrN 12643) et 11 340 ± 100 BP (GrN 12642) (Etlicher *et al.*, 1987). Nous pouvons donc retenir que le téphra de la Nugère possède une position palyno-stratigraphique dans l'Alleröd et un âge 14C d'environ 11.400 BP (Juvigné, 1993).

2.4.2.2 – Le Téphra T4 de la Godivelle :

Ce téphra est caractérisé par un magma trachy-andésitique et son cortège de minéraux lourds est dominé par un clinopyroxène (augite à diopside alumineux) et une amphibole brune (kaersutite).

Il est largement répandu du Cézallier à l'Artense où il est placé à la fin de l'Alleröd (Bastin *et al.*, 1990). Son âge moyen est de 10 350 BP (Juvigné, 1993). Ce dernier auteur (Juvigné *et al.*, 1988) a largement discuté ce problème d'un âge « un peu trop récent » par rapport à l'échelle chronostratigraphique « communément admise » (Beaulieu *et al.*, 1982). Il faut retenir que ce téphra possède une position palyno-stratigraphique dans l'Alleröd.

Enfin, il faut signaler que ce téphra est systématiquement associé à un autre téphra légèrement plus ancien (âge moyen de 10 750 BP), le Téphra T5 de la Godivelle qui possède un magma de trachy-andésite basaltique et un cortège de minéraux lourds dominé par un clinopyroxène (augite à diopside alumineux) et une amphibole brune (kaersutite). Juvigné (1993) ne retient pas le puy de la Nugère comme origine possible à T5 de la Godivelle et préfère une origine dans la partie méridionale de la Chaîne des Puys.

2.4.2.3 – Le téphra T875 du Gour de Tazenat :

En 1995, Juvigné publie les résultats de forages effectués dans le remplissage lacustre du lac de cratère du Gour de Tazenat. Une mince lamine (5 mm) de téphra (T875) est repéré dans les sédiments lacustres qui fournissent un cortège palynologique caractéristique de la fin de l'Alleröd. La composition chimique du magma donne une composition dans le champ des trachy-andésites basaltiques (mugéarite) et les pyroxènes (augite-diopside) constituent l'essentiel des minéraux mafiques (Juvigné et Bastin, 1995). Le sédiment lacustre encadrant le téphra a donné une date $14C$ de $10\,280 \pm 140$ BP (GrN-20 474). Sur la base de la composition chimique et de l'association de minéraux mafiques, les auteurs rattachent alors ce téphra à la retombée de Cellule.

2.4.2.4 – La retombée de Cellule :

Il s'agit d'une cendre grossière, de composition de trachy-andésite basaltique, puissante de 0,20 à 0,30 m, observée uniquement à Cellule dans le marais d'Orange, où elle est fortement cryoturbée (Figure 29). Le cortège minéralogique est dominé par un clinopyroxène vert (94,5 %) (Vernet, 1992). Elle a été située par la palynologie dans le Dryas ancien (Vernet et Paquereau, 1986 et 1991). Il pourrait s'agir d'un recouvrement lié à une phase éruptive ancienne du puy de la Nugère. Il faut remarquer que dans l'état de nos connaissances, les phases anciennes du puy de la Nugère posséderaient plutôt des magmas plus basiques (surtout pour Camus). Bentor (1955) signale pourtant un magma plus acide (trachytique) pour l'Ancienne Nugère.



Figure 29 : Le Téphra de Cellule affecté par des déformations (poches en chaudron) dues à la cryoturbation.

2.4.2.5 – La retombée de la Moutade :

C'est une cendre grossière noire à composition de trachy-andésite basaltique, reconnue en différents points de Limagne septentrionale (marais d'Orange, vallée du Sardon et marais de Villeneuve-les-Cerfs). Le cortège minéralogique est nettement dominé par l'amphibole brune (70 à 85 %). Une datation directe par thermoluminescence à $13\,700 \pm 1\,700$ (Cler TL 110) est confirmée par un calage palynologique dans l'Alleröd et une datation radiocarbone de $11\,360 \pm 130$ BP (Ly3733) (Vernet et Paquereau, 1986 et 1991 ; Vernet *et al.*, 1990). Dans le marais d'Orange, elle est située au sein d'un paléosol de marais qui marque l'amélioration climatique de l'Alleröd (Figure 30). Deux autres dates radiocarbones ont été obtenues dans le marais d'Orange : $11\,430 \pm 60$ BP (GrN 16096) et $11\,030 \pm 100$ BP (GrN 16133) (Lenselink *et al.*, 1990 ; Juvigné *et al.*, 1992) Son impact sur la végétation a été mis en évidence par les analyses palynologiques réalisées sur le site de Villeneuve-les-Cerfs (Raynal *et al.*, 2003 ; Vivent et Vernet, 2001). Le puy de la Nugère est proposé comme volcan source (Vernet, 1992 ; Vernet *et al.*, 1990). Malgré une différence notable dans les cortèges minéralogiques, la retombée de la Moutade est rattachée au Téphra de Ravel (qui deviendra le Téphra de la Nugère, cf. chapitre 3.1) (Juvigné *et al.*, 1992).

2.4.2.6 – Le complexe téphrique CF1a/CF1b :

Présent dans toute la Grande Limagne, il scelle le remplissage du site magdalénien d'Enval : c'est le premier téphra distal de la Chaîne des Puys retrouvé en contexte préhistorique. Ce complexe téphrique est calé par le ^{14}C sur des paléosols sous-jacents (Ly 338/AA-22073 = $11\,990 \pm 90$ BP ; ARC 1697 = $11\,460 \pm 90$ BP ; ARC 2468 = $11\,300 \pm 70$ BP), directement sur des fragments organiques au sein de CF1b (Gif TAN 91102 = $12\,010 \pm$

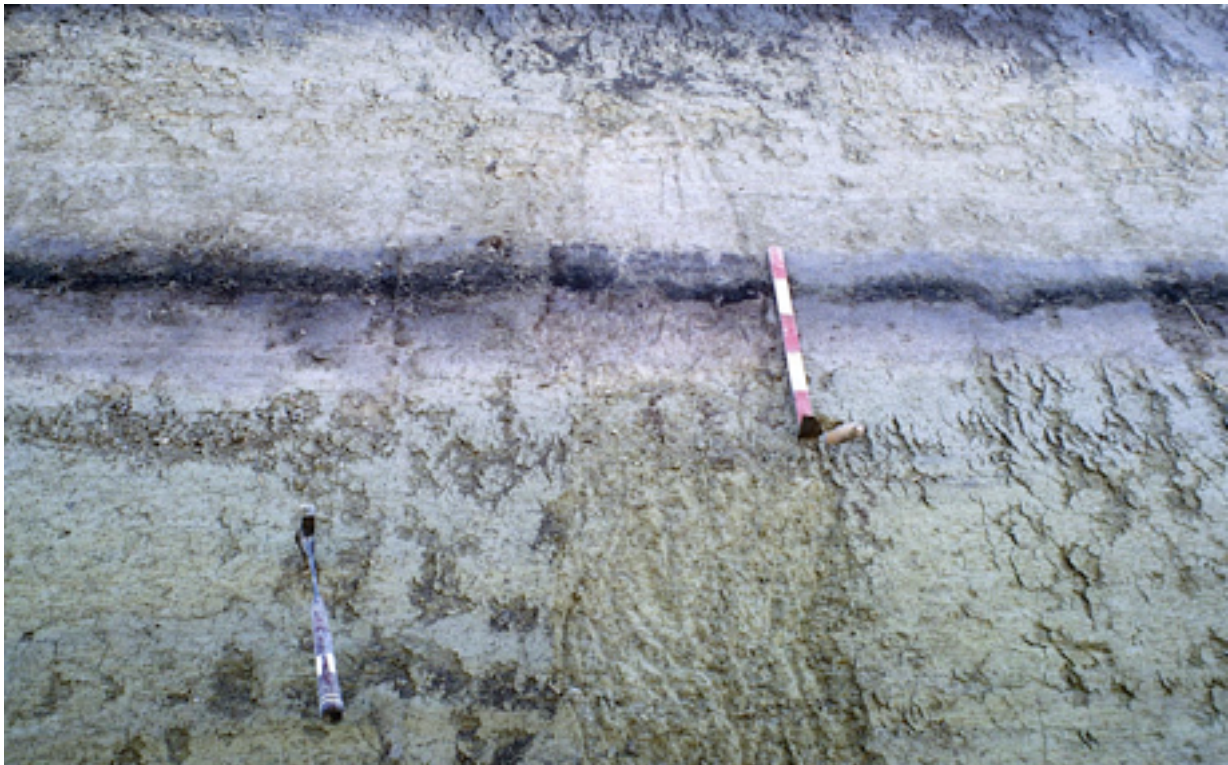


Figure 30 : Le Téphra de La Moutade ($13\ 700 \pm 1\ 700$ TL) dans l'horizon pédogénisé (paléosol Alleröd) de la séquence sédimentaire du marais d'Orange (Cellule, 63).

150 BP) et sur des argiles organiques interstratifiées entre CF1a et CF1b (ETH-30437 = $11\ 270 \pm 90$ BP). Enfin, signalons pour être complet la date de $10\ 600 \pm 180$ BP (Gif n°2357) (Brousse et Rudel, 1973) obtenue sur un niveau organique sous-jacent à une retombée volcanique qui peut être identifiée comme étant CF1a/CF1b.

Des analyses palynologiques, réalisées en 2000 sur le site du Brézet, confirment les datations ^{14}C . En effet, un niveau d'argiles palustres sous-jacent au paléosol daté à $11\ 460$ BP livre un cortège sporopollinique qui permet de le situer à la fin de la phase Bölling ($13\ 000$ - $12\ 000$ ans BP). Un second niveau argileux immédiatement au-dessus du complexe téphrique livre un cortège sporopollinique caractéristique soit du début de la phase Préboréal ($10\ 300$ ans BP) soit de la fin de cette même période ($9\ 000$ ans BP).

D'après les relevés de plus de trente sites d'observation répartis en Limagne, il est constitué d'un niveau de base noir plus ou moins développé (CF1a ou retombée de la rue de la Barre), puis d'un niveau sommital gris (CF1b ou retombée des Roches). En général les deux niveaux se superposent directement et il n'existe pas de dépôt entre eux (Figure 31) ; cependant dans une des stratigraphies du secteur de Gerzat (sondage 271, Les Pra-deaux) un niveau d'argiles palustres a été observé et une datation radiocarbone AMS de $11\ 270$ BP a été obtenue (Figure 32). Dans certaines stratigraphies, un seul des deux niveaux est présent : par exemple, CF1a seul à Gerzat/Chantemerle ou CF1b seul à Enval. L'absence d'un des deux niveaux en Limagne peut s'expliquer par un phénomène d'abla-

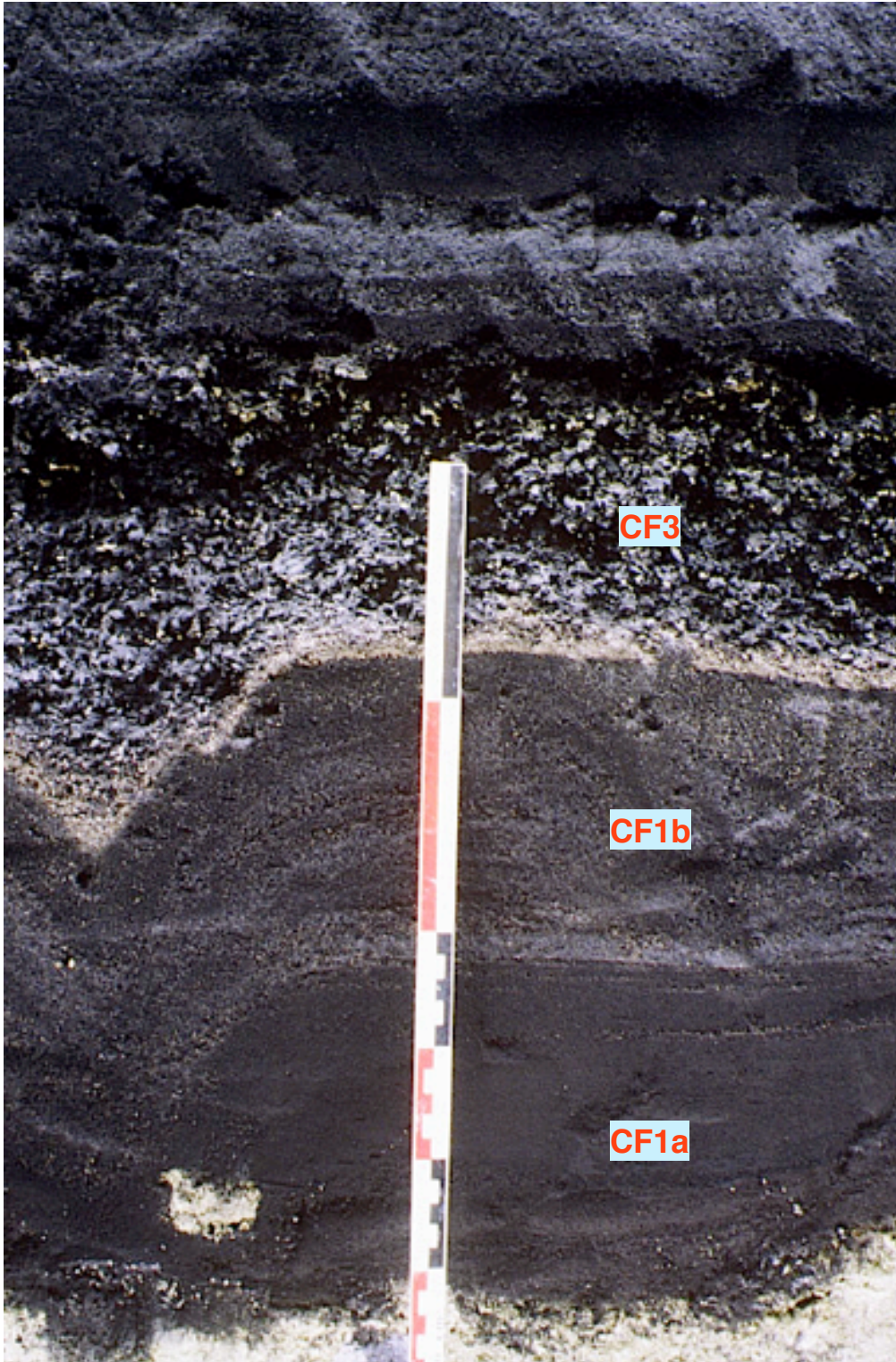


Figure 31 : Sous CF3, le complexe téphrique CF1a/CF1b (Parc Logistique, Cébazat, 63).

tion (en particulier pour l'absence de CF1b). En revanche, le fait que CF1b soit présent seul dans les sites d'observation les plus en périphérie du lobe d'extension proposé peut montrer que CF1b possède une extension plus importante que CF1a.

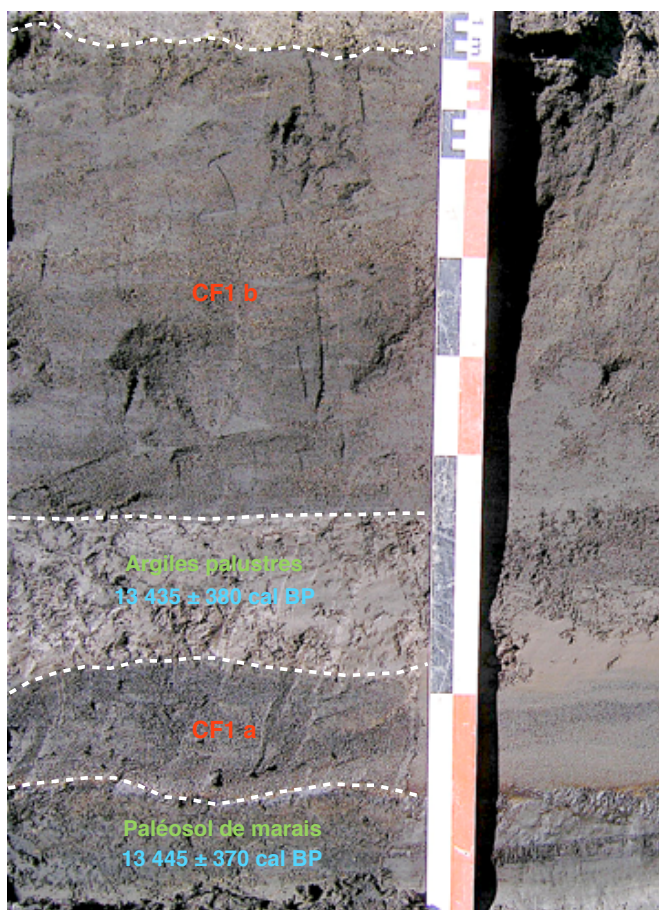


Figure 32 : Positionnement des dates 14C obtenues pour le complexe téphrique CF1a/CF1b sur le site des Pradeaux à Gerzat (sondage 271). Les dates sont calibrées à 2 σ . Ages conventionnels : 11 300 \pm 70 BP (ARC 2468) et 11 270 \pm 90 BP (ETH-30437).

de substantiels apports nutritifs (Breheret, Inédit). C'est étude montre que, durant l'Alleröd, les cendres du téphra CF1a sont tombées dans une Limagne occupée par un marais plus ou moins saumâtre possédant une faible tranche d'eau mais qui connaissait des épisodes de haut niveau aquatique (peut-être saisonniers).

CF1a se présente en lits centimétriques réguliers de couleur noire, moulant la topographie existante. Sa composition indique un magma trachy-andésitique basaltique et ses minéraux caractéristiques sont un clinopyroxène vert (50 à 60 %) et une amphibole brune (40 à 50 %) (cf Figure 26). Au microscope optique, CF1a présente des pyroclastes compacts, anguleux et peu vésiculés, de verre noir opaque contenant des lattes de plagioclases et des microlites de clinopyroxènes verts (Figure 33). Ces pyroclastes baignent dans une matrice d'échardes vitreuses brunes et de minéraux libres en éclats. Son extension sem-

Dans les zones de marais de Limagne, CF1a repose toujours sur un paléosol de marais (argiles plastiques organiques grises à noires avec nombreuses traces de racines et d'herbes) formé sur des argiles palustres verdâtres remaniant des marnes oligocènes (Figure 34). Dans le secteur de St Beauzire, une mince lamine (3 à 4 mm) blanche était intercalée entre CF1a et le paléosol de marais. L'analyse a montré qu'il s'agissait de diatomite (71 % de frustules de diatomées, 27 % de kystes de Chryso-phyccées et 3 % de phytolithes). La flore diatomique dénote un milieu aquatique très peu profond car la plupart des espèces présentes sont benthiques, étant inféodées au milieu littoral, et présentent un mode de vie épiphyte, c'est-à-dire attachées aux macrophytes. Les espèces, appartenant à la sous-classe des Pennatophycidées, sont caractéristiques d'un milieu légèrement alcalin (pH entre 7,5 et 8,5), dulçaquicole, où l'on ne peut écarter une éventuelle influence saumâtre. Elles dénotent également l'oligotrophie du milieu. À cet ensemble, il faut ajouter la présence d'une forme planctonique, la Centrophycidée *Melosira granulata*, qui pourrait signer des épisodes de haut niveau aquatique corrélatifs

ble limité à la cuvette de Clermont, les secteurs de marais de Gerzat-Cébazat et du Brézet et la vallée du Bédat. Ce recouvrement (CF1a) possède une épaisseur moyenne de l'ordre de 0,15 m. Un calcul rapide montre que 1 500 m³ de cendres à l'hectare ont recouvert la Limagne, vers 12 000 ans BP.

CF1b montre un litage net, formé de lamines plus ou moins épaisses et il peut former des accumulations importantes. Sa composition entre dans le domaine des trachy-andésites, avec comme minéraux caractéristiques, l'amphibole brune et un clinopyroxène vert. Les pourcentages de ces deux minéraux varient selon la granulométrie étudiée et l'éloignement du site d'observation par rapport au volcan-source (Vernet et Raynal, 1995). CF1b est présent dans plusieurs stratigraphies de la cuvette de Clermont, en Grande Limagne, dans le secteur de la Morge et, enfin, dans le site magdalénien d'Enval, où il adhère aux outils de pierre et aux ossements du niveau 1a et scelle la séquence archéologique, démontrant la pénécotemporanéité de l'occupation humaine et de l'éruption (Vernet et Raynal, 1995).

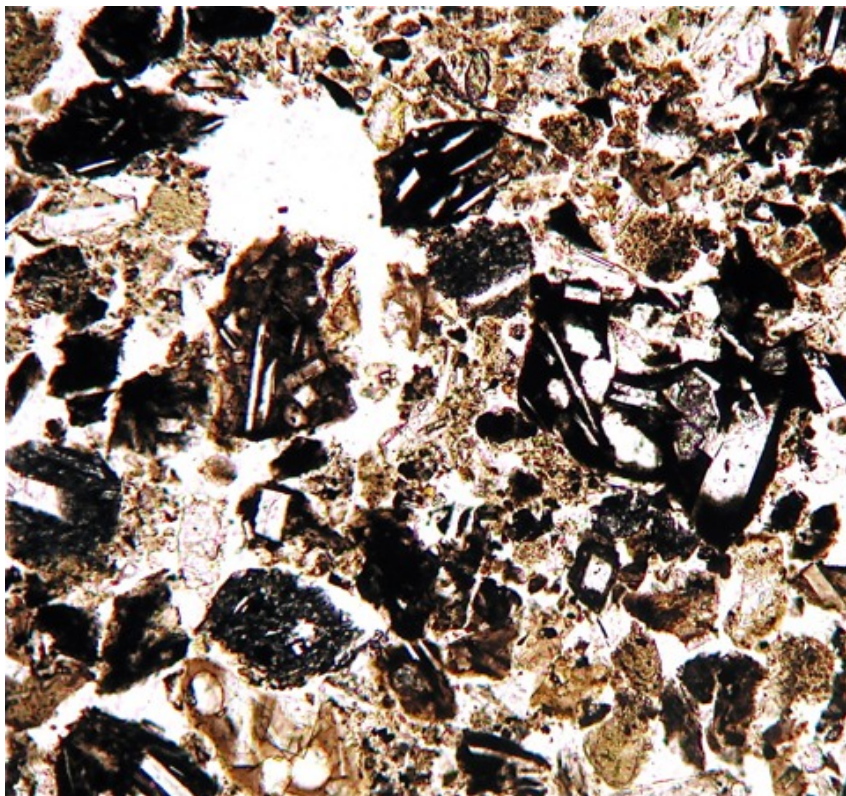


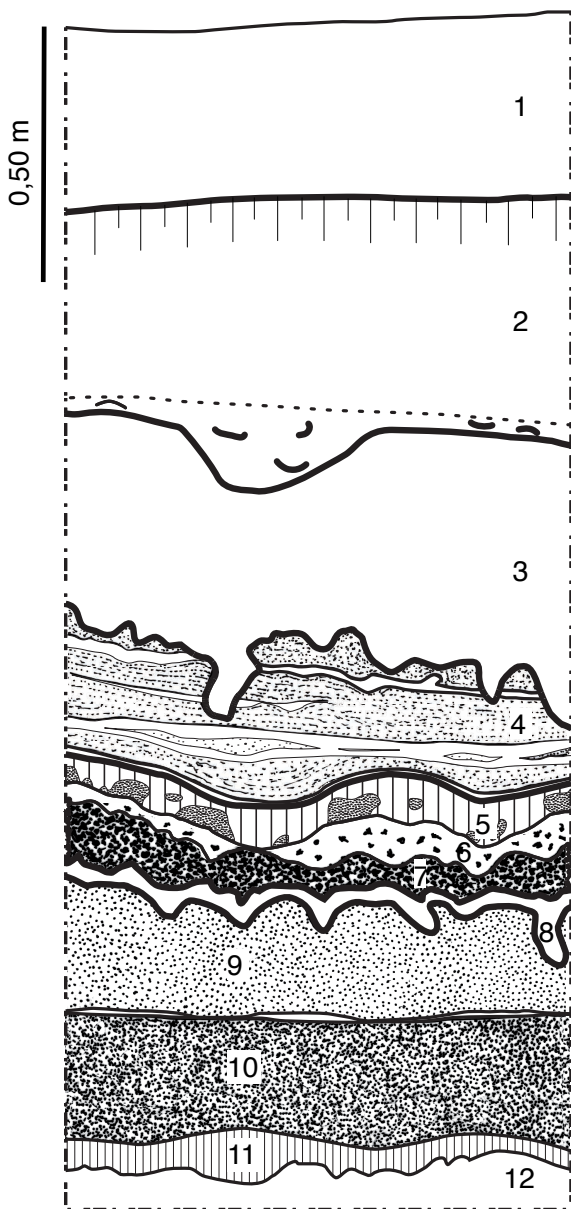
Figure 33 : Photographie au microscope optique (LN, X10) du microfaciès de CF1a (site Le Brézet). Pyroclastes compacts, anguleux et peu vésiculés, de verre noir opaque contenant des lattes de plagioclases et des microlites de clinopyroxènes verts. Ils sont caractéristiques d'éruptions explosives, violentes à caractère plus ou moins phréatomagmatique. On note un pyroclaste (angle inférieur gauche de la photo) de verre brun clair translucide à vésicules sphériques bien développées qui révèle l'existence de phases à caractère plus strombolien lors de l'éruption. Les pyroclastes baignent dans une matrice d'échardes vitreuses brunes et de minéraux libres en éclats.

Une des caractéristiques principales de CF1b est la présence de deux faciès différents de scories, définis au MEB :

- des scories noires anguleuses, à vésiculation peu à très peu développée (composition géochimique à la limite des domaines des trachy-andésites basaltiques et des trachy-andésites) ;
- des scories claires à l'aspect « moussu » ou « ponceux », à tendance fibreuse (composition géochimique de trachy-andésite).

On note une différence 1,47 % de SiO₂ entre les scories claires (56,23 %) et les scories noires (54,76 %).

Trois analyses granulométriques (Figure 35) montrent peu de variations entre les sites et entre CF1a et CF1b sur un même site.



G.V. 2009

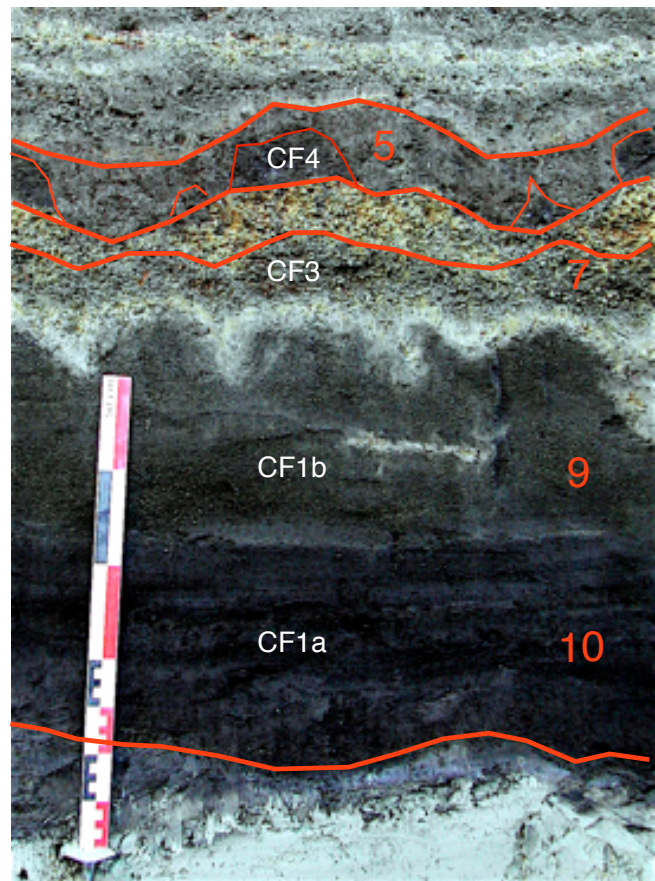


Figure 34 : Séquence sédimentaire de la rue Jules Verne (Le Brézet, Clermont-Ferrand). 1 : remblais modernes (XXe siècle) ; 2 : colluvions argileuses grises portant la pédogenèse actuelle et à la base présence d'un niveau laténien ; 3 : colluvions argilo-limoneuses hétérogènes à nombreux cordons racinaires sub-verticaux ; 4 : alluvions fines, alternance de niveaux sableux et de niveaux argilo-limoneux beiges ; 5 : colluvions argilo-limoneuses grises avec bioturbations (paléosol ?) avec à la base un téphra cendré (CF4) plus ou moins remanié ; 6 : argiles palustres beiges contenant des scories remaniées du niveau 7 ; 7 : niveau de grosses scories noires bleutées = CF3 ; 8 : argiles palustres beiges ; 9 : retombée volcanique grise = CF1b ; 10 : retombée volcanique noire = CF1a ; 11 : argiles noires plastiques avec éléments organiques = paléosol de marais de l'Alleröd ; 12 : argiles beiges verdâtres remaniant des fragments de marnes oligocènes.

L'analyse fine du complexe téphrique CF1a/CF1b permet une mise en corrélation avec un édifice de la Chaîne des Puys. L'éruption débute en effet par une phase à magma unique, de nature trachy-andésitique basaltique (CF1a), puis se poursuit avec un mélange de magmas trachy-andésitique basaltique et trachy-andésitique, d'où la présence des deux faciès de scories dans CF1b. Seul le puy de la Nugère (et en particulier sa période trachy-andésitique, phase explosive, la Nouvelle Nugère) a fourni des laves où l'on observe tous les stades de mélange de deux magmas lors d'une phase éruptive d'âge compatible (Gourgaud et Camus, 1984). Le puy de la Nugère (la Nouvelle Nugère) est donc la source du complexe téphrique CF1a/CF1b.

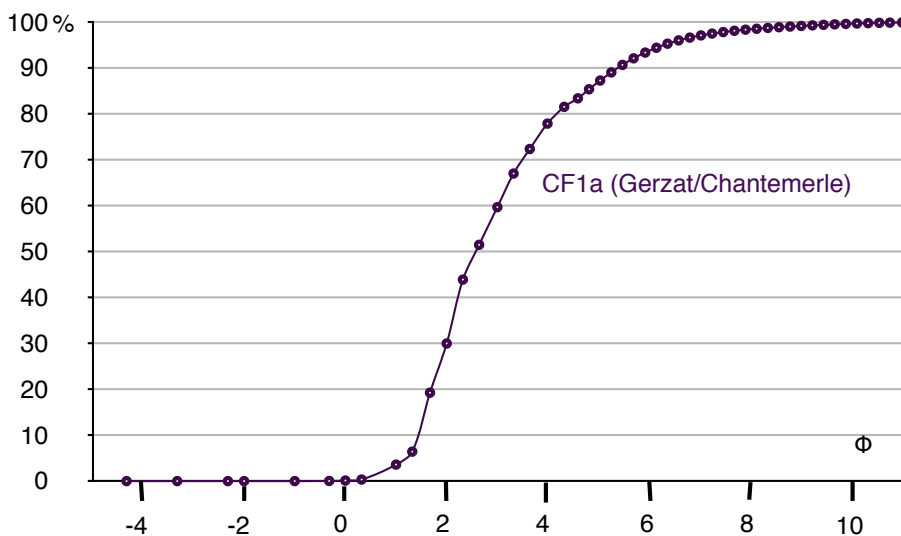
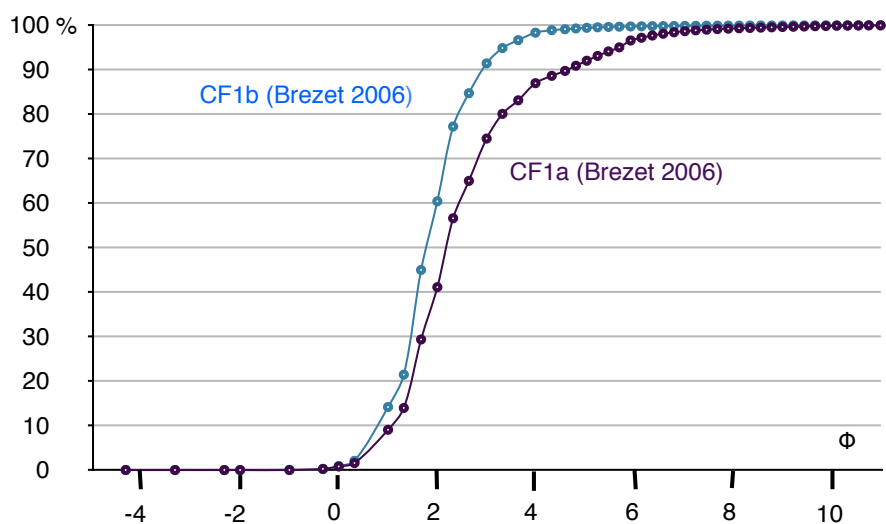


Figure 35 : Courbes cumulatives de CF1a (à Gerzat/Chantemerle et au Brézet) et de CF1b (au Brézet).

2.4.2.7 – La retombée supérieure de Gimeaux :

Une cendre grossière noire observée dans les travertins hydrothermaux de la source de Gimeaux, au-dessus de CF1b (retombée des Roches), à composition de trachyandésite et au cortège minéralogique dominé par un clinopyroxène vert (65,35 %), reste mal datée (tardiglaciaire *sensu lato*) (Vernet, 1992). Une cendre, récoltée au lieu-dit « le Creux-rouge » dans le bassin de Clermont-Ferrand (Raynal *et al.*, 1979), est comparable à la cendre décrite ci-dessus. Le nom de retombée supérieure de Gimeaux a été donné à ce téphra. Malgré l'incertitude sur son âge, ses caractéristiques nous conduisent à proposer le puy de la Nugère (et en particulier la phase trachyandésitique effusive finale) comme source possible à ce téphra.

2.4.3 – Synthèse sur les produits distaux du Puy de La Nugère :

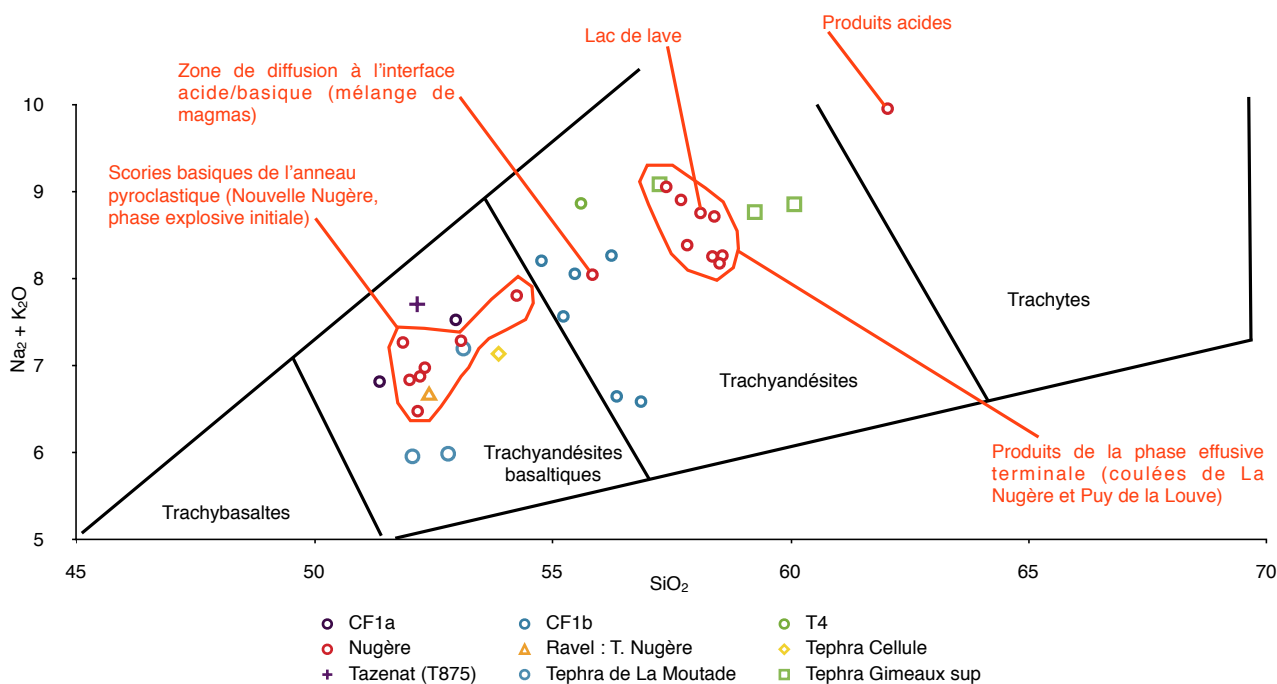
Le diagramme $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ (Le Bas *et al.*, 1986, Le Maitre, 2002) permet de comparer, d'un point de vue chimique, les téphras entre eux et avec les produits de l'édifice lui-même (Figure 36, voir le tableau de la Figure 37). Pour les données portant sur le puy de La Nugère, nous avons utilisé la base de données utilisée pour la 5^e édition de « *Volcanologie de la Chaîne des Puys* » (Boivin *et al.*, 2009b) ainsi que celles issues de l'article « *Magma Mixing at La Nugère Volcano : Role in the Trachyandésites Genesis* » (Gourgaud et Camus, 1984).

La première constatation est que l'ensemble des téphras présentés dans cet article est situé dans les domaines « Trachyandésites basaltiques » et « Trachyandésites » du diagramme. L'ensemble de ces téphras correspondraient donc à des produits issus des phases finales trachyandésitiques de ce volcan (cf. 2.2.2).

2.4.3.1 - Origine de la retombée de Cellule :

D'emblée se pose le problème de la retombée de Cellule qui est située dans le Dryas ancien et qui peut donc n'appartenir qu'à une phase ancienne de La Nugère donnée comme étant de nature basaltique. La position chronologique de ce téphra (antérieur à l'Alleröd) est assurée par les observations d'ordre stratigraphique qui ont été réalisées dans le marais d'Orange où il est contenu dans des alluvions cryoturbées antérieures au paléosol de l'Alleröd qui contient la retombée de la Moutade. Il a été situé par la palynologie dans le Dryas ancien (Vernet et Paquereau, 1986 et 1991). Si l'on conserve comme origine le puy de La Nugère à cette retombée, il faut admettre que des produits de nature trachyandésitique basaltique ont été émis lors des phases anciennes de La Nugère ce qui est possible si on se réfère aux descriptions de Bentor et si l'on considère que ces phases anciennes restent peu ou pas étudiées. La retombée de Cellule peut aussi provenir d'un autre édifice de nature trachyandésitique basaltique, d'âge Dryas ancien et plutôt situé dans la partie septentrionale de la Chaîne des Puys.

Figure 36 : Géochimie des produits proximaux des différentes phases éruptives du puy de La Nugère (Nouvelle Nugère) et des téphras distaux rapportés à ce volcan.



2.4.3.2 - Corrélations entre téphras :

Le téphra de La Moutade a été corrélé par E. Juvigné avec le téphra de La Nugère sur la foi d'un échantillon (Lenselink *et al.*, 1990) qui est nettement différent des deux échantillons qui ont servi à la définition de ce téphra. On remarque que cet échantillon est plus proche de celui de la retombée de Cellule que de celui de la retombée de La Moutade. Comme les deux téphras sont présents sur les stratigraphies du marais d'Orange, il n'est pas impossible que l'échantillon en question se rapporte non pas à la retombée de La Moutade mais à celle de Cellule. Nous proposons donc de conserver la retombée de La Moutade comme un téphra indépendant.

Le complexe téphrique CF1a/CF1b, constitué par les téphras CF1a et CF1b très souvent associés dans les séquences palustres de Limagne, évoque le couple de téphra T4 et T5 de la Godivelle observé dans nombre de tourbières au Sud de la Chaîne des Puys. Il est remarquable de constater que la description des éléments de magma juvénile de T4 de Godivelle-Nord montre la présence de plusieurs types de scories et en particulier de scories brunes (Bastin *et al.*, 1990) ; ce qui rappelle fortement les deux faciès de scories caractéristiques du téphra CF1b. Dans le diagramme $Na_2O + K_2O/SiO_2$ l'échantillon provenant de T4 peut très bien être intégré au domaine de variation de CF1b. Enfin, une analyse des minéraux lourds (Vernet, inédit) effectuée sur des échantillons provenant de la tourbière de Mareuge (T111 et T115) et correspondant au couple T4 et T5, montre des cortèges parfaitement comparables avec ceux obtenus sur CF1a et CF1b. Le domaine de variation de la composition chimique de T5 (Juvigné, 1993) se superpose en grande partie avec celui de CF1a. Malgré l'attribution de T5 à un édifice proche des tourbières étudiées (Juvigné,

1993), nous proposons de corrélér T4 à CF1b et T5 à CF1a. La présence d'un couple de téphras dans les séquences palustres de Limagne et dans les tourbières du Sud de la Chaîne des Puys devient un marqueur caractéristique de l'Alleröd.

volcan ou	site	nature	référénc	référénc	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO r	Na2O	K2O r	TiO2 r	P2O5	somm	alcalir
Téphra Z	Noha-lotis	scories, t	AG 09-2	NOHA.7.	48,7	17,3	11,8	0,21	4,42	7,73	4,12	2,25	2,44	0,98	100,0	6,37
CF4	Gerzat	scories cl	AG 09-2	GER.9.4	55,7	18,4	7,6	0,20	1,97	5,47	5,35	3,14	1,41	0,74	100,0	8,49
CF4	Noha-lotis	scories cl	AG 09-2	NOHA.5.	55,1	18,2	7,9	0,05	2,32	5,45	5,42	3,18	1,50	0,89	100,0	8,60
CF4	Noha-lotis	scories gr	AG 09-2	NOHA.5.	55,2	18,1	7,8	0,05	2,36	5,47	5,41	3,21	1,52	0,90	100,0	8,63
CF4	Noha-lotis	scories ar	AG 09-2	NOHA.5.	55,2	17,9	7,7	0,07	2,35	5,42	5,39	3,72	1,43	0,83	100,0	9,11
CF4	Gerzat	scories n	AG 09-2	GER.9.2	55,6	18,5	7,3	0,19	1,88	5,56	5,70	3,15	1,42	0,73	100,0	8,85
CF4	Gerzat	scories gr	AG 09-2	GER.9.3	56,0	18,6	7,1	0,18	1,75	5,50	5,59	3,14	1,44	0,67	100,0	8,73
CF4	Noha-lotis	scories n	AG 09-2	NOHA.5.	55,1	18,0	7,9	0,22	2,44	5,57	5,34	3,12	1,43	0,78	100,0	8,46
CF4	Gerzat	scorie an	AG 09-2	GER.3.1	56,1	18,6	7,1	0,18	1,91	5,68	5,38	2,92	1,45	0,70	100,0	8,29
CF4	Les 4 route	scories n	AG 09-2	4R-CF4.1	55,2	18,2	7,8	0,21	2,40	5,60	5,37	3,09	1,43	0,80	100,0	8,46
CF4	Les 4 route	scories ar	AG 09-2	4R-CF4.2	55,3	18,1	7,8	0,22	2,43	5,55	5,31	3,08	1,42	0,80	100,0	8,39
CF4	Les 4 route	scories gr	AG 09-2	4R-CF4.3	54,4	18,0	8,2	0,22	2,61	5,77	5,38	3,15	1,51	0,83	100,0	8,53
CF4	Les 4 route	scories cl	AG 09-2	4R-CF4.4	55,0	18,0	7,9	0,21	2,43	5,51	5,49	3,23	1,42	0,82	100,0	8,72
CF4	Gerzat	cendres r	AG 09-2	GER.9.5	52,9	18,0	8,8	0,18	2,54	6,66	5,11	2,87	1,84	1,01	100,0	7,98
CF4	Noha-lotis	scories to	MC040	NOHA.5.	55,0	18,5	8,0	0,21	2,41	5,52	5,22	3,11	1,36	0,68	100,0	8,33
Téphra Y	Noha-lotis	sédim tot	MC040	téphra Y	54,0	18,1	9,2	0,19	3,05	5,84	4,42	2,83	1,73	0,62	100,0	7,26
Téphra Z	Noha-lotis	scories	MC040	téphra Z	49,5	18,0	11,4	0,20	4,06	7,34	4,14	2,34	2,22	0,78	100,0	6,48
CF7	Noha-lotis	roche tot	MC041	CF7 (8)	52,7	19,3	10,0	0,21	2,91	5,68	4,09	2,48	1,92	0,78	100,0	6,57
CF1	Clit-Fd, rue	scories to	MC040	CF1-rue	51,4	17,7	10,1	0,21	3,77	7,54	4,40	2,42	1,88	0,67	100,0	6,82
CF1a	Noha-lotis	scories to	MC040	CF1a (1)	51,3	17,7	10,1	0,21	3,80	7,67	4,34	2,36	1,91	0,66	100,0	6,70
CF1b	Noha-lotis	scories to	MC040	CF1b (2)	51,9	17,4	10,2	0,20	3,87	7,18	4,24	2,47	1,91	0,68	100,0	6,71
CF3	Clit-Fd, rue	scories	MC040	CF3-rue	49,4	17,6	11,0	0,20	4,29	7,55	4,33	2,61	2,19	0,78	100,0	6,94
CF3	Noha-lotis	scories to	MC040	CF3 base	51,6	17,8	10,0	0,20	3,73	6,61	4,49	2,87	1,93	0,73	100,0	7,36
CF3	Noha-lotis	scories	MC040	CF3 (4)	48,2	17,6	11,9	0,22	4,51	7,91	4,23	2,25	2,36	0,82	100,0	6,48
CF3	Gerzat	scories	?	Gerzat, n	54,7	18,6	8,6	0,16	2,30	6,53	3,98	2,43	1,95	0,78	100,0	6,41
CF1	Gerzat	scories to	?	Gerzat, n	52,0	17,8	9,7	0,20	3,24	7,46	4,47	2,47	1,87	0,81	100,0	6,94
CF1	Gerzat	scories to	?	Gerzat, ni	52,3	18,2	9,1	0,20	3,31	7,24	4,56	2,49	1,79	0,82	100,0	7,05
CF1?	Pont-du-Cl	scories to	?	PdC téph	53,0	17,5	8,9	0,21	3,41	7,73	4,14	2,64	1,67	0,79	100,0	6,78
CF1?	Pont-du-Cl	scories to	?	PdC téph	52,0	17,5	9,8	0,21	3,46	7,35	4,39	2,53	1,88	0,84	100,0	6,92
CF1a	Sarliève	scories	CRPG	SP3 CF1	50,3	18,5	9,2	0,17	2,52	9,57	4,41	2,52	1,87	0,94	100,0	6,93
Téphra de	Sarliève	roche tot	CRPG	SP3 CF5	65,0	17,0	3,2	0,14	1,10	2,66	5,27	4,91	0,47	0,18	100,0	10,19
CF5	Gerzat	roche tot	CRPG	Gerzat Cl	65,7	17,3	3,4	0,13	0,99	1,77	5,12	4,79	0,55	0,25	100,0	9,92
CF5	Gerzat 202	roche tot	?	Gerzat Cl	67,1	17,1	2,7	0,14	0,79	1,65	5,06	4,72	0,54	0,18	100,0	9,79
CF7 ?	Nohanent-	frag trach	C360C	404528	64,4	18,3	2,9	0,20	0,76	1,75	6,39	4,69	0,40	0,12	100,0	11,08
CF6 ?	Les 4 route	scories	PG 905	CLER653	48,8	17,2	12,1	0,21	4,26	7,77	4,14	2,31	2,32	0,96	100,0	6,44

Figure 37 : Tableau regroupant les nouvelles analyses géochimiques (majeurs). Données corrigées de la perte au feu et ramenées à 100 %.

Le «téphra de la Nugère», défini par Juvigné (1993), possède une composition chimique compatible avec le domaine de variation du téphra CF1a. Son cortège de minéraux lourds est également comparable avec ceux de CF1a. Nous proposons de corréliser le téphra de la Nugère avec CF1a.

En 1995, sur la base de sa composition chimique et de son association de minéraux mafiques, un téphra (T875), découvert dans les sédiments du Gour de Tazenat, est rattaché à la retombée de Cellule (Juvigné et Bastin, 1995). En réalité, sa composition chimique est plus proche de celle du téphra CF1a que de celle de la retombée de Cellule. De plus, sa position dans l'Alleröd le rapproche plus de CF1a que de la retombée de Cellule qui est elle nettement située dans le Dryas ancien. Enfin, sa composition minéralogie, bien qu'assez riche en clinopyroxènes verts, n'est pas incompatible avec celles qui sont observées pour CF1a. Sur la foi des ces données, il nous paraît judicieux de rattacher T875 du Gour de Tazenat au téphra CF1a.

En résumé, nous proposons de retenir dorénavant seulement quatre dénominations pour les recouvrements téphriques distaux attribués au puy de La Nugère :

- La retombée de La Moutade,
- Le téphra CF1a,
- Le téphra CF1b,
- La retombée supérieure de Gimeaux.

2.4.3.3 - Corrélation entre les phases éruptives et les recouvrements téphriques distaux (Figure 36) :

Les 6 analyses de « scories basiques de l'épisode pyroclastique » (période trachy-andésitique, phase explosive, Nouvelle Nugère) forment un ensemble qui se superpose assez bien avec le domaine de variation du téphra CF1a. Le domaine de variation de la retombée de La Moutade est également proche de cet ensemble avec des teneurs en silice comparables (entre 52 % et 54 %). Nous proposons donc de rattacher ces deux recouvrements téphriques (téphra CF1a et retombée de La Moutade) à la phase explosive de la période trachy-andésitique (Nouvelle Nugère) qui correspond à la mise en place d'un vaste cratère proche du type maar avec des dépôts très rythmés de type «déferlantes basales».

Comme nous l'avons montré ci-dessus (cf. 3.6), la caractéristique principale du téphra CF1b est la présence de deux types de scories qui montre qu'un mélange de magma s'est produit durant l'épisode éruptif responsable de l'émission de ce téphra. Durant la phase explosive de la période trachy-andésitique (Nouvelle Nugère), il existe tous les stades de mélange de magma dans les produits observés sur l'édifice (Gourgaud et Camus, 1984). Il est remarquable de constater qu'une analyse géochimique effectuée sur une zone de diffusion à l'interface entre du matériel acide et du matériel basique donne une composition qui se place parfaitement dans le domaine de variation de la composition du téphra CF1b. CF1b peut donc être rattaché à la phase explosive de la période trachy-andésitique (Nou-

velle Nugère) et il représente l'exemple parfait de produits pyroclastiques issus d'une phase éruptive au cours de laquelle a eu lieu un mélange de magma.

Les téphras de La Moutade, CF1a et CF1b possèdent des aires de dispersions importantes (Figure 38) :

- vers le Nord-Est pour la retombée de La Moutade,
- vers l'Est et le Sud pour le téphra CF1a,
- vers le Nord-Est, l'Est et le Sud pour le téphra CF1b.

Les épaisseurs (et donc les volumes) de cendres du complexe téphrique CF1a/CF1b en Limagne sont élevées ; par exemple, rue Jules Verne au Brézet à Clermont-Ferrand (soit à 15 km au Sud-Est du point d'émission), l'épaisseur de CF1a/CF1b atteint 0,45 m (soit 4 500 m³ de cendres à l'hectare !). L'importance (en aire de dispersion et en volume de matériaux déposés) de ces téphras plaide pour qu'ils soient issus d'une éruption importante possédant un caractère explosif dominant. La phase explosive de la période trachy-andésitique (Nouvelle Nugère) de l'histoire éruptive du puy de La Nugère, à laquelle nous rattachons ces téphras, correspond bien à un dynamisme paroxysmal phréatomagmatique, comparable à celui des maars acides par la violence des explosions.

La découverte récente de deux cryptotéphras (LT2 et LT3) dans des sites du Jura et du Plateau Suisse, qui précèdent le Laacher See Tephra et possèdent des âges Alleröd (Walter-Simonnet *et al.*, 2008), amène les découvreurs à les rattacher au complexe CF1a/CF1b et à la retombée de la Moutade malgré l'absence de donnée géochimique due à l'altération importante des échardes de verre. Ce « couple de cryptotéphras » marqueur de l'Alleröd dans le Jura et le Plateau Suisse rappelle fortement le complexe CF1a/CF1b qui, d'après nos observations régionales, semble posséder une capacité d'extension nettement plus forte que celle de la retombée de la Moutade. Nous proposons donc de voir en ces deux cryptotéphras l'extension maximale du lobe de dispersion oriental du complexe téphrique CF1a/CF1b. La large dispersion vers l'Est (Jura et Plateau Suisse) de CF1a et CF1b confirme la puissance de la phase explosive paroxysmale du Puy de la Nugère. Les téphras CF1a et CF1b deviennent les marqueurs de cette phase paroxysmale aussi bien régionalement qu'à une échelle beaucoup plus vaste. Leur positionnement dans l'Alleröd aussi bien dans les séquences palustres de Limagne que dans les tourbières orientales et méridionales du Massif central français et maintenant dans les séquences lacustres du Jura et du Plateau Suisse permet de les considérer comme des repères caractéristiques de cette période à l'échelle de l'Europe occidentale.

Un ensemble de huit analyses, issues de produits (coulée de La Nugère, Lac de lave, produits effusifs terminaux, coulée du puy de Louve), se superpose assez bien avec le domaine de variation de la retombée supérieure de Gimeaux. Ces produits appartiennent tous à la période trachy-andésitique, phase effusive terminale. Nous proposons donc de voir en la retombée supérieure de Gimeaux le témoin distal de la phase effusive terminale du puy de la Nugère. Cette phase effusive terminale est la seule directement datée sur l'édifice (plus exactement sur la coulée de Volvic) autour de 10 900 ans par TL. Les dates et les relations stratigraphiques observées pour les téphras distaux sont en bon accord avec cette date ; en effet, les téphras les plus anciens sont CF1a et la retombée de La Moutade

puis stratigraphiquement nous avons la succession suivant e CF1a, CF1b et la retombée supérieure de Gimeaux.

2.4.4 - Conclusion :

La reprise de l'ensemble des données disponibles sur le puy de la Nugère (édifice et produits distaux) permet de proposer une vision assez complète de l'histoire de ce volcan dont l'édification a lieu durant la fin du Tardiglaciaire et le début de l'Holocène, période où les derniers chasseurs magdaléniens et les premiers chasseurs-cueilleurs mésolithiques fréquentent le massif Central. Ils sont les témoins d'une des périodes les plus agitées de la Chaîne des Puys, soit entre 14 000 ans et 8 000 ans avant nous (Alleröd, Dryas récent, Préboréal et Boréal). Leur horizon est largement modifié, en particulier avec la mise en place du plus imposant des puys : le Puy de Dôme. Leur environnement est dégradé par la dispersion de produits pyroclastiques distaux issus d'événements dévastateurs (par exemple, l'éruption du puy Chopine).

L'histoire éruptive de La Nugère reste aujourd'hui la même que celle établie dans les années 1974-1975 par Guy Camus et l'on manque encore cruellement de données pour les phases anciennes. L'absence totale de calage chronologique et d'analyse géochimique sur ces phases anciennes, données comme étant en totalité de nature basaltique, pose un problème pour le rattachement de la retombée de Cellule à cet édifice. Nous proposons de ne plus rattacher la retombée de Cellule au puy de La Nugère jusqu'à une reprise de l'étude des phases anciennes de cet édifice.

Il est maintenant possible de proposer des regroupements afin de réduire le nombre des appellations utilisées pour les téphras distaux. Jusqu'à présent, les chercheurs avaient donné un nom nouveau à chacune des nouvelles cendres repérées, il est tant d'uniformiser et de simplifier la téphrostratigraphie des produits issus du Puy de La Nugère. Au départ, nous avons huit téphras potentiellement rattachés à ce volcan : Téphra de la Nugère, Téphra T4 de la Godivelle , Téphra T875 de Tazenat, La retombée de Cellule, Téphra CF1a, Téphra CF1b, La retombée de la Moutade et La retombée supérieure de Gimeaux. Nous proposons de retenir seulement quatre dénominations :

- La retombée de La Moutade,
- Le Téphra CF1a,
- Le Téphra CF1b,
- La retombée supérieure de Gimeaux.

Chacun de ces téphras peut être rattaché à une phase éruptive du puy de La Nugère. L'ensemble de ces quatre téphras est issu des phases finales trachyandésitiques de ce volcan.

Les trois premiers téphras (retombée de La Moutade, Téphra CF1a et Téphra CF1b) sont corrélés à la phase explosive paroxysmale qui voit l'édification d'un vaste cratère explosif (Nouvelle Nugère) dans lequel s'installe un lac de lave. La retombée de La Moutade et le Téphra CF1a sont les plus anciens et les plus basiques (trachyandésites basaltique), alors que CF1b légèrement plus récent est plus riche en silice (trachyandésites) et présente les

preuves d'un mélange de deux magmas. Cet enrichissement en silice et ces mélanges de magmas au cours du temps sont des constatations réalisées sur les produits proximaux. Ces téphras (en particulier CF1a/CF1b) possèdent de vastes aires de dispersion ce qui est en bon accord avec une origine liée à une phase éruptive présentant un dynamisme explosif paroxysmal.

Le vaste lobe de dispersion oriental (Figure 38) (jusqu'au Plateau Suisse et dans le Jura) du complexe téphrique CF1a/CF1b confirme la puissance de la phase explosive paroxysmale du Puy de la Nugère et fait de CF1a et CF1b les marqueurs de cette phase paroxysmale, aussi bien régionalement qu'à une échelle plus vaste. Enfin, ils sont des marqueurs caractéristiques de l'Alleröd aussi bien dans les séquences palustres de Limagne que dans les tourbières orientales et méridionales du Massif central français et aussi dans les séquences lacustres du Jura et du Plateau Suisse.

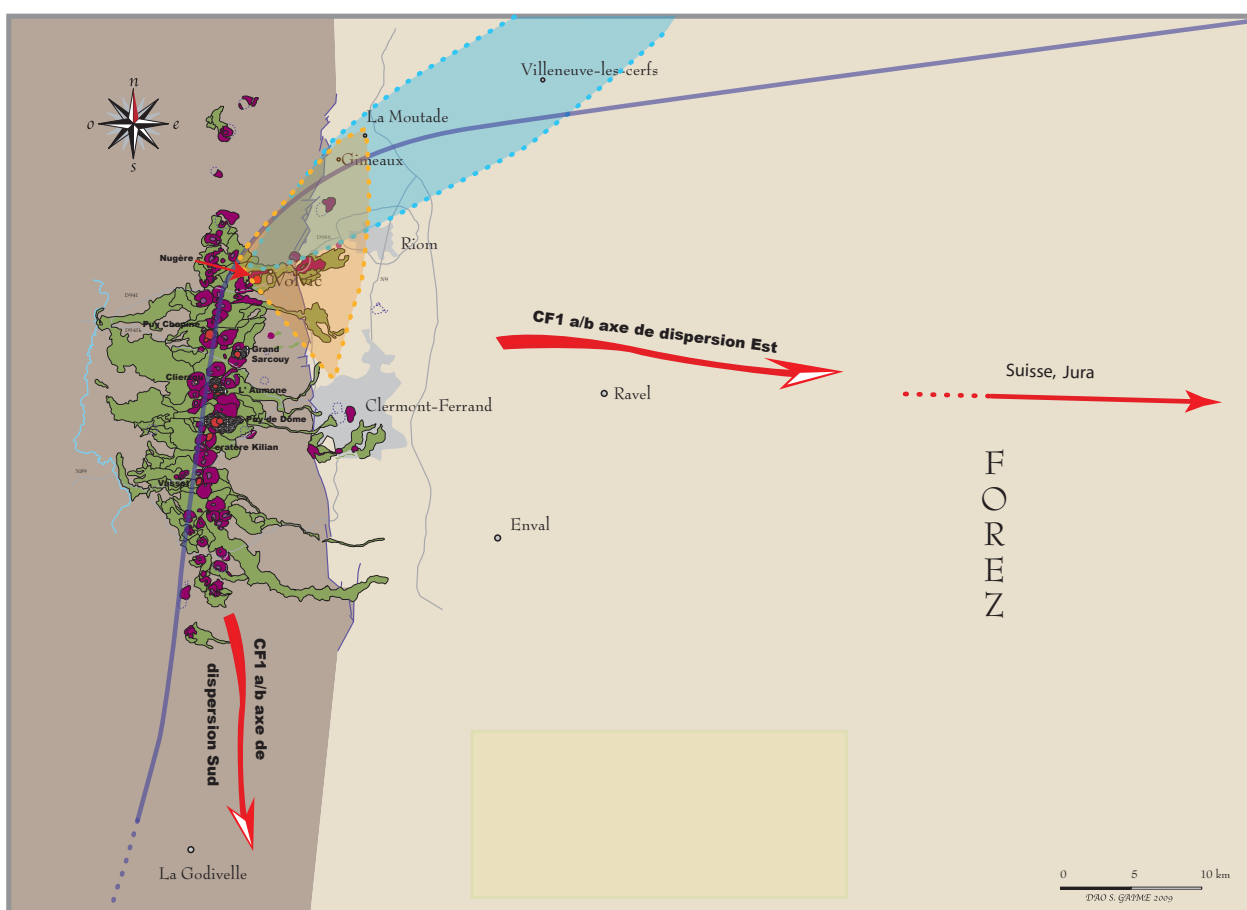


Figure 38 : Lobes de dispersion des produits pyroclastiques issus du puy de La Nugère : CF1a/b, Retombée de La Moutade (lobe bleue) et Retombée supérieure de Gimeaux (lobe orange).

La composition géochimique de la retombée supérieure de Gimeaux permet de la rapporter à la phase effusive terminale (puy de Louve) qui voit le débordement du Lac de Lave et

l'édification de cônes (puy de Louve) et la mise en place de coulées (coulée de Volvic). Ce téphra possède une aire de dispersion réduite (Figure 38) ce qui est en bon accord avec un dynamisme effusif qui, de façon classique, s'accompagne d'un panache cendreuse moins important que lors d'une éruption à dynamisme explosif. Il s'agit du téphra le plus récent et le plus riche en silice. L'augmentation du taux de silice reconnue dans les produits proximaux de la Nouvelle Nugère se retrouve donc à l'identique dans les produits distaux, passant de 51,36 % à 60,07 %.

2.4.5 - Références :

Bastin B., Gewalt M., Juvigné E (1990) – À propos de l'âge et de l'origine des téphras tardiglaciaires T4 et T5 de Godivelle-Nord. *Ann. de la Soc. Géol. de Belgique*, T.113 (fascicule 2) – 1990, 165-178.

Beaulieu J.L. de, Pons A., Reille M. (1982) – Recherches pollenanalytiques sur l'histoire de la végétation de la bordure nord du Massif du Cantal (Massif Central, France). *Pollen et Spores*, 24 (2), 251-299.

Bentor Y.-K. (1954) – La Chaîne des Puys (Massif Central français). Recherches géologiques et pétrographiques. *Bull. Serv. Carte Géol. France*, 242, Tome LII, 373-806.

Boivin P., Besson J.-C., Briot D., Camus G., Goër de Herve A. de, Gourgaud A., Labazuy P., Langlois E., Larouzière F.-D. de, Livet M., Mergoïl J., Miallier D., Morel J.-M., Vernet, Vincent P. M. (2009) - *Carte Volcanologique de la Chaîne des Puys Massif Central Français au 1/25 000*, 5^{ème} édition, Éditée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, Château de Montlosier, 63970 Aydat, 120X90 cm.

Boivin P., Besson J.-C., Briot D., Camus G., Goër de Herve A. de, Gourgaud A., Labazuy P., Langlois E., Larouzière F.-D. de, Livet M., Mergoïl J., Miallier D., Morel J.-M., Vernet, Vincent P. M.(2009) – *Volcanologie de la Chaîne des Puys Massif Central Français, Volcanology of the Chaîne des Puys*, 5^{ème} édition, Éditée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, Château de Montlosier, 63970 Aydat, (avec la participation de Jannot S. et Raynal J.-P.), 196 p.

Buch L. von (1819) – Observations sur les volcans d'Auvergne. *J. Mines*, 13, 249-256.

Brousse R., Rudel A. (1973) - Activité paroxysmale de la Chaîne des Puys à 10 000 ans. *Bulletin historique et scientifique de l'Auvergne*, T LXXXVI, n° 636, 1-11.

Camus G. (1974) – Une nouvelle interprétation des puys de Pariou et de la Nugère (Chaîne des Puys, Massif Central français). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 279, Série B, 141-144.

Camus G. (1975) – *La Chaîne des Puys. Étude structurale et volcanologique*. Doctorat d'État, Université Blaise Pascal – Clermont II, 321 p.

Camus G., Roche J. (1974) – Étude volcanologique du Puy de la Nugère. *Rev. D'Auvergne*, 88, 2, 193-201.

Etlicher B., Janssen C., Juvigné E., Van Leeuwen J.F.N. (1987) - Le Haut Forez (Massif Central, France) après le pléniglaciaire würmien: environnement et tephra du volcan de la Nugère. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire* , 4, 229-239.

Gewelt M., Juvigné E (1988) – Téphrochronologie du tardiglaciaire et de l'Holocène dans le Cantal, le Cézallier et les Monts Dore (Massif Central, France) : résultats nouveaux et synthèse. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 1988-1, 23-32.

Glangeaud P. (1913) – Les régions volcaniques du Puy-de-Dôme II – La Chaîne des Puys et la petite Chaîne des Puys. *Bull. Serv. Carte Géol. France*, 135, XXII.

Gourgaud A., Camus G. (1984) – Magma mixing at La Nugère (Chaîne des Puys, Massif Central, France). Role in trachyandesite genesis. *Bull. Volcanol.*, 47, 4, 781-805.

Guerin G. (1983) - *La thermoluminescence des plagioclases. Méthode de datation du Volcanisme. Application au domaine volcanique français : Chaîne des Puys, Mont-Dore et Cézallier, Bas Vivarais*. Thèse de Doctorat d'État, Univ. P. et M. Curie, Paris, 253 p.

Juvigné E. (1987) Deux retombées volcaniques tardiglaciaires dans le Cézallier (Massif Central, France). *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire* , 1987-4, 241-249.

Juvigné 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. *C. R. Acad. Sc. Paris*, tome 312, Série II, 415-420.

Juvigné E. (1992) - Distribution of widespread Late Glacial and Holocene tephra beds in the French Central Massif. *Quaternary international*, 13/14, 180-185.

Juvigné E. (1993) - *Contribution à la téphrostratigraphie du Quaternaire et son application à la géomorphologie*. Mémoire pour servir à l'Explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique. n° 36, 66 p. Bruxelles.

Juvigné E., Gewalt M. (1987) - La Narse d'Ampoix comme téphrostratotype dans la Chaîne des Puys méridionale (France). *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire* , 1, 37-49.

Juvigné E., Lousberg N., Gewalt M. (1987) - Evolution morphosédimentaire de la Narse d'Espinasse. *Revue des Sciences naturelles de l'Auvergne*, 53, 7-14, Clermont-Ferrand.

Juvigné E., Kroonenberg S.B., Weldkamp A., El Arabi 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.

Juvigné E., Bastin B. (1995) – Le Gour de Tazenat et l'évolution de l'environnement du Tardiglaciaire au Boréal dans la Chaîne des Puys septentrionale (Massif Central, France). *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 321, série II a, 1995, 993-999.

Kroonenberg S.B., Van Den Berg Van Saparoea R.M., Jonker A.T.J. (1987) – Late Glacial and Holocene development of semi-closed dépressions (thaw lakes ?) in the Limagne Rift Valley, French Central Massif. *Geologie & Mijnbouw*, 66/4, 297-311.

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, Tulsa.

Le Maitre R. W. (2002) – *IUGS, classification of igneous rocks and glossary : recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*, 236 p.

Lenselink G., Kroonenberg S.B., Loison G. (1990) – Pleniglacial to Holocene paleo-environments in the Artière basin in the western Limagne Rift Valley, Massif Central, France. *Quaternaire*, 2, 131-148.

Montlosier F.-D. de (1788) – *Essai sur la théorie des volcans d'Auvergne*. 2^{ème} édition Landriot, 1802, Riom, in-8°, 134 p.

Raynal J.-P., Daugas J.-P., Pelletier H. (1979) – Études quaternaires en grande Limagne d'Auvergne, II : Les dépôts de versant du Creux-Rouge, commune de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme). *Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat. Lyon*, Fasc. 17, 87-95.

Raynal J.P., Vernet J.P., Fain J., Miallier D., Montret M., Pilleyre T., Sanzelle S., Daugas J.P. (1994) - Téphrostratigraphie et préhistoire des 160 derniers millénaires en Limagne d'Auvergne (Massif Central, France). *Bulletin de la Société préhistorique française*, t. 91, n°2, 149-157.

Raynal J.-P., Vernet G., Daugas J.-P. (2003) - Evolution récente de la Limagne d'Auvergne (France) : impacts du volcanisme et aspects des peuplements humains au Tardiglaciaire et à l'Holocène, in *Climatic-environmental variations and impact on Man in the circum-mediterranean area during the Holocene, Territorio storico ed ambiente 3*, a cura di Claude Albore Livadie e Franco Ortolani, Edizioni Edipuglia, Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali , Ravello, 461- 475.

Vernet G., Paquereau M. M. (1986) – Le cours moyen de la Morge (Puy-de-Dôme) au Pléistocène : éléments de chronologie et de paléoenvironnement. 11^e R.S.T. Clermont-Ferrand, 1986, *Soc. géol. de France*, p. 181.

Vernet G., Paquereau M. M. (1991) – Le cours moyen de la Morge et de ses affluents (Puy-de-Dôme, France) au Pléistocène : éléments de chronologie et de paléoenvironnement. In : Datation et caractérisation des milieux pléistocènes. Actes des symposiums 11 et 17 de la 11^e R.S.T. Clermont-Ferrand, 1986, *Cahiers du Quaternaire*, 16, 431-449.

Vernet G., Raynal J.P., Miallier D., Pilleyre T., Fain J., Sanzelle S., Montret M. (1990) - La retombée de la Moutade, marqueur stratigraphique de l'Allerød en Limagne septentrionale (Massif Central, France). *C. R. Acad. Sci. Paris* , t. 310, série II, 1077-1082.

Vernet G. (1992) - *Message du volcanisme régional dans les formations quaternaires de Limagne occidentale (Massif central français). Minéraux denses et retombées.* Thèse de l'Université de Bordeaux 1, n° 724, 335 p.

Vernet G., Raynal J.P. (1995) - La Tephra des Roches, marqueur du volcanisme contemporain de la fin du Magdalénien dans le Massif Central français. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 321, série IIa, 713-720.

Vernet G., Raynal J.P., Fain J., Miallier D., Montret M., Pilleyre T., Sanzelle S. (1998) - Tephrostratigraphy of the last 160 Ka in Western Limagne (France). *Quaternary International*, vol. 47/48, 139-146.

Vernet G., Raynal J.-P. (2000a) - Un cadre téphrostratigraphique réactualisé pour la préhistoire tardiglaciaire et holocène de Limagne (Massif central, France). *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes*, 330(2000), 399-405.

Vernet G., Raynal J.-P. (2000b) – Hommes et volcans en Basse-Auvergne préhistorique. in *Nouvelles archéologiques, Du terrain au laboratoire...*, *Revue d'Auvergne*, n°554-555, 76-87.

Vernet G., Raynal J.-P. (2001) - Tephrostratigraphy of Limagne revisited. Implications for the Last Glacial and Holocene Prehistory. In *Tephros, chronology, archaeology*, ss la dir. de E. Juvigné et J.P. Raynal, Les dossiers de l'Archéo-Logis n°1, CDERAD éd., Goudet, juillet 2001, 111-116.

Vernet G. (2004) - Les éruptions holocènes de la Chaîne des Puys et le peuplement mésolithique et néolithique ancien en Basse Auvergne (Massif central, France). *Préhistoire du sud-ouest 2004-supplément n°9 : 5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002*, 17-24.

Vivend D., Vernet G. (2001) – Apport de la palynologie à l'étude des retombées volcaniques tardiglaciaires et holocènes de la Chaîne des Puys enregistrées en Limagne (France). In *Tephros, chronology, archaeology*, ss la dir. de E. Juvigné et J.P. Raynal, Les dossiers de l'Archéo-Logis n°1, CDERAD éd, Goudet, 255-262.

Walter-Simonnet A.-V., Bossuet G., Develle A.-L., Bégeot C., Ruffaldi P., Magny M., Adatte Th., Rossy M., Simonnet J.-P., Boutet J., Zeiller R., Beaulieu J.-L. de, Vannièrre B., Thivet M., Millet L., Regent B., Wackenheim Ch. (2008) – Chronologie et spatialisation de retombées de cendres volcaniques tardiglaciaires dans les massifs des Vosges et du Jura, et le Plateau Suisse. *Quaternaire*, 19, (2), 2008, 117-132.

2.5 - les téphras distaux de la Chaîne des Puys, nouvelles données :

Depuis 1992, année de ma thèse, les opportunités d'observation de séquences sédimentaires, en particulier en Limagne, ont été nombreuses. Le suivi systématique des sondages réalisés dans le cadre de l'archéologie préventive les a fortement augmenté. Certaines opérations ont été réfléchies, dès leur initialisation, avec un volet « paléoenvironnement » qui devait permettre la prise en compte des données de géologie du Quaternaire ; L'opération réalisée dans le bassin de Sarliève, avant la réalisation de la Grande Halle d'Auvergne et du Zénith, est un exemple particulièrement démonstratif (rapport final d'opération INRAP, Vernet [sous la dir.], 2005). Elle a non seulement permis la reconstitution de l'histoire du paléo-lac de Sarliève (Trement [sous la dir.], 2007) mais aussi l'observation de téphras connus (CF1) et la découverte d'un nouveau téphra, le Téphra de Sarliève (Miallier *et al.*, 2004 ; Fourmont *et al.*, 2006).

2.5.1 - Nouveaux téphras : Formation de Marsat, CF7, Téphra Y, Téphra de Sarliève, et Téphra Z :

2.5.1.1 - La Formation de Marsat :

La formation de Marsat a été identifiée en 1995, lors de la construction d'un ouvrage de rétention des crues, sur la commune de Marsat, au lieu-dit Les Pradelles. À l'emplacement du site, elle surmonte deux niveaux archéologiques (niveaux 5.2 et 5.3, Figure 39). L'un des niveaux archéologiques a été fouillé sur dix mètres carrés ce qui a permis de reconnaître les restes d'un campement de chasseurs de la fin des temps glaciaires, établi sur la berge d'un cours d'eau et recouvert par les produits du Puy Chopine (Vernet et Raynal, 2000b ; Vernet *et al.*, 2001b). Les outils de pierre taillée sont peu nombreux et fabriqués dans des silex locaux. La faune des Pradelles ne comprend pratiquement que des restes de *Bos primigenius*. La présence de charbons de bois et d'ossements brûlés atteste que l'on se trouve sans doute à la périphérie d'une zone d'activité. La conservation des vestiges organiques (feuilles, bois) en fait un site exceptionnel de la fin des temps glaciaires au pied des volcans (Vernet, 2004).

La formation de Marsat est constituée de trois unités. De bas en haut on distingue (Figure 39) :

- un niveau compact et homogène de couleur beige contenant de très nombreux fragments anguleux, centimétriques à pluricentimétriques, de trachyte blanc frais, et de nombreuses empreintes de végétaux, feuilles et brindilles. Localement, cette unité (niveau 4) se termine par une mince lamine pouvant représenter une retombée directe de produits fins. Les fragments de trachyte présentent une composition minéralogique à sphènes. Il s'agit indiscutablement d'un trachyte de la Chaîne des Puys, provenant du Chopine ou du Sarcouy. L'analyse chimique (69,36 % de SiO₂) (Le Bas *et al.*, 1986) exclut le Sarcouy et confirme le puy Chopine comme volcan émetteur. Cette première unité représente donc une manifestation de l'éruption trachytique du puy Chopine, arrivée en Limagne selon l'axe de drainage que représente le ruisseau de Mirabel, sous la forme d'une coulée boueuse synéruptive (flow) de type lahar primaire,

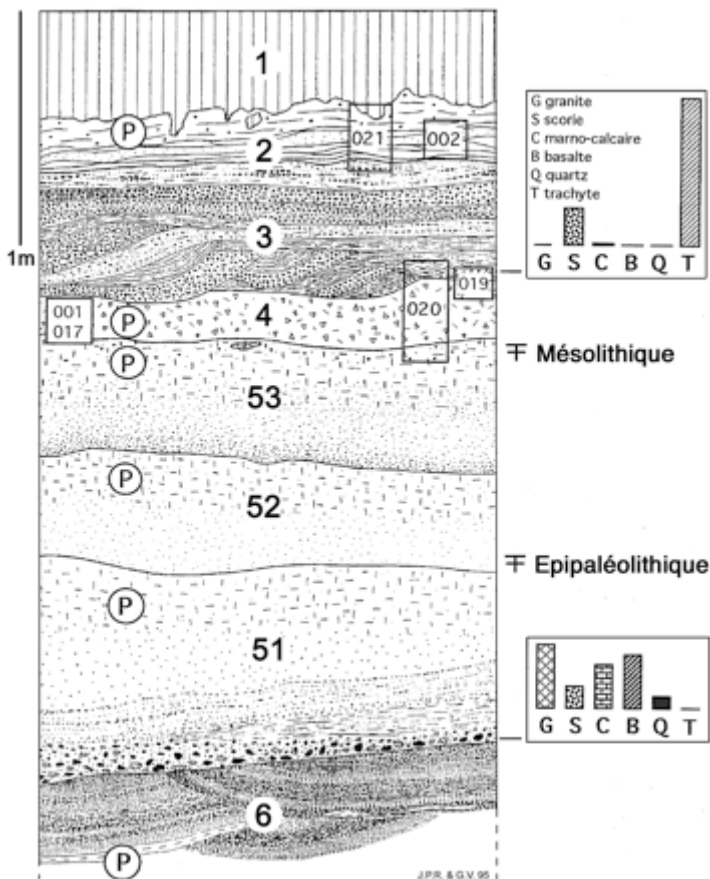


Figure 39 : Séquence téphro-sédimentaire du site préhistorique de Marsat-Les Pradelles.

- une seconde unité (niveau 3) repose sur la précédente par une discordance de ravinement fortement marquée sous la forme d'un chenal en U, à berges raides (40° à 55°), d'une largeur moyenne de 7 mètres et d'une profondeur d'au moins 3 mètres. Ce chenal est comblé de matériaux très grossiers, composés quasi exclusivement de galets décimétriques de trachyte dans une matrice de graviers également de nature trachytique. Plusieurs troncs d'arbres profondément ferruginisés étaient visibles à la base de ce chenal. Cette unité représente la réorganisation du réseau de drainage après l'invasion de la paléo-vallée du ruisseau de Mirabel par les produits du début de l'éruption trachytique du Puy Chopine. Ce phénomène est assimilable à un lahar secondaire.

- la troisième unité (niveau 2) est composée de matériel fin trachytique (68,99 % de SiO₂), organisé en fines lamines qui représentent des retombées (fall) de panache éruptif vanées.

Ces trois unités, qui constituent la *Formation de Marsat*, représentent donc un détail nouveau dans les processus éruptifs du puy Chopine, en position distale orientale, différent de celui des nuées pyroclastiques habituellement rencontrées sur le plateau des Dômes, en position plus proximale. Les produits trachytiques présents à Marsat-Les-Pradelles proviennent sans ambiguïté du puy Chopine. Leur composition chimique est très proche de celle de la lave de l'aiguille terminale de cet édifice, mais également de celle des fragments de lave juvénile du premier recouvrement des phases éruptives de ce même édifice identifié à Saint-Ours (Vernet *et al.*, 2001b).

La datation de la mise en place de la formation de Marsat est assurée par une nouvelle datation ¹⁴C de 8 465 ± 70 BP (ARD 1516) obtenue sur des charbons de bois provenant de la base des produits proximaux du Puy Chopine à Saint-Ours-les-Roches : elle confirme les âges précédemment obtenus pour cette éruption et fixe également un âge minimum pour les niveaux archéologiques sous-jacents.

Le faciès de l'unité de base de la formation de Marsat caractérise une coulée boueuse syn-éruptive, identifiée à plus de 11 km de son volcan-source. Les études réalisées sur le site de Marsat et sur les produits proximaux de l'éruption du puy Chopine à Saint-Ours (Vernet *et al.*, 2001b) nous permettent de proposer que la coulée boueuse de Marsat corresponde à un faciès distal d'une des coulées pyroclastiques observées en position proximale. Nous avons pu observer le changement de nature d'une même formation (passage progressif d'une coulée pyroclastique à une coulée boueuse) sur des volcans italiens comme le Vésuve et le Vulture (Vernet *et al.*, 1999). Cette variation latérale de faciès est due en particulier à la diminution de la température, le passage de l'eau de l'état gazeux à l'état liquide. Dans les produits issus du puy Chopine, on note la présence de nombreux fragments calcinés de branches en position proximale (à Saint-Ours), alors qu'en position distale (à Marsat) les fragments de végétaux (branches et feuilles) ne sont pas calcinés (pas de conservation, exclusivement des empreintes). L'absence de vésicules dans les sédiments de la coulée de Marsat montre qu'il ne restait plus d'eau à l'état gazeux lors du dépôt du matériel pyroclastique. On note l'absence de gros éléments charriés dans le corps de la coulée ce qui traduit la faible compétence de celle-ci lors de son arrivée dans la vallée du ruisseau de Mirabel. En revanche, à Saint-Ours, la présence de fragments de troncs, de branches et de fragments d'écorces met en évidence une destruction importante du couvert végétal sur le plateau des Dômes. C'est pour le moment le seul exemple de coulée boueuse décrite avec une extension aussi importante pour un édifice de la Chaîne des Puys et mise en corrélation avec des produits de coulées pyroclastiques présents en position proximale.

Le faciès de la seconde unité de la formation de Marsat permet de la rattacher à un dépôt de type torrentiel. Il résulte d'un phénomène de type catastrophique visant à rétablir le drainage dans la vallée du ruisseau de Mirabel qui avait été fortement perturbé par la mise en place de la coulée boueuse. Ces écoulements torrentiels ont été violents. Le ravinement a été intense avec la création de chenaux de plusieurs mètres de profondeur. Ils ont également détruit la végétation et en particulier les arbres présents dans la vallée ; on note la présence de nombreux troncs charriés dans les chenaux (diamètres des troncs observés de l'ordre de 0,50 à 0,60 m).

La troisième unité de la formation de Marsat montre que l'éruption du puy Chopine a également engendré la formation de panaches éruptifs de cendres qui se sont développés vers l'Est. L'épaisseur de ces dépôts cendreux (en moyenne 0,30 m) permet de calculer que la Limagne dans la zone de Riom a dû recevoir environ 3 000 mètres cubes de cendres trachytiques à l'hectare ce qui n'est pas négligeable et a forcément perturbé les paléoenvironnements. Une perturbation des cortèges palynologiques a été démontrée pour des recouvrements estimés plus réduits, par exemple pour le téphra CF5 (Vivent et Vernet, 2001).

L'importance et la nature des dépôts éruptifs du puy Chopine découverts à Marsat changent de façon radicale la vision que les volcanologues avaient jusqu'à présent des éruptions trachytiques de la Chaîne des Puys : nul n'imaginait qu'une coulée boueuse syn-éruptive ait affecté la Limagne, vers 8500 ans BP. L'impact de l'éruption du puy Chopine sur les environnements en position distale est ici particulièrement démonstratif. En effet, la coulée boueuse ennoie et colmate la vallée du ruisseau de Mirabel à son débouché sur la plaine de la Limagne (Figure 40).

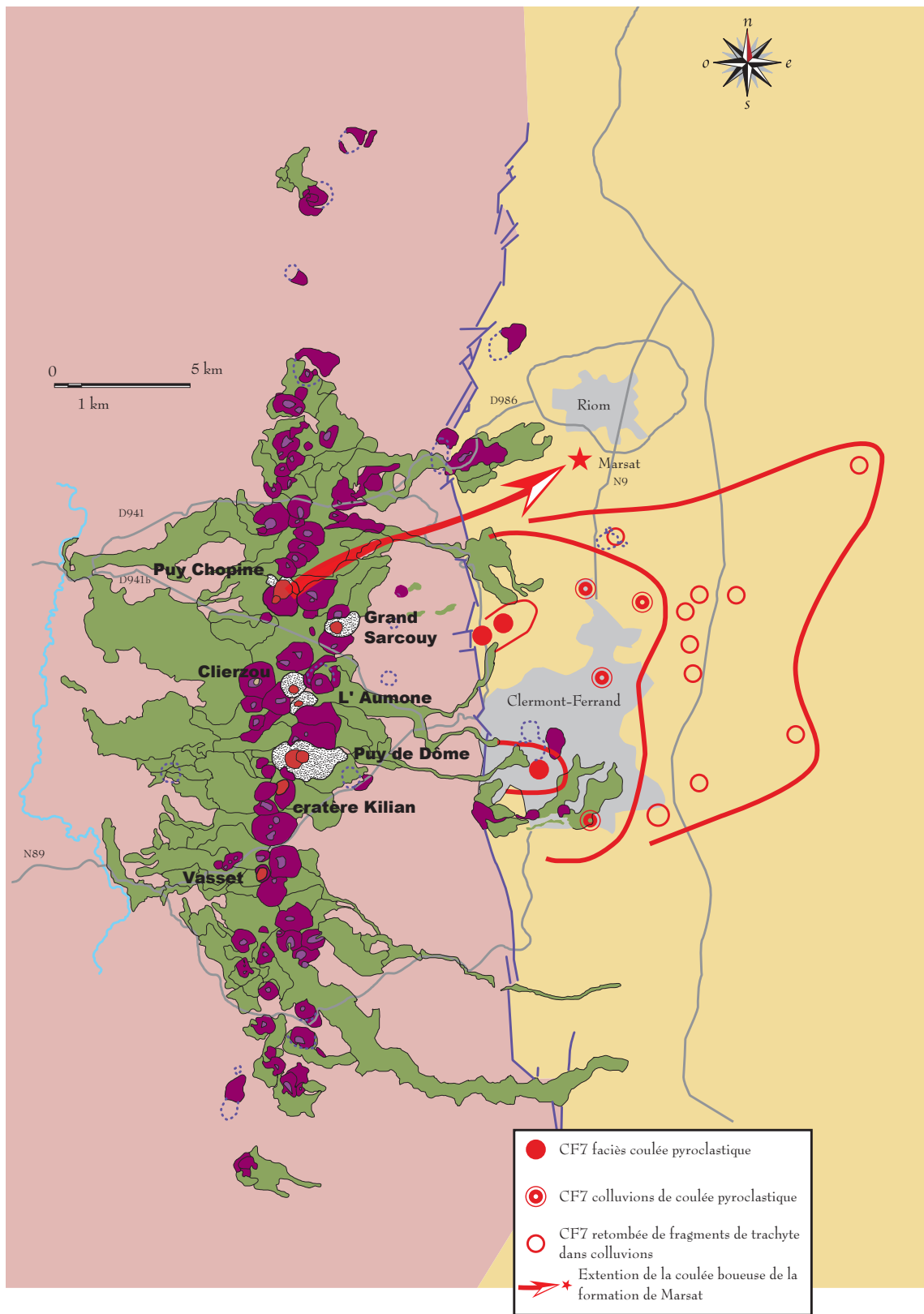


Figure 40 : Extension de la Formation de Marsat et de CF7 en Limagne.

Elle fossilise au passage un campement mésolithique établi en bordure du ruisseau. Le drainage naturel est alors totalement perturbé. La réorganisation du réseau de drainage intervient de façon catastrophique par la création de chenaux comblés d'alluvions torrentielles (composées exclusivement de blocs et galets de trachyte) qui charrient des troncs d'arbres, témoins de la destruction de la végétation par les phénomènes éruptifs. Enfin, la vallée est recouverte par au moins trente centimètres de cendres de retombées de panache éruptif vannées. Ce dernier événement perturbe encore le drainage de cette vallée et plus largement la végétation de la Limagne. Il est clair que ce secteur de plaine se trouve alors temporairement dégradé, voire inhospitalier. Il faut garder à l'esprit que la même éruption a anéanti le couvert végétal sur le plateau des dômes sur une surface importante centrée sur le puy Chopine (cf. recouvrement trachytique du puy Chopine sur la carte de la Chaîne des Puys, Boivin *et al.*, 2004a). Ces recouvrements proximaux (dépôts de déferlantes basales) sont constitués d'au moins quatre nappes de recouvrement (Vernet *et al.*, 2001b) :

- Nappe 1 : activité explosive à cheminée ouverte (activité vulcanienne),
- Nappe 2 : explosion nettement phréatomagmatique,
- Nappe 3 : explosion phréatomagmatique moins violente,
- Nappe 4 : produits résultant d'un écoulement sous forme plus ou moins boueuse.

Ces nappes sont scellées par un dépôt de fragments trachytiques « moussus » qui évoque une retombée plinienne.

L'éruption du puy Chopine a donc engendré des écoulements qui ont atteint la Limagne (*Formation de Marsat*) au Nord-Est de l'édifice et dont l'origine est à rechercher dans les nappes de recouvrement 1 et 4 décrites en position proximale.

La mise en évidence d'une retombée plinienne à Saint-Ours au Sud de l'édifice confirme le caractère violent de cette éruption et nous proposons de rattacher à ce panache éruptif plinien le Téphra de la Taphanel (Juvigné, 1987), le plus largement dispersé vers le sud parmi les téphras tardiglaciaires et holocènes de la Chaîne des Puys (Juvigné, 1993).

En conclusion, la *Formation de Marsat* montre que l'éruption trachytique du Puy Chopine a été assez violente pour donner naissance à une coulée boueuse (lahar primaire) qui a atteint la Limagne à 11 km du point éruptif. L'impact distal de cette éruption sur les environnements est significatif. Son panache éruptif important était orienté vers le Sud : le téphra de la Taphanel (Juvigné, 1987) en résulte et forme le lobe de dispersion le plus important reconnu en Auvergne.

2.5.1.2 - Le téphra CF7 (ou téphra de la Rodde) :

Depuis 1997, de nombreuses coupes observées au Nord-Est, à l'est et au sud de Clermont-Ferrand, ont montré la présence de nodules de trachyte, soit dispersés dans des colluvions (niveau limoneux beige ou niveau argileux de type « terres noires » de Limagne) (Figure 41), soit associés à un niveau compact cendro-limoneux beige orangé. Ces éléments sont toujours en position stratigraphique terminale des retombées connues en Li

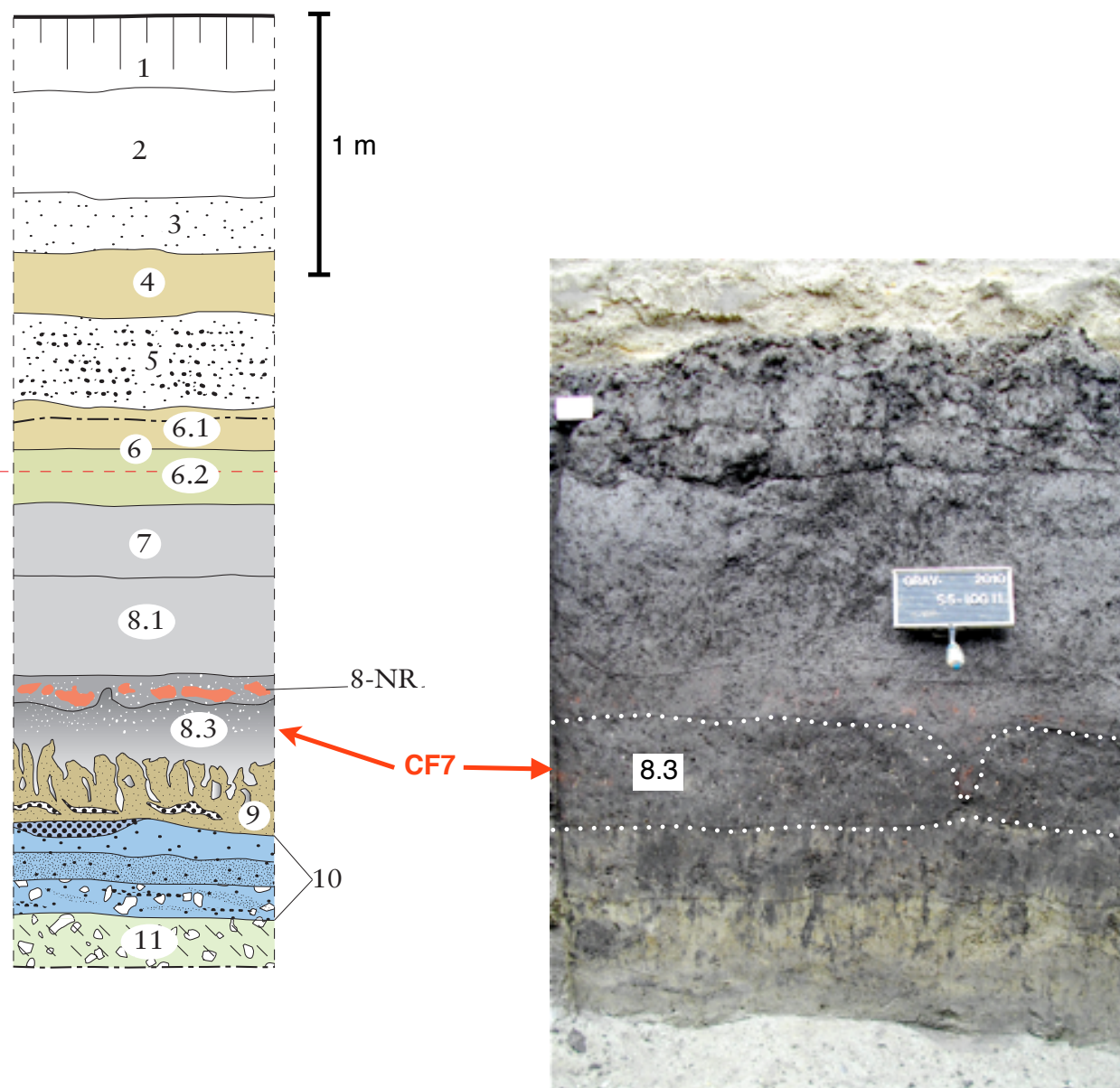


Figure 41 : Exemple de séquence sédimentaire de Limagne (zone des Gravanches à Clermont-Ferrand) où l'on observe un niveau (8.3) contenant de fragments anguleux de trachyte (CF7, faciès de retombée) à la base de colluvions argileuses (terres noires de Limagne).

magne et surmontent en particulier CF6 (attribué au Pariou) et CF5 (attribué au cratère Kilian ou au puy Vasset). Cette position stratigraphique nous conduit, en première analyse, à proposer un âge autour de 9500 ans pour le dépôt de ces éléments trachytiques (Vernet et Raynal, 2002). Signalons ici que sur le plateau des Dômes, au pied du Pariou et sur sa grande coulée orientale, un dépôt de déferlante contenant des éléments trachytiques de

même nature que ceux qui sont observés en Limagne, a été mis en évidence (Miallier *et al.*, 2004a), ce qui confirme donc un âge autour de 9 300 ans et une antériorité de l'éruption du Pariou par rapport au dépôt de ces éléments trachytiques (CF7 ou téphra de la Rodde). Le dépôt de déferlante observé sur la coulée du Pariou est attribué au cratère Kilian et l'analyse des charbons de bois découverts à sa base donne une date de 8815 ± 65 (LY-12117) (Miallier *et al.*, 2004b). En 2001, le téphra CF7 a été mis en évidence lors de la fouille d'un site mésolithique au lieu-dit Les Paturaux (Saintot *et al.*, 2004), dans la banlieue est de Clermont-Ferrand. Ce téphra est indiscutablement associé au niveau archéologique et au paléosol présent en position latérale par rapport au campement mésolithique (occupation attribuée au Sauveterrien moyen). Une datation radiocarbone a été obtenue pour cette occupation humaine : $7\ 685 \pm 145$ BP (7 030 à 6 231 av. J.-C.) (Ly-10897). Des ossements, récoltés en 1987 dans le même secteur (La Poudrière) au niveau d'un paléosol brun, ont donné une date de $8\ 600 \pm 60$ BP (7 397 à 7 582 BC) (Ly 1687-GrA20106). Il est fort probable que ce paléosol correspond à celui qui a été observé latéralement à l'occupation mésolithique sur le site des Paturaux. Enfin, Le téphra CF7 a été reconnu lors de sondages archéologiques sur le plateau des Dômes (site « Les Prés Longs » sur la commune de Pulvérières) où il est dispersé dans des limons sableux de couleur brune à brun orangé. Ces sédiments contenaient des artefacts (industrie lithique, os, céramique, coquilles de noisettes brûlées) montrant une fréquentation du site du Mésolithique au Néolithique. L'industrie lithique permet d'attribuer l'occupation mésolithique au Sauveterrien. Trois dates ont été obtenues sur les coquilles de noisettes : $9\ 160 \pm 40$ BP (8460 à 8270 BC), $7\ 610 \pm 40$ BP (6480 à 6410 BC) et $6\ 670 \pm 50$ BP (5660 à 5500 BC) (Colonge, 2005). De la découverte de Pulvérières, nous retiendrons que le dépôt du téphra CF7 est, une nouvelle fois, contemporain d'une occupation préhistorique rattachée au Sauveterrien et située au cours du 7^{ème} millénaire avant J.-C.

- Caractéristiques des fragments laviques de CF7 :

Les fragments de lave juvénile (pyroclastes) de CF7 sont de deux types (Figure 42) :

- des fragments anguleux, gris clair à gris foncé, de lave à phénocristaux d'amphibole et de feldspaths. La vésiculation de ces fragments est réduite à très réduite (lave compacte de densité supérieure à 2). Leur morphologie suggère qu'ils proviennent de la croûte d'un dôme. Les analyses géochimiques montrent une composition dans le champ des trachytes (la teneur moyenne en silice étant de l'ordre de 64 %),
- des fragments plus arrondis, gris clair à gris beige, de lave plus pauvre en phénocristaux d'amphibole et de feldspaths. La vésiculation est importante jusqu'à donner un aspect moussu (la densité est inférieure à 1,5). Certains éléments peuvent être considérés comme des ponces. Les analyses géochimiques montrent une composition dans le champ des trachytes (la teneur moyenne en silice étant légèrement plus faible que celle des fragments anguleux, de l'ordre de 61 % ; cf. Tabl. 1 *in* Miallier *et al.*, 2004).

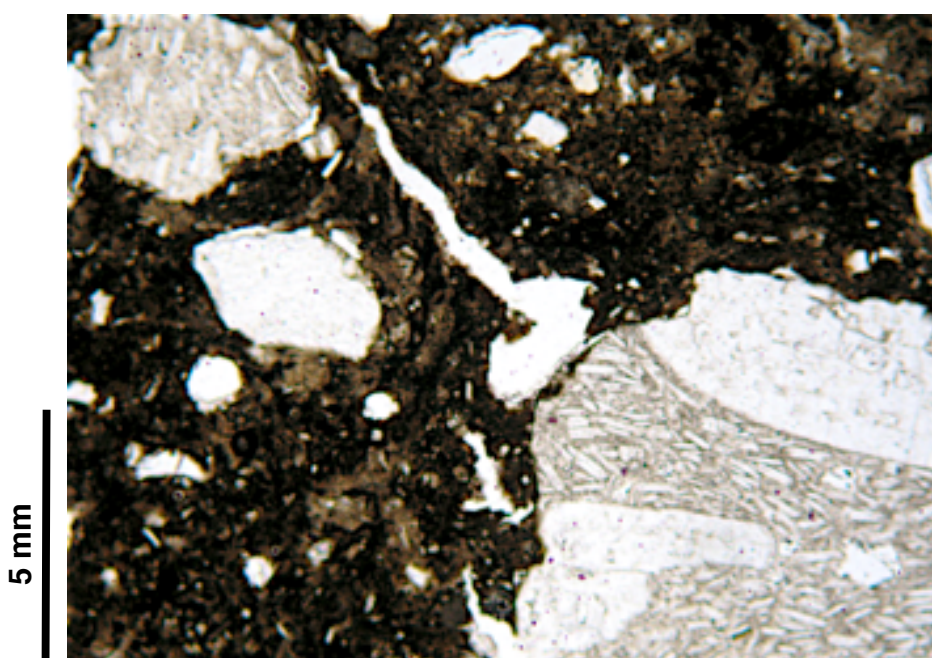


Figure 42 : Fragments laviques provenant du faciès « retombée » de CF7 (Téphra de la Rodde).

- Les différents faciès de CF7 :

L'observation des dépôts englobant le Téphra CF7 (ou Téphra de la Rodde), à l'œil nu et sous le microscope, permet de distinguer trois faciès différents.

* **Le premier type de faciès** a été observé sur des coupes dans le secteur de Nohanent et dans des excavations à Chamalières. Sur ces sites, CF7 se présente sous la forme d'un

niveau compact beige orangé (Figure 45) riche en fragments laviques trachytiques de taille centimétrique (le plus gros fragment atteint une taille de 8 cm à Nohanent). Du point de vue granulométrique, on note une composante limoneuse importante qui lui donne un aspect « cendreux » lorsqu'il est sec. Sa puissance est de l'ordre de 0,50 m et sur une coupe du secteur de Nohanent, il comble un chenal et atteint une épaisseur de plus de trois mètres. Il ne présente ni litage, ni granoclassement. Ce faciès de dépôt compact, qui a tendance à s'accumuler dans les points bas, se rapproche d'un faciès de coulée pyroclastique (ou coulée boueuse) plutôt que d'une retombée. Les deux zones où l'on retrouve ce faciès de CF7 sont localisées au débouché de ravins qui entaillent l'abrupt de la faille bordière de la Limagne (Figures 40 et 44).

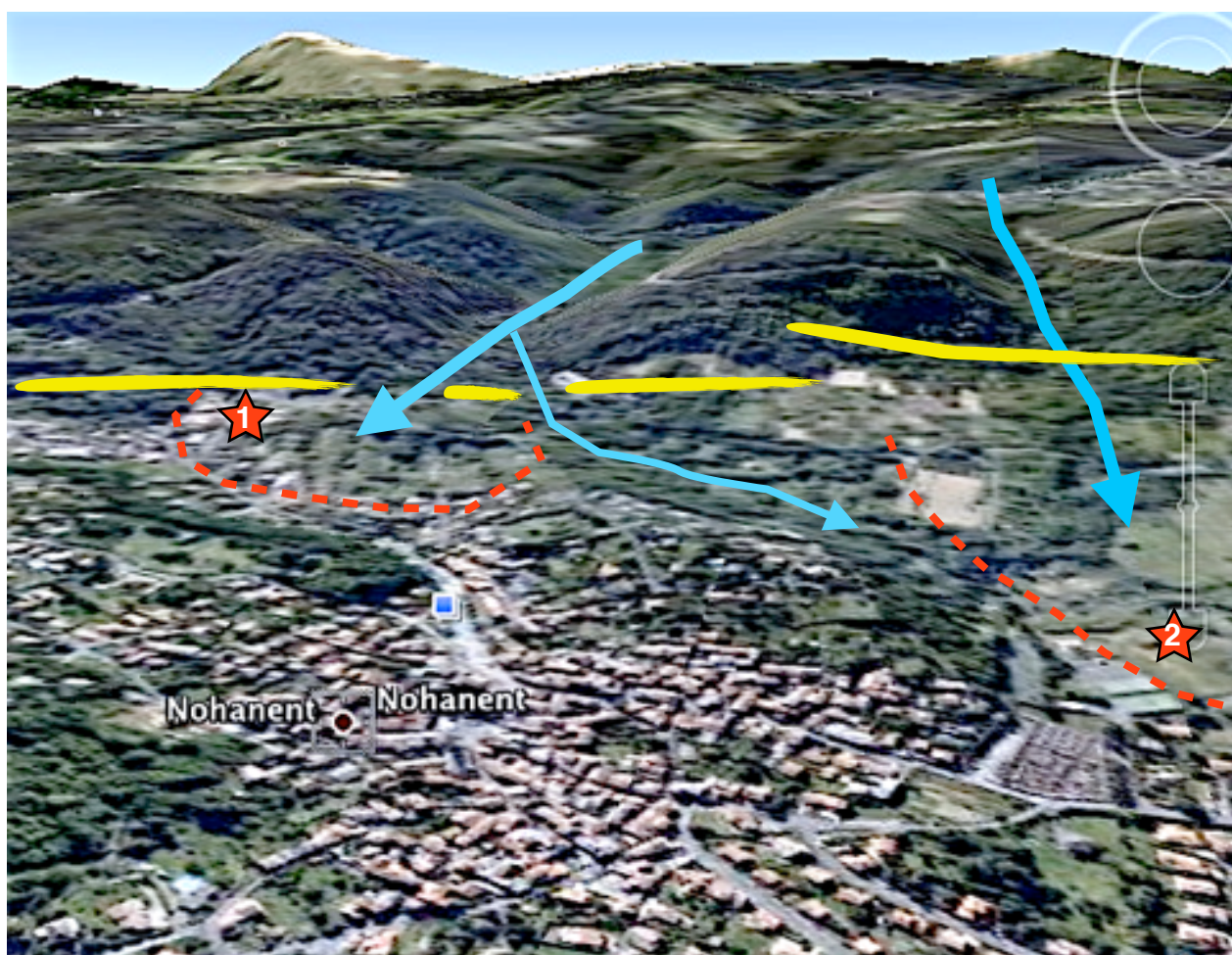
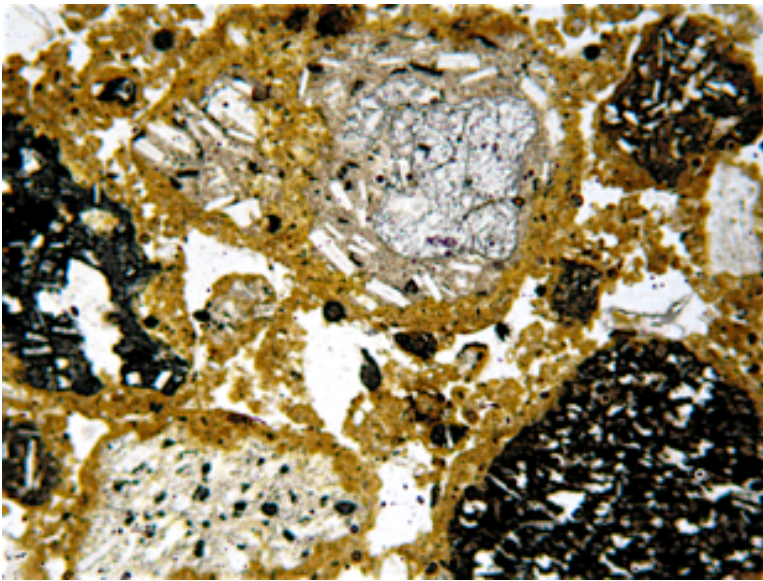


Figure 44 : Trajets supposés (en bleu) des coulées pyroclastiques empruntant les ravins entaillant la faille bordière occidentale de la Limagne (en jaune). (1) = locus de Nohanent-lotissement et (2) = locus de Nohanent-stade. Limite d'extension (pointillés rouges) des cônes d'épandage au débouché des ravins.



(1)

Figure 45 : Macrofaciès de CF7 (coulée pyroclastique) (1) et microfaciés (PLA) (2) sur le site de Nohanent-lotissement.



(2)

2 mm

L'observation sous le microscope (Figure 45) confirme la présence de nombreux fragments plus ou moins anguleux de lave trachytique à amphiboles et feldspaths alcalins (orthoclases) dans une matrice fine beige riche en micro-fragments de lave trachytique (parfois il s'agit simplement d'une baguette de feldspath entourée d'une gangue vitreuse), accompagnés de xénoclastes essentiellement volcaniques (basalte, trachybasalte), dans une microstructure caractéristique. La matrice fine a en effet tendance à former une pellicule plus au moins épaisse autour des éléments les plus gros (fragments trachytiques et xénoclastes), oblitérant les irrégularités de leur surface et formant des éléments arrondis cendreuse avec un nucleus solide : il s'agit là d'un début d'accrétion de cendres fines autour d'un germe central. Cette microstructure de *proto-lapilli* accrétionnés a été décrite dans des coulées pyroclastiques distales du volcan Vulture (Vernet *et al.*, 1999). Il s'agit

de la microstructure : *Proto-Lapilli Accrétionnés (PLA)*. Les lapilli accrétionnés (Moore et Peck, 1962), généralement formés dans les colonnes éruptives des éruptions phréatomagmatiques, sont également connus dans les déferlantes et les coulées pyroclastiques (Walker, 1971 ; Fischer et Schmincke, 1984 ; Cas et Wright, 1992). Les lapilli accrétionnés *in situ* des surges et co-surges sont donc de bons indicateurs de dynamisme de mise en place et témoignent du régime turbulent de l'écoulement. La présence de proto-lapilli accrétionnés dans le dépôt de CF7 à Nohanent confirme son caractère de coulée pyroclastique. En outre, des micro-charbons de bois sont inclus dans la matrice cendreuse : des charbons de bois sont également présents dans les dépôts de déferlante du cratère Kilian et du Puy Chopine sur le plateau des Dômes, alors que les retombées, « dépôts froids », ne contiennent jamais de fragment ligneux. Nous sommes donc bien en présence d'une coulée pyroclastique qui a atteint la Limagne en s'écoulant par un des ravins entaillant l'abrupt de la faille bordière occidentale. Ceci renforce les observations faites à Marsat et confirme que des phénomènes violents ont accompagné les éruptions trachytiques et atteint la Limagne à plusieurs kilomètres du point éruptif.

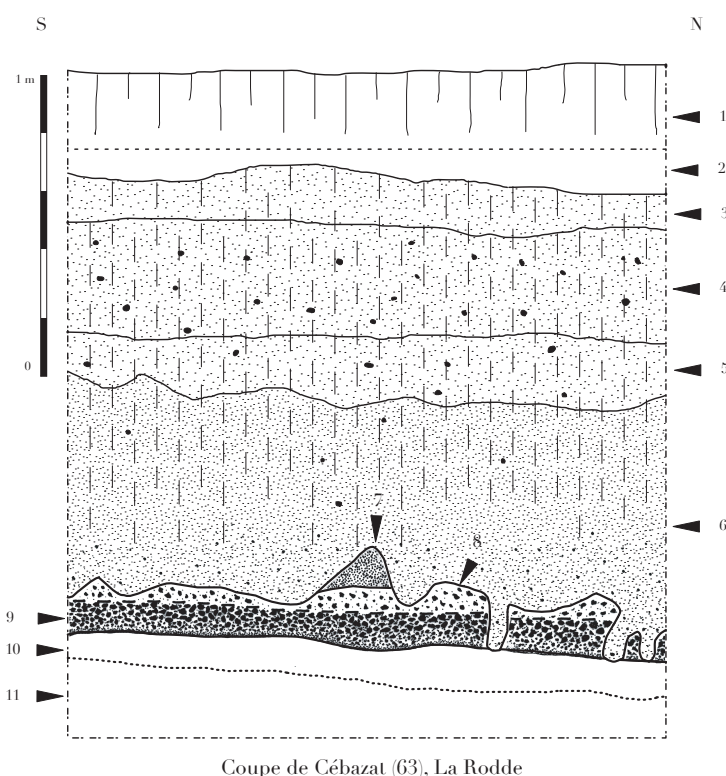


Figure 43 : CF7 (faciès colluvié) sur le site de La Rodde. Niv. 4 et 5 : Téphra de La Rodde/CF7 ; niv. 7 : CF6 ; niv. 9 : CF3.

✳ **Le deuxième type de faciès** de CF7 a été observé dans de nombreuses coupes du bassin clermontois. Le site éponyme de La Rodde, sur la commune de Cébazat, en fournit un bon exemple (Figure 43). Un niveau plus ou moins épais (de 0,20 à 1 m) de colluvions limoneuses non compactes, dont la couleur varie du beige au marron, inclut des fragments trachytiques plus ou moins anguleux, dispersés dans la masse. L'observation sous le microscope confirme la nature colluviale de cette formation et la présence de nombreuses bioturbations. Les éléments trachytiques sont rares à l'échelle de la lame mince. Il s'agit ici d'un téphra remanié dont le faciès d'origine peut être une coulée pyroclastique, une retombée, ou encore un mélange des deux.

✳ **Le troisième type de faciès** de CF7 a été observé dans plusieurs coupes obtenues dans les formations palustres à lacustres du grand marais de Limagne. CF7 forme un lit décimétrique de fragments trachytiques plus ou moins anguleux (Figures 41 et 46). Les limites supérieures et inférieures de ce lit sont diffuses et la matrice est de même nature que les niveaux qui l'encadrent, terre noire de Limagne ou argiles organiques palustres

par exemple. Cette disposition caractérise une retombée issue d'une colonne éruptive synchrone de coulées pyroclastiques. Cette pluie de petits fragments de trachyte a touché un campement de chasseurs-cueilleurs sauveterriens aux portes de Clermont-Ferrand, sur le site « Les Paturaux » (Vernet, 2004).

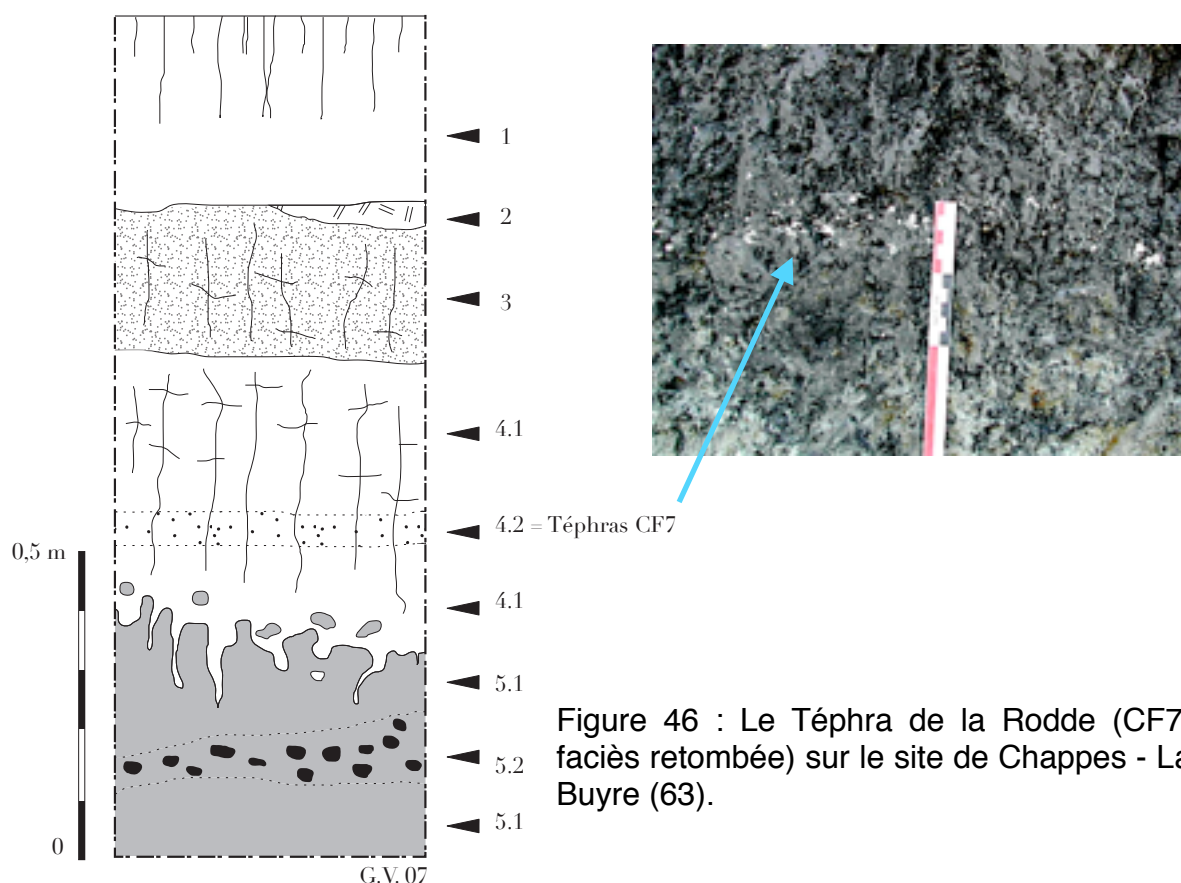


Figure 46 : Le Téphra de la Rodde (CF7, faciès retombée) sur le site de Chappes - La Buyre (63).

En conclusion, on peut dire que le Téphra de la Rodde (ou Téphra CF7) est composé de fragments anguleux centimétriques de trachytes, témoins distaux de l'explosion d'un dôme. Ils sont présents sous forme de retombée (fall) dans des colluvions ou à la base des terres noires de Limagne, mais également dans des faciès proximaux de coulées pyroclastiques (flow) trachytiques près de la faille bordière occidentale de la Limagne. Dans les stratigraphies de Limagne, on rencontre sur la même coupe CF5, CF6 (Pariou) et CF7, du plus ancien au plus récent ; toutefois, sur la coupe de Nohanent, on a CF7, puis CF6 (Pariou) qui repose sur une formation pyroclastique trachytique (Téphra Y) elle-même recouvrant CF4. Les dernières données sur la chronologie Vasset-Kilian-Pariou-Chopine (Miallier *et al.*, 2004b) nous conduisent à proposer de rapporter CF5 à l'éruption du puy Vasset et CF7 à celle du Kilian. En Limagne et dans la cuvette clermontoise, la succession stratigraphique du plus ancien au plus récent serait donc : CF5 (Vasset) puis CF6 (Pariou) et ensuite CF7 (Kilian). Ceci permet d'apporter des précisions concernant le « téphra de Gerzat-E » (Juvigné *et al.*, 1992), considéré comme le mélange des produits du Vasset, du Kilian et du Chopine et situé sous le « téphra de Gerzat-F » - notre Téphra CF6 - et attri-

bué au Pariou). Il est clair désormais que le « téphra de Gerzat-E » correspond au Téphra CF5 attribué au seul volcan Vasset, puisque les produits du Kilian sont nettement dissociés et forment le faciès de retombée de CF7. Les produits indiscutablement attribués au puy Chopine et reconnus en Limagne sont uniquement ceux appartenant à la Formation de Marsat.

2.5.1.3 - Le Téphra Y :

Lors de sondages d'archéologie préventive (cf. rapport INRAP, Gaime, 2003) en vue de la construction d'un lotissement sur la commune de Nohanent (63), une importante séquence de téphras a été observée (Figure 47). Cette succession de téphras a été dénommée « séquence de Nohanent » et outre les téphras déjà bien connus (CF1a, CF1b et CF3) on note la présence de CF7 (faciès de coulée pyroclastique), d'un téphra attribué en première analyse au puy de Pariou et pouvant être CF6, un téphra de couleur beige et au faciès proche de CF7 qui fut dénommé « Téphra Y » et enfin, le téphra CF4. La même téphroséquence a été observée ensuite lors de travaux de transformation du stade de Nohanent. Sur cette seconde coupe, le Téphra Y était bien visible et semblait présenter un faciès notablement différent de celui de la coupe de Nohanent-lotissement.

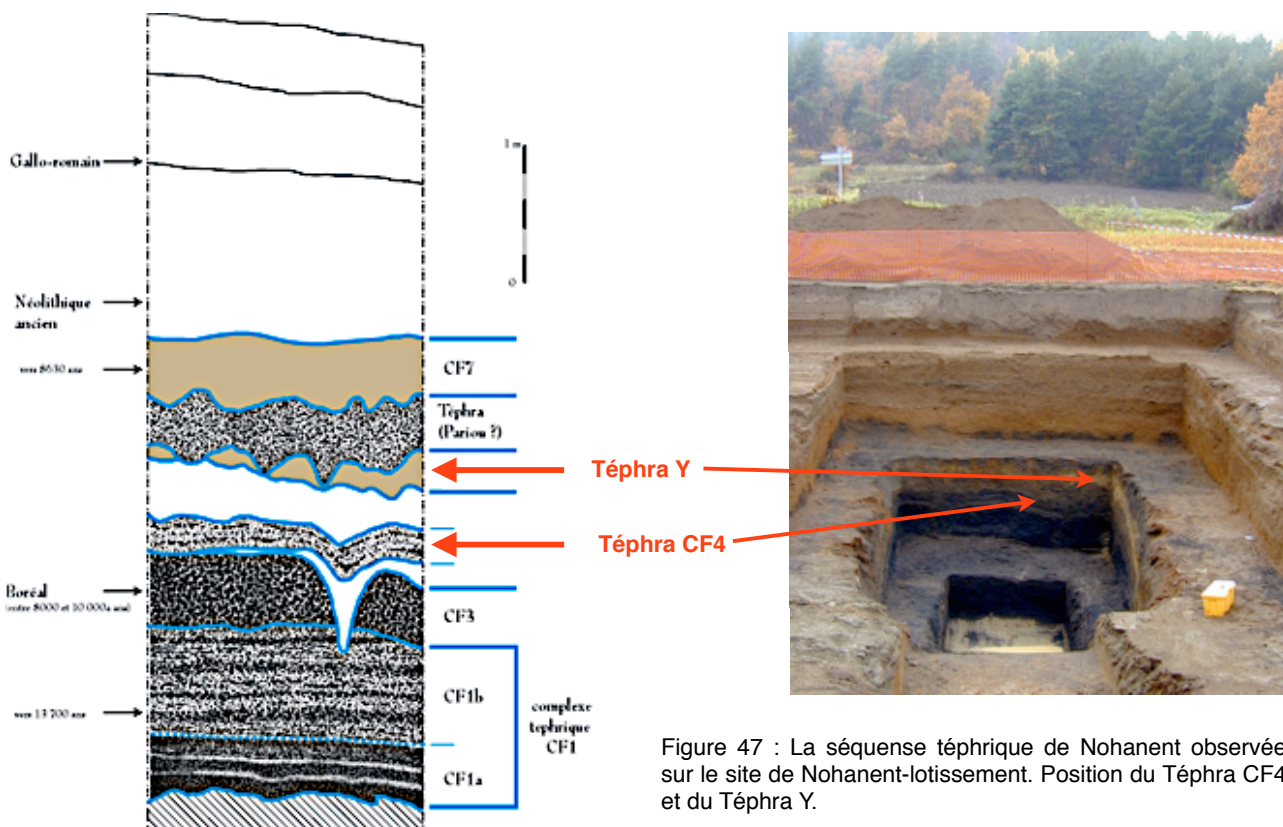


Figure 47 : La séquence téphrique de Nohanent observée sur le site de Nohanent-lotissement. Position du Téphra CF4 et du Téphra Y.

La position du Téphra Y dans la « séquence de Nohanent » :

Sur le site de Nohanent-lotissement, le Téphra Y est stratigraphiquement au-dessus de CF4 (séparé de ce dernier par un niveau de colluvions) et sous le téphra attribué au Pariou (CF6 ?) et CF7.

Sur le site de Nohanent-stade, on retrouve cette même position stratigraphique entre CF4 et CF6 (?). Sur ce site, il faut noter que la base du Téphra Y est nettement ravinante (cf. rapport Master de L. Choupin, 2005) et qu'il n'existait pas de niveau de colluvions entre CF4 et le Téphra Y.

Macrofaciès du Téphra Y :

A Nohanent-lotissement, il se présente sous la forme d'un niveau homogène (10 cm à 15 cm d'épaisseur), de couleur beige claire, assez cendreuse, dans lequel on distingue de rares fragments de trachytes de taille millimétrique (Figure 48).

À Nohanent-stade (Figure 50), il s'agit d'un niveau de 20 cm à 25 cm d'épaisseur, de couleur beige, présentant un litage interne marqué et une base nette, ravinante et soulignée par une oxydation. Il faut remarquer la présence, au centre du niveau, d'une lamine grossière à fragments trachytiques. Dans la partie inférieure, sous la lamine grossière, une seconde lamine se distingue par sa couleur légèrement rosâtre et sa texture cendreuse et compacte qui rappelle celle du téphra CF5 ou encore celle du téphra de Sarliève.

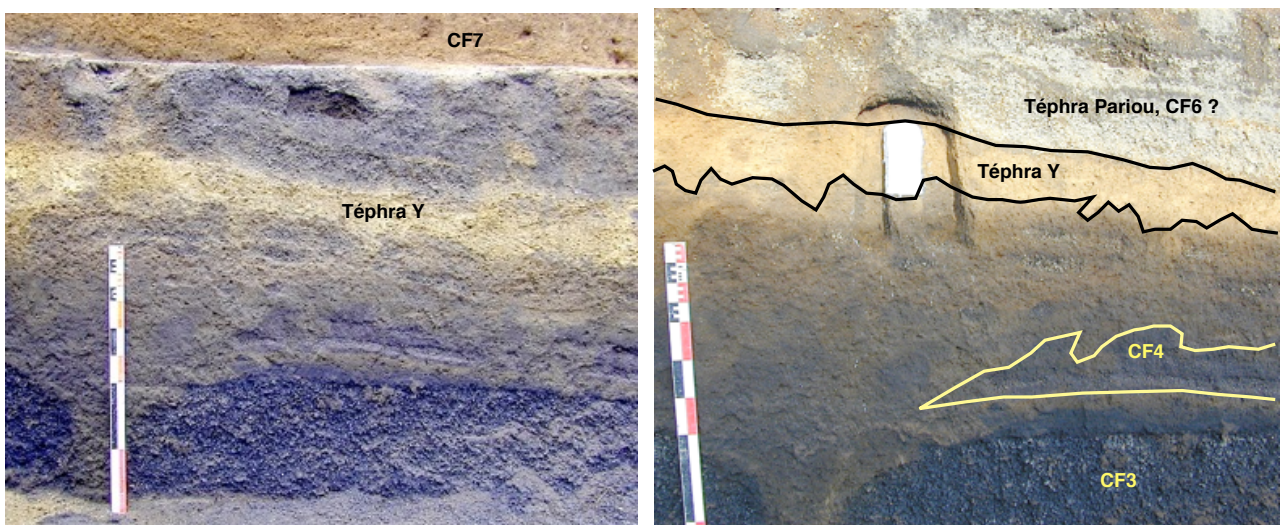


Figure 48 : Macrofaciès du Téphra Y sur la coupe du site de Nohanent-lotissement.

Microfaciès du Téphra Y :

La lame mince réalisée au cœur du niveau correspondant au Téphra Y sur le site de Nohanent-lotissement confirme l'homogénéité de ce niveau. Dans une matrice fine, riche en micro-fragments de lave (parfois il s'agit simplement d'une baguette de feldspath entouré d'une gangue vitreuse). Ces fragments laviques ne présentent pas de vésiculation et ont des formes plus ou moins arrondies. Leur taille varie de quelques centaines de microns à 2 ou 3 millimètres. Ils sont très riches en lattes de feldspaths et présentent une structure trachytique (Jung, 1977) assez typique. On note la présence de phénocristaux de biotite (Figure 49). Comme pour le faciès « coulée pyroclastique » de CF7 (Vernet et Raynal, 2008), la microstructure observée montre que la matrice fine a tendance à former une pellicule plus ou moins épaisse autour des éléments les plus gros (Figure 49), oblitérant les irrégularités de leur surface et formant des éléments arrondis cendreux avec un nucleus solide : il s'agit là d'un début d'accrétion de cendres fines autour d'un germe central. Cette microstructure de *Proto-Lapilli Accrétionnés* (PLA) a été décrite pour la première fois dans les coulées pyroclastiques distales du Monte Vulture (Vernet et al., 1999). Grâce à nos observations (aussi bien sur les produits du Vésuve, du Vulture, de la Chaîne des Puys ou encore de la Montagne Pelée) la présence de ces proto-lapilli accrétionnés confirme le dynamisme de mise en place (régime turbulent de l'écoulement) et le caractère de coulée pyroclastique du Téphra Y sur le site de Nohanent-lotissement. Des charbons de bois sont présents dans le Téphra Y (comme dans CF7) ce qui le différencie des retombées (dépôts froids) qui elles ne contiennent jamais de fragment

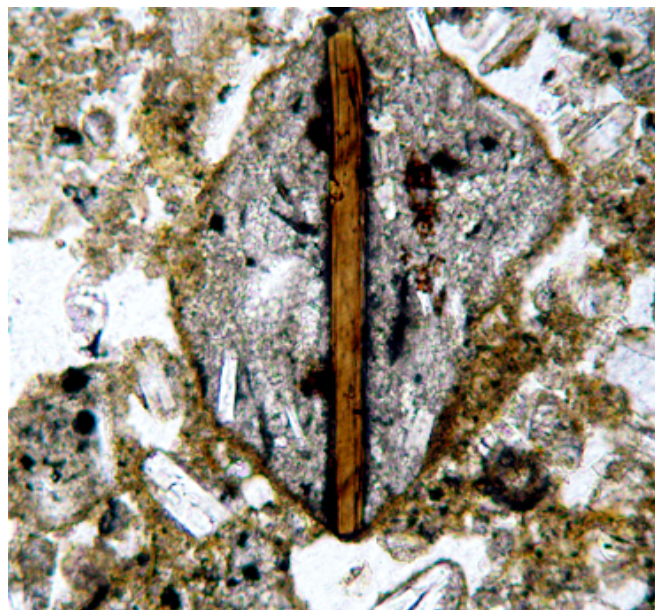
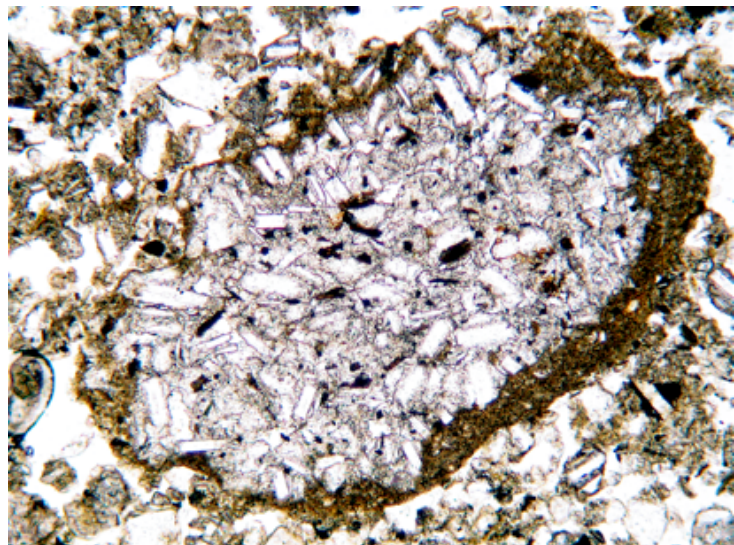
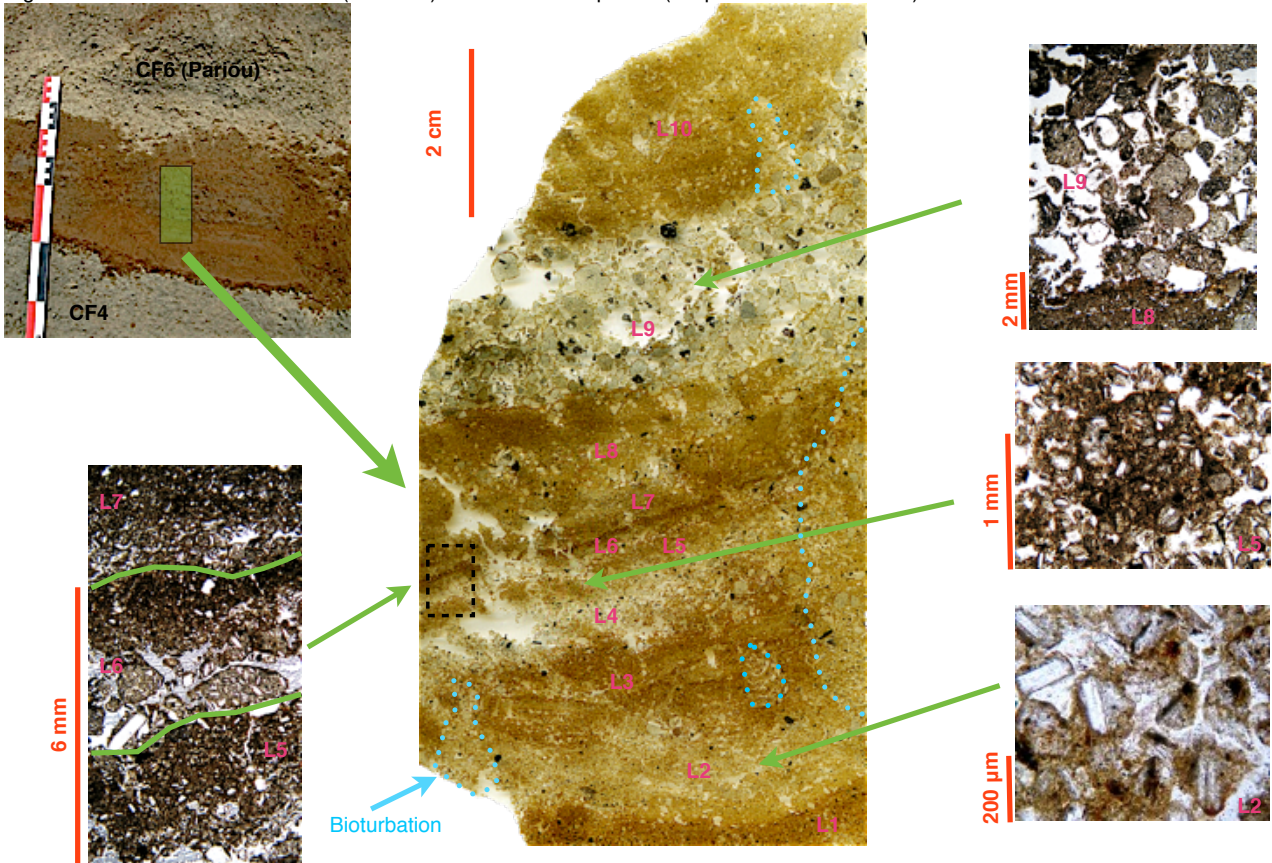


Figure 49 : Fragments laviques à structure trachytique du Téphra Y de la séquence de Nohanent (site de Nohanent-lotissement). (1) : fragment lavique à gangue de cendre fine (premier stade d'accrétion, microfaciès PLA) ; (2) : fragment lavique à phénocristal de biotite.

ligneux.

La lame mince réalisée dans le Téphra Y sur le site de Nohanent-stade (Figure 50) montre d'emblée que, sur ce site, ce dépôt n'est pas homogène mais présente plusieurs lamines différentes (au moins 10 sur l'épaisseur observée en lame mince).

Figure 50 : Microfaciès des lamines (L1 à L10) constituant le Téphra Y (coupe de Nohanent-stade).

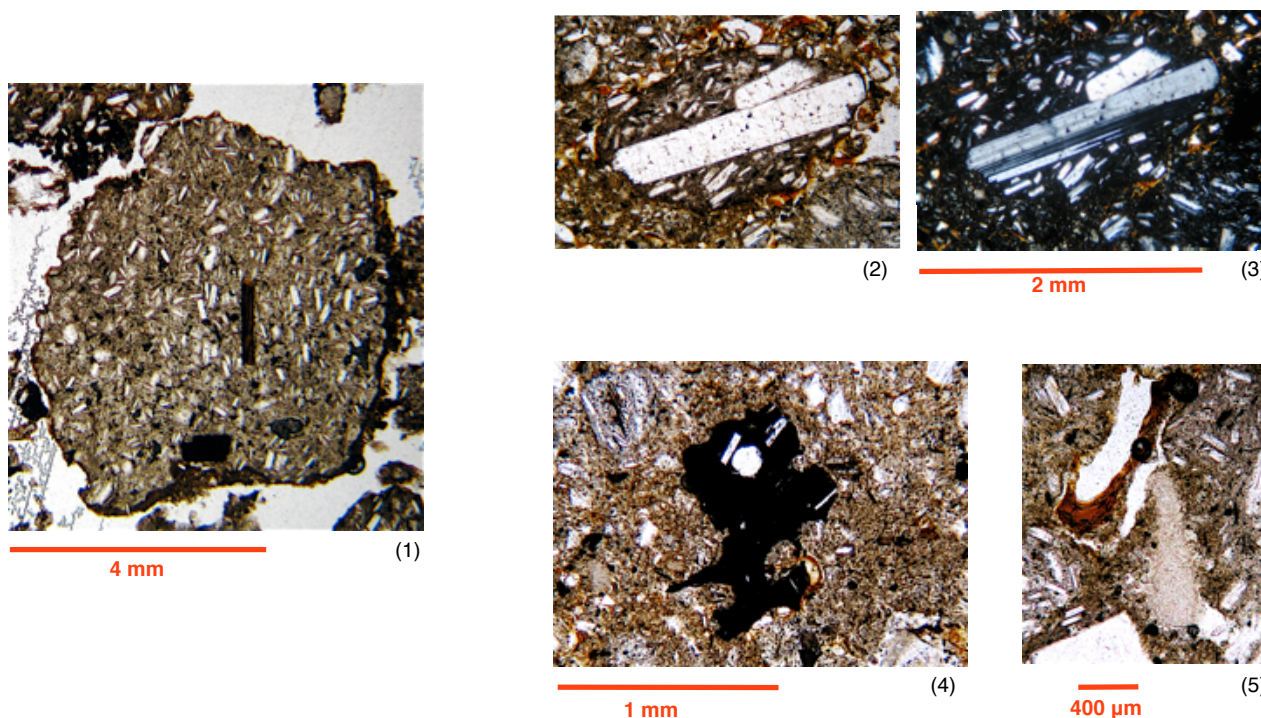


Avant d'aborder la description détaillée de ces lamines, il faut remarquer que les éléments de base constituant ce dépôt (matrice et fragments laviques) présentent bien les mêmes caractéristiques que ceux qui sont observés sur le site de Nohanent-lotissement. Premièrement, les fragments laviques non vésiculés présentent une structure trachytiques typique riche en baguettes de feldspaths (Figure 51). Deuxièmement, la matrice est riche en micro-fragments de lave parfois simplement constitués d'une baguette de feldspath entourée d'une gangue vitreuse (bubble-wall texture).

Cinq lamines (L1, L2, L7, L8 et L10) présentent une microstructure assez proche. Ces lamines apparaissent comme homogènes et non litées. Elles sont constituées de micro-fragments de lave (taille moyenne = 200 µm) à baguettes de feldspaths dans une matrice fine. Une vésiculation diffuse est présente, notamment dans L2, L8 et L10.

La lamine L3 possède les mêmes éléments de base, mais présente un litage interne ondulé à entrecroiser, malheureusement perturbé par des bioturbations (trous de vers).

Figure 51 : Téphra Y de la séquence de Nohanent (coupe de Nohanent-stade); (1) : fragment lavique non vésiculé à structure trachytique, mésostase vitreuse peu abondante à microlites de feldspath et rares phénocristaux de biotite ; (2) et (3) : fragment lavique à phénocristaux de plagioclase ; (4) : scorie noire faiblement vésiculée ; (5) : illuviation argilique orangée dans un vide.



La lamine L4 est constituée par des micro-fragments de lave (taille moyenne = 300/400 μm) à baguettes de feldspaths. La matrice fine est quasi-absente ce qui donne un aspect de dépôt de type « framework supported » (Walker, James, 1992).

La lamine L5 apparaît constituée par des agrégats sphériques de cendres (diamètre maximum = 1 mm), sans organisation interne, ni germe central. Il n'en reste pas moins que nous sommes bien en présence de « grêlons de cendres » ou « lapilli accrétonnés ». Dans certaines parties de la lamines, ces lapilli accrétonnés se sont écrasés et soudés ensemble et forment alors la lamine. Dans ce cas, l'organisation en « boulettes cendreuse » devient presque illisible. La microstructure de la lamine L5 du Téphra Y est comparable à celle observée pour la lamine 6.1 des produits de la phase phréatomagmatique (pyroclastic surge) de l'éruption du Vésuve dite « des ponces d'Avellino » sur le site de Croce del Papa à Nola (cf. chapitre 3.3.2). La formation de ces agrégats cendreux est donnée comme typiques des mécanismes de transport et de dépôt dans la partie distale des « pyroclastic surge » de l'éruption dite « des ponces d'Avellino », qui correspond à la partie basale d'un nuage pyroclastique possédant une température \leq à 100 C, une vitesse de déplacement de 10 à 1 m/s et une concentration en particules \geq à 10 % (Mastrolorenzo et al., 2006).

La lamine L6 (épaisseur moyenne = 3 mm) apparaît comme bipartite :

- à la base, une partie constituée par des fragments laviques (taille maximale = 1,5 mm à 2 mm) sans matrice (faciès « framework supported »),

- au sommet une partie à matrice cendreuse avec micro-fragments laviques à baguettes de feldspaths. Cette partie possède un léger granoclassement normal impliquant que le sommet possède moins de micro fragments lavique et apparaît comme un liseré plus foncé.

Nous avons déjà mis en évidence cette microstructure très caractéristique dans trois autres dépôts étudiés dans ce travail :

- dans les dépôts de la rue de Médicis à Clermont-Ferrand où ils sont interprétés comme les témoins distaux de souffles éruptifs liés à une éruption phréatomagmatique,

- sur le site de Grotte di Porcinella (éch. 95006) où il s'intègre dans les dépôts de déferlantes à lapilli accréionnés et tuffs vésiculés,

- sur le site de Gricignano (Campanie) au sein des dépôts de « pyroclastic surge » de la phase phréatomagmatique finale de l'éruption du Vésuve dite « des ponces d'Avellino ».

Il apparaît donc clairement que le dépôt de la lamine L6 du Téphra Y résulte non pas d'une retombée mais bien d'un souffle (surge ou encore déferlante) lié à une phase éruptive phréatomagmatique.

La lamine L9 (épaisseur maximale = 2 cm) est constituée de clastes (fragments laviques non vésiculés à baguettes de feldspaths, cristaux de feldspath libres, scories noires faiblement vésiculées) assez grossiers (tailles comprises entre 2 mm et 4 mm) sans matrice intergranulaire (faciès « framework supported »). Ce dépôt n'est pas sans rappeler - toutes proportions gardées - celui du niveau 5 des produits de l'éruption du Vésuve dite « des ponces d'Avellino ». Dans les deux cas, il s'agit d'une retombée, liée à la dispersion des produits d'un panache dû à une restabilisation temporaire d'une colonne convective, entre des produits de déferlantes.

En résumé, il apparaît clairement que, sur les deux sites d'observation, le Téphra Y ne peut pas être interprété comme un simple niveau de retombée mais que ces dépôts résultent de mécanismes d'écoulements et de souffles éruptifs lors d'une phase éruptive à caractère phréatomagmatique. Les microfaciès observés sont identiques à ceux de la phase phréatomagmatique de l'éruption du Vésuve dite « des ponces d'Avellino » que nous avons étudié à Nola et Gricignano.

Les clastes de lave juvénile du Téphra Y sont parfaitement comparables à ceux constituant le téphra CF5. Les positions stratigraphiques de ces deux téphras sont les mêmes : entre CF4 et CF6. Une analyse chimique des éléments majeurs réalisés à partir du sédiment du Téphra Y (site de Nohanent-lotissement) donne un résultat difficilement comparable à ceux de CF5. Une analyse à la micro-sonde (en cours) des fragments de lave juvénile permettra de caractériser chimiquement le Téphra Y. Il n'en reste pas moins que la morphologie et la composition minéralogique des fragments de lave juvénile de ces deux téphras sont identiques, ce qui nous conduit à proposer qu'ils proviennent de la même éruption du puy Vasset (CF5 étant attribué au puy Vasset ; Vernet et Raynal, 2008).

Quelle que soit l'origine du Téphra Y, la mise en évidence de microfaciès de coulée pyroclastique, de surge montre encore une fois la violence des éruptions trachytiques de la Chaîne des Puys au Boréal. La Limagne occidentale a donc enregistré, durant cette période, non pas deux épisodes éruptifs violents comme nous l'avons écrit récemment (Vernet et Raynal, 2008) mais trois :

- la Formation de Marsat (éruption du puy Chopine),
- le téphra CF7 (éruption du cratère Killian),
- le Téphra Y/CF5 (éruption du puy Vasset).

Enfin, il est intéressant de souligner que dans deux cas (CF7 et Téphra Y/CF5) nous avons :

- des faciès de coulées pyroclastiques (flow) et/ou de déferlantes (surge) au débouché de ravins entaillant l'abrupt de la faille bordière occidentale de la Limagne,
- des faciès de retombées (fall) dans les marais de la plaine de la Limagne.

Il est maintenant démontré que chaque éruption à magma trachytique (qui s'est produite au cours du Boréal) a été particulièrement violente et a généré des produits de type coulée pyroclastique (flow) et/ou des déferlantes (surge) et même une coulée boueuse (lahar primaire) et des alluvions torrentielles (lahar secondaire). Ces phénomènes sont beaucoup plus dévastateurs qu'une simple retombée de cendres. Ces éruptions ont donc perturbé de façon non négligeable les environnements du plateau des Dômes et de la Limagne. Les campements des chasseurs-cueilleurs mésolithiques ont été directement affectés par les produits de deux de ces éruptions.

2.5.1.4 - Le Téphra de Sarliève :

Découvert au sein de la séquence lacustre du paléo-lac de Sarliève (Vernet et Raynal, 2002), ce téphra se présente sous la forme d'un lit cendreux rose pastel de 3,5 cm d'épaisseur. Son faciès est celui d'une retombée (fall). La morphologie des pyroclastes montre des fragments laviques (verre incolore) non vésiculés à baguettes de feldspaths. Sa composition chimique (64,38 % de SiO₂) entre dans le domaine des trachytes de la Chaîne des Puys. Le clinopyroxène vert à brun représente plus de 90 % du cortège des minéraux denses de cette retombée. Son faciès et sa composition chimique sont donc très comparables de ceux du téphra CF5, même si le cortège minéralogique de CF5 est différent (présence de l'amphibole brune, du zircon et de l'apatite). De plus, le quartz (absent dans CF5) est présent sous deux formes : une forme limpide et une forme d'aspect opalescent.

L'analyse des teneurs en ²²⁶Ra et en ²³²Th du Téphra de Sarliève le rattachent au groupe de radioactivité la plus élevée, qui comprend le puy Chopine, la Formation de Marsat et le Sarcouy (Miallier *et al.*, 2004).

L'ensemble des analyses réalisées sur le Téphra de Sarliève ne permet pas de le rapporter à un édifice de la Chaîne des Puys. On se rappellera, d'une part, que les téphras distaux sont l'objet d'un vannage se traduisant dans leur chimie globale et leur minéralogie

(Juvigné, 1993) et d'autre part, que les comparaisons minéralogiques lave massive/cendres sont souvent biaisées.

Un âge TL de 16 ± 4 ka (Cler 325) a été obtenu pour ce recouvrement téphrique, mais sa position dans la séquence lacustre de Sarliève et les assemblages polliniques des sédiments qui le contiennent dateraient ce téphra du début du Subboréal (autour de 3500 ans avant J.-C.). Il serait donc le témoin d'une éruption trachytique plus récente d'environ 1000 ans que la dernière éruption connue (Pavin) de la Chaîne des Puys (Fromont *et al.*, 2006).

2.5.1.5 - Le Téphra Z :

En 2009, sur une des coupes du site des quatre Routes à Clermont-Ferrand, un nouveau niveau pyroclastique limoneux beige (faciès proche de ceux de CF7-coulée pyroclastique et du Téphra Y) a été observé et dénommé, par l'instant, Téphra Z. Sa position stratigraphique (sur CF6 et sous CF7) permet de le distinguer du Téphra Y qui lui est sous CF6 et sur CF4). L'analyse granulométrique et l'observation à la binoculaire des fractions montre une absence de pyroclastes trachytiques millimétriques. Une analyse à la microsonde/MEB (en cours) doit permettre de vérifier la présence d'échardes vitreuses et de réaliser une analyse chimique du magma juvénile. Pour l'instant, une analyse des minéraux denses donne un cortège original (66,5 % d'amphibole brune, 17 % de clinopyroxène vert, 8,5 % de zircon, 4,5 % d'apatite, 3,5 % d'olivine et 1 % de sphène) (Figure 26) qui peut s'accorder avec une lave plutôt acide, de type trachyte à hornblende. En l'absence d'une composition assurée du magma juvénile, il est bien évident que le volcan source de cette coulée pyroclastique distale reste inconnu. Sa position entre CF6 et CF7 permet en revanche de situer la phase éruptive responsable de ce dépôt dans le sommet du Boréal (vers 8 500 ans en âge réel).

2.5.1.6 - Références :

Boivin P., Besson J.-C., Briot D., Camus G., Goër de Herve A. de, Gourgaud A., Labazuy P., Larourière F.-D. de, Livet M., Mergoïl J., Miallier D., Morel J.-M., Vernet G., Vincent P. M. (2004) - *Carte Volcanologique de la Chaîne des Puys Massif Central Français au 1/25 000*, 4^{ème} édition. Éditée et réalisée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, Château de Montlosier, Randanne, 63970 Aydat, 120X90 cm.

Boivin P., Besson J.-C., Briot D., Camus G., Goër de Herve A. de, Gourgaud A., Labazuy P., Larourière F.-D. de, Livet M., Mergoïl J., Miallier D., Morel J.-M., Vernet G., Vincent P. M. (2004) - *Volcanologie de la Chaîne des Puys Massif Central Français*, 4^{ème} édition, Éditée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, Château de Montlosier, Randanne, 63970 Aydat, (avec la participation de Jannot S. et Raynal J.-P.), 180 p.

Baudry D., Camus G. (1972) - Les projections volcaniques de la Chaîne des Puys et leurs utilisations. *Bull. du B.R.G.M.*, (2), II, 2, 1-52.

Brousse R., Rudel A. (1973) - Activité paroxysmale de la Chaîne des Puys à 10 000 ans. *Bulletin historique et scientifique de l'Auvergne*, T LXXXVI, n° 636, 1-11.

Brousse R., Delibrias G., Labeyrie J., Rudel A. (1969) - Eléments de chronologie des éruptions de la Chaîne des Puys. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7ème série, XI, 770-793.

Cas R.A.F., Wright J.V. (1992) – *Volcanic succesions. Modern and ancient*. Chapman & Hall ed., London, 528 p.

Colonge D. (Dir) (2005) – *Rapport final d'opération de sondages et évaluations archéologiques. A89 – Section 8, Le Sancy – Combronde (Puy-de-Dôme)*. 2 Tomes, INRAP, février 2005, Clermont-Ferrand.

Etlicher B., Janssen C., Juvigné E., Van Leeuwen J.F.N. (1987) - Le Haut Forez (Massif Central, France) après le pléniglaciaire würmien: environnement et tephra du volcan de la Nugère. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 4, 229-239.

Fischer R.V., Schmincke H.U. (1984) – *Pyroclastic Rocks*, Springer ed., Berlin, 472 p.

Fourmont A., Macaire J.-J., Breheret J.-G., Argant J., Prat B., Vernet G. (2006) – Tephtras in lacustrine sediments of the Sarliève marsh (French Massif Central) : age and preservation. *C. R. Geoscience 338 (2006)*, Paris, 1141-1149.

Gaime S., Vernet G. (2003) - Nohanent (Puy de Dôme) Lavas, chemin de la Vergne. Rapport de diagnostic INRAP, Antenne Rhône-Alpes/Auvergne, Bron, 35 p.

Juvigné E. (1983) - Un marqueur stratigraphique supplémentaire dans les tourbières du Cantal : la retombée volcanique de la Taphanel. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 13, 3-7.

Juvigné E. (1987) - Un marqueur stratigraphique à large dispersion dans le Massif Central français : la retombée du volcan Chopine vieille d'environ 8500 ans B.P., *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 304, série II, n° 4, 187-190.

Juvigné 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. *C. R. Acad. Sc. Paris*, tome 312, Série II, 415-420.

Juvigné E. (1992) - Distribution of widespread Late Glacial and Holocene tephra beds in the French Central Massif. *Quaternary international*, 13/14, 180-185.

Juvigné E. (1993) - *Contribution à la téphrostratigraphie du Quaternaire et son application à la géomorphologie*. Mémoire pour servir à l'Explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique. n° 36, 66 p. Bruxelles.

Juvigné E., Gewalt M. (1987) - La Narse d'Ampoix comme téphrostratotype dans la Chaîne des Puys méridionale (France). *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 1, 37-49.

Juvigné E., Gilot E. (1986) - Ages et zones de dispersion des téphra émises par les volcans du Montcineyre et du lac Pavin (Massif Central, France). *Hannover Z. dt. géol. Ges.*, 137, 613-623.

Juvigné E., Lousberg N., Gewalt M. (1987) - Evolution morphosédimentaire de la Narse d'Espinasse. *Revue des Sciences naturelles de l'Auvergne*, 53, 7-14, Clermont-Ferrand.

Juvigné E., Kroonenberg S.B., Weldkamp A., El Arabi 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.

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, Tulsa.

Mastrolorenzo G., Petrone P., Pappalardo L. and Sheridan M. F. (2006) - The Avellino 3780-yr-B.P. catastrophe as a worst-case scenario for a future eruption at Vesuvius. *PNAS*, March 21, 2006, vol. 103, n° 12, 4366-4370.

Miallier D., Sanzelle S., Pilleyre Th., Vernet G., Brugière S., Danhara T. (2004a) – Nouvelles données sur le téphra de Sarliève et le téphra CF7, marqueurs chronostratigraphiques de Grande Limagne (Massif central, France). *C. R. Géoscience* 336 (2004), 1-8.

Miallier D., Michon L., Evin J., Pilleyre T., Sanzelle S., Vernet G. (2004b) – Volcans de la Chaîne des Puys (Massif Central, France) : point sur la chronologie Vasset-Kilian-Pariou-Chopine. *C.R. Géoscience* 336(2004), Paris, 1345-1353.

Moore J.G., Peck D.L. (1962) – Accretionary lapilli in volcanic rocks of the Western United States. *Journal of Geology*, 70, 182-193.

Raynal J.P., Miallier D., Vernet G., Fain J., Camus G., Montret M., Daugas J.P., Sanzelle S. (1989) - Extension de la datation par thermoluminescence à une retombée trachy-andésitique rapportée au Puy de Pariou (Chaîne des Puys, France). *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 308, Série II, 1547-1552.

Raynal J.P., Vernet G., Fain J., Miallier D., Montret M., Pilleyre T., Sanzelle S., Daugas J.P. (1994) - Téphrostratigraphie et préhistoire des 160 derniers millénaires en Limagne d'Auvergne (Massif Central, France). *Bulletin de la Société préhistorique française*, t. 91, n°2, 149-157.

Raynal J.-P., Vernet G., Daugas J.-P. (2003) - Evolution récente de la Limagne d'Auvergne (France) : impacts du volcanisme et aspects des peuplements humains au Tardiglaciaire et à l'Holocène. in *Climatic-environmental variations and impact on Man in the circum-mediterranean area during the Holocene, Territorio storico ed*

ambiente 3, a cura di Claude Albore Livadie e Franco Ortolani, Edizioni Edipuglia, Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali, Ravello, 461-475.

Saintot S., Pasty J.-F., avec la collaboration de Alix Ph., Ballut C., Fontana L., Geor-gon C., Macabéo G., Tréffort J.-M., Vernet G., Wattez J. (2004) – Taphonomie et fonc-tion des occupations pré et protohistorique du site Les Patureaux à Clermont-Fer-rand, Puy-de-Dôme. *Préhistoire du sud-ouest 2004-supplément n°9 : 5èmes rencon-tres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recher-che, Clermont-Ferrand, 2002*, 43-84.

Vernet G., Raynal J.P., Miallier D., Pilleyre T., Fain J., Sanzelle S., Montret M. (1990) - La retombée de la Moutade, marqueur stratigraphique de l'Allerød en Limagne sep-entrionale (Massif Central, France). *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 310, série II, 1077-1082.

Vernet G. (1992) - *Message du volcanisme régional dans les formations quaternaires de Limagne occidentale (Massif central français). Minéraux denses et retombées*. Thèse de l'Université de Bordeaux 1, n° 724, 335 p.

Vernet G., Raynal J.P. (1995) - La Tephra des Roches, marqueur du volcanisme con-temporain de la fin du Magdalénien dans le Massif Central français. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 321, série IIa, 713-720.

Vernet G., Raynal J.P., Vivent D. (1996) - La téphra de la rue Sous-les-Vignes, mar-queur en Limagne du volcanisme trachytique postglaciaire de la Chaîne des Puys. *C. R. Acad. Sci. Paris*, série II 310(1996), 325-331.

Vernet G., Raynal J.P., Fain J., Miallier D., Montret M., Pilleyre T., Sanzelle S. (1998) - Tephrostratigraphy of the last 160 Ka in Western Limagne (France). *Quaternary In-ternational*, vol. 47/48, 139-146.

Vernet G., Raynal J.-P., Lefèvre D., Kieffer G. (1999) - Téphras distales dans les dé-pôts du Pléistocène moyen de Venosa. in : *Notarchirico . Un sito del Pleistocene medio iniziale nel bacino di Venosa*, a cura di Marcello Piperno, Edizioni Osanna, 1999, museo « L. Pigorini », 207-233.

Vernet G., Raynal J.-P. (2000a) - Un cadre téphrostratigraphique réactualisé pour la préhistoire tardiglaciaire et holocène de Limagne (Massif central, France). *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes*, 330(2000), 399-405.

Vernet G. et Raynal J.-P. (2000b) – Hommes et volcans en Basse-Auvergne préhisto-rique. in *Nouvelles archéologiques, Du terrain au laboratoire...*, *Revue d'Auvergne*, n°554-555, 76-87.

Vernet G., Raynal J.-P. (2001a) - Tephrostratigraphy of Limagne revisited. Implica-tions for the Last Glacial and Holocene Prehistory. In *Tephras, chronology, archaeo-logy*, ss la dir. de E. Juvigné et J.P. Raynal, Les dossiers de l'Archéo-Logis n°1, CDERAD éd., Goudet, juillet 2001, 111-116.

Vernet G., Raynal J.-P., Kieffer G., Camus G., Guadelli J.-L., Vivent D., Miallier D., Sanzelle S., Pilleyre Th., Fain J., Montret M. (2001b) – L'éruption trachytique du puy Chopine (Puy-de-Dôme, France) : Impacts proximaux et distaux et implications écoarchéologiques. In *Tephros, chronology, archaeology*, ss la dir. de E. Juvigné et J.P. Raynal, Les dossiers de l'Archéo-Logis n°1, CDERAD éd., Goudet, juillet 2001, 227-234.

Vernet G., Raynal J.-P. (2002) - Eruptions trachytiques de la Chaîne des Puys (France) et leur impact sur les environnements, *In Hommes et volcans : de l'éruption à l'objet*, XIVth Congress UISPP, Liège, ss la dir de RAYNAL J.P., ALBORE-LIVADIE C., PIPERNO M., Les Dossiers de l'Archéologie n° 2, CDERAD ed., Goudet, 2002, 49-56.

Vernet G. (2004) - Les éruptions holocènes de la Chaîne des Puys et le peuplement mésolithique et néolithique ancien en Basse Auvergne (Massif central, France). *Préhistoire du sud-ouest 2004-supplément n°9 : 5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002, 17-24.*

Vivent D., Vernet G. (2001) – Apport de la palynologie à l'étude des retombées volcaniques tardiglaciaires et holocènes de la Chaîne des Puys enregistrées en Limagne (France). In *Tephros, chronology, archaeology*, ss la dir. de E. Juvigné et J.P. Raynal, Les dossiers de l'Archéo-Logis n°1, CDERAD éd, Goudet, 255-262.

Walker G.P.L. (1971) – Grain size characteristics of pyroclastic deposits. *Journal of Geology*, 79, 696-714.

2.5.2 - Nouvelles données sur le téphra CF4 :

Lors de l'établissement du cadre téphrostratigraphique de la Limagne à la fin des années 90 (Vernet *et al.*, 1998 ; Vernet et Raynal, 2000), ce téphra n'était connu que sur les coupes du secteur Nord de la cuvette clermontoise (rue Sous-Les-Vignes, rue de Blanzat et rue de Montjuzet) et sa composition (trachyandésite basaltique) était établie sur une seule analyse ancienne de G. Camus à partir d'un échantillon (non trié) provenant de la rue de Blanzat. Si cette composition ne peut plus être considérée comme représentative, on retiendra seulement que son macrofaciès est caractéristique d'un fonctionnement phréatomagmatique (grande richesse en xénoclastes). Des fragments de marnes craquelées, présents dans ces dépôts et non interpréter alors (Vernet, 1992), sont maintenant considérés comme des témoins du remaniement de ce téphra sur ces versants marno-calcaires particulièrement instables. Cette donnée d'ordre taphonomique montre que CF4 présente toujours des indices de remaniement par ruissellement (incorporation d'éléments provenant du substrat marneux, litages et base ravinante) alors que sur ces même versants marno-calcaires CF3 reste parfaitement en place. Une augmentation de l'humidité peut expliquer cette différence de conservation entre les téphras CF4 et CF3. Cette ambiance humide deviendrait encore plus importante après le dépôt de CF4 ; en effet, on constate sur toutes les coupes observées sur les versants marno-calcaires l'existence de chenaux

de remaniement importants et généralisés qui affectent CF4, CF3 et même le complexe téphrique CF1. Localement ils peuvent avoir éliminé les téphras. Les sédiments sont toujours riches en éléments laviques hérités des téphras et CF6 est conservé dans ces chenaux (cf. rue de Blanzat ; Vernet, 1992). Les données de chronologie tendraient à révéler que cette dégradation humide se situe à la fin du Boréal et atteindrait son maximum au début de l'Atlantique.

Ces dernières années, plusieurs séquences sédimentaires ont été observées soit en Limagne (Le Brézet et Gerzat-Chantemerle), soit pratiquement sur la faille bordière occidentale de la Limagne (Nohanent-lotissement, Nohanent-stade et les Quatre Routes) dans lesquelles on observe, au-dessus de CF3, un niveau qui est rapporté à CF4.

2.5.2.1 - Position de CF4 dans la séquence téphrique :

Sur les coupes de Nohanent (Nohanent-lotissement et Nohanent-stade), la position est identique : au-dessus de CF3 et sous le Téphra Y.

Sur la coupe des Quatre Routes à Clermont-Ferrand, CF4 se positionne entre CF3 et CF6.

Sur les coupes du secteur de Gerzat, lorsque la séquence est la mieux préservée, CF4 est au-dessus de CF3 et sous CF5 (Figure 52).

En résumé, CF4 se retrouve toujours au-dessus de CF3 et il n'y a jamais d'autre téphra entre ces deux recouvrements. Ces deux téphras ne se sont pas succédé directement, mais un certain laps de temps s'est écoulé entre les deux comme le montre la présence d'un niveau d'argiles beiges palustres dans le secteur de Gerzat-Chantemerle. Dès que l'on sort de ces zones à forte sédimentation palustre où les séquences sont bien dilatées, on a soit un niveau peu épais de colluvions argileuses remaniant CF3 en milieu humide (coupe de Brézet 2006), soit CF4 repose directement sur CF3 (coupe de Brézet 2000). En pied de versant granitique (site de Nohanent-lotissement), en position amont, CF4 repose directement sur CF3 alors qu'en se déplaçant vers l'aval (et donc le fond du vallon) on voit se développer un niveau de colluvions dont la base peut être ravinante et former des petites rigoles à parois abruptes (profondeur maximale = 0,30 m). Ce niveau colluvial n'est pas affecté par une pédogenèse ce qui tend à montrer que le laps de temps séparant la mise en place de CF4 et CF3 a été relativement court ; tout du moins assez court pour interdire le développement d'un sol sur ce versant. La proximité dans le temps de ces deux éruptions avait déjà été envisagée (Vernet, 1992) ; en effet, les données palynologiques situent ces deux retombées dans le Boréal. Au vue des coupes du secteur de la rue de Blanzat, G. Camus avait même envisagé que CF4 pût représenter la partie terminale phréatomagmatique d'une même éruption qui avait débuté par le dépôt de CF3 ; hypothèse qu'il faut aujourd'hui abandonner suite aux nouvelles données stratigraphiques mais aussi géochimiques (cf. infra).

Au-dessus de CF4, les observations réalisées sur les différents sites semblent toutes plaider pour qu'un laps de temps assez long se soit écoulé avant le dépôt d'un nouveau téphra. En effet, sur les coupes du secteur du Brézet, CF4 constitue la base d'un paléosol,

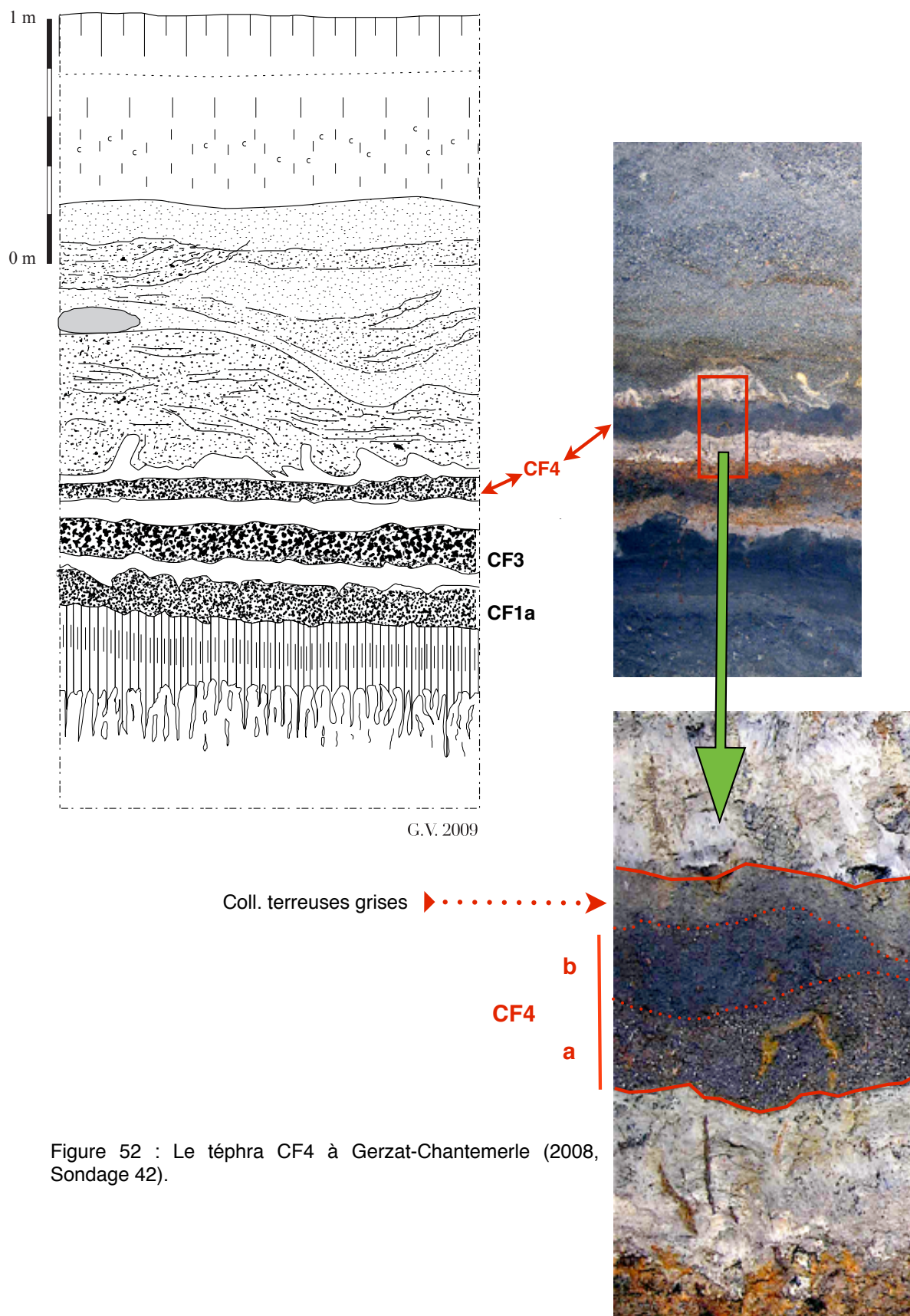


Figure 52 : Le téphra CF4 à Gerzat-Chantemerle (2008, Sondage 42).

certes peu épais mais bien marqué qui précède une reprise de sédimentation en milieu palustre et/ou alluviale. Cet indice d'arrêt de sédimentation palustre et de développement d'un sol est aussi visible sur les coupes de Gerzat-Chantemerle où il existe un mince niveau de colluvions terreuses brunes (épaisseur = 2 cm) chapeautant CF4 et sous un niveau d'argiles palustres beiges. En position de pied de versant granitique (par exemple sur le site des Quatre Routes), on remarque que le dépôt de CF4 intervient en fait au sein d'un niveau de colluvions grises à brunes et que le sommet de ce niveau (donc la partie postérieure au dépôt de CF4) présente des traces de pédogenèse (bioturbations, structuration, argilisation, présence de charbons de bois ...). Un sol s'est donc formé entre le dépôt de CF4 et celui de CF6. Ces données, recueillies dans des contextes sédimentaires variés, montrent l'existence d'une pause dans les apports téphriques après CF4. Cet arrêt de dépôts téphriques permet le développement de sols aussi bien en milieu de marais que sur les versants.

2.5.2.2 - Macrofaciès de CF4 :

Sur les coupes du secteur de Nohanent et des Quatre Routes, CF4 se présente sous un faciès identique : cendres grossières, noires, non litées et riches en xénoclastes du socle. L'observation des éléments laviques les plus gros montre la présence de :

- scories très vésiculées beiges à l'aspect de ponce,
- clastes anguleux de lave noire brillante à l'aspect trempé et présentant des cassures planaires et/ou conchoïdales.

La présence de ces clastes anguleux peut être considéré comme caractéristique de CF4 car aucune autre retombée ne contient ces éléments.

Sur la coupe du site des Quatre Routes, il faut signaler la présence de rares charbons de bois et d'une mince lamine (environ 1 cm d'épaisseur) de cendres noires fines et sans xénoclaste dans la partie terreuse (colluvions pédogénisés) qui se développe au sommet de CF4.

Sur les coupes du secteur de Gerzat/Brézet (Figure 52), CF4 se présente sous la forme d'un niveau (épaisseur = 8 cm) qui peut être divisé en deux lames :

- à la base CF4a : lamine régulière de 5 cm d'épaisseur de cendres grossières noires à nombreux xénoclastes. On note la présence de rares fragments laviques plus clairs à l'aspect ponçueux et d'assez nombreux clastes laviques anguleux à l'aspect trempé et aux fractures curvi-planaires identiques à ceux qui sont décrits sur les coupes de Nohanent et des Quatre Routes,
- au sommet CF4b : lamine irrégulières (pouvant être absentes localement) de 3 cm d'épaisseur maximale de cendres noires à granulométrie plus fine que CF4a et ne présentant pas de xénoclaste, ni de claste lavique anguleux.

2.5.2.3 - Morphologie des éléments laviques :

Comme nous venons de le voir ci-dessus l'observation sur le terrain de CF4 montre la présence caractéristique de pyroclastes présentant des morphologies diverses :

- des clastes anguleux à l'aspect trempé,
- des scories claires à l'aspect ponçeux.



Figure 53 : Hyaloclastes, de couleur noire brillante, non vésiculés et anguleux ; téphra CF4, (1) site de Gerzat-Chantemerle et (2) site de Nohanent-lotissement (binoculaire, LN réfléchie, X10). Fracturation plane (1) à conchoïdale (2).

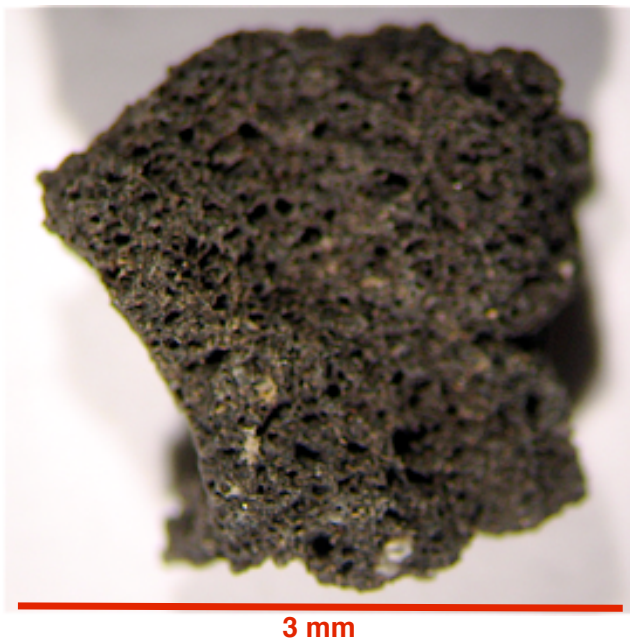


Figure 54 : Clastes vésiculés de trois types : (1) beige ponceux, (2) gris de forme planaire à surface cordelée et (3) noir ponceux (téphra CF4 du site de Nohanent-lotissement)(binoculaire, LN réfléchie, X10).

Afin de préciser ces différences morphologiques nous avons réalisé une étude à la binoculaire de la morphologie des pyroclastes de la fraction supérieure à 2 mm de CF4. Cette étude nous a permis de distinguer quatre types de clastes :

- type 1 : scories fortement vésiculées de couleur beige à l'aspect ponceux (Figure 54, n° 1),

- type 2 : scories faiblement vésiculées (vésicules de petite taille), de couleur grise et présentant une surface tourmentée à figures de fluidalité (Figure 54, n° 2),
- type 3 : scories fortement vésiculées, de couleur noire, à forme arrondie et à l'aspect plus ou moins ponceux (Figure 54, n° 3),
- type 4 : hyaloclastes anguleux, denses (aucune vésiculation) à l'aspect trempé, de couleur noire et à cassures planaires et/ou conchoïdales (Figure 53).

Le type 2 est nettement dominant (autour de 60 %), puis le type 4 est bien représenté (autour de 20 %) ainsi que le type 3 (autour de 15 %) et enfin le type 1 est rare (autour de 5 %).

Le type 4 (hyaloclaste anguleux noir) est considéré comme typique du téphra CF4. Sa présence confirme un dynamisme phréatomagmatique (Heiken et Wohletz, 1985) déjà bien marqué par la présence importante de xénoclastes du socle. Il est intéressant à noter que des pourcentages importants de « lithiques vitreux » ont été signalés dans des produits éruptifs attribués aux phases initiales du Pariou (cf. mémoire de Master de D. Malterre, 2005).

2.5.2.4 - La composition chimique de CF4 :

Afin de répondre définitivement sur la nature du magma juvénile de CF4, nous avons réalisé 14 nouvelles analyses sur des échantillons provenant de trois séquences téphrosédimentaires où CF4 est clairement positionné : site de Nohanent-lotissement, site des Quatre Routes à Clermont-Ferrand et site de Gerzat-Chantemerle.

Les échantillons étudiés :

- NOHA.5.1 : CF4, scories claires ponceuses triées (Nohanent-lotissement),
- NOHA.5.2 : CF4, scories grises triées (Nohanent-lotissement),
- NOHA.5.3 : CF4, clastes anguleux triés (Nohanent-lotissement),
- NOHA.5.4 : CF4, scories noires vésiculées triées (Nohanent-lotissement),
- NOHA.5.T : CF4, pyroclastes non triés (Nohanent-lotissement),
- 4R-CF4.1 : CF4, scories noires vésiculées triées (les Quatre Routes à Clt-Fd),
- 4R-CF4.2 : CF4, clastes anguleux triés (les Quatre Routes à Clt-Fd),
- 4R-CF4.3 : CF4, scories grises triées (les Quatre Routes à Clt-Fd),
- 4R-CF4.4 : CF4, scories claires ponceuses triées (les Quatre Routes à Clt-Fd),
- GER.9.1 : CF4a, clastes anguleux triés (Gerzat-Chantemerle),
- GER.9.2 : CF4a, scories noires vésiculées triées (Gerzat-Chantemerle),
- GER.9.3 : CF4a, scories grises triées (Gerzat-Chantemerle),
- GER.9.4 : CF4a, scories claires ponceuses triées (Gerzat-Chantemerle),
- GER.9.5 : CF4b, cendres noires non triées (Gerzat-chantemerle).

Le tableau (Figure 55) et le graphique (Figure 56) montrent clairement qu'il s'agit du même magma juvénile dans tous les échantillons (sauf GER.9.5) : trachyandésites (SiO_2 variant de 54,40 % à 56,10 % sur données corrigées de la perte au feu et ramenées à 100 %).

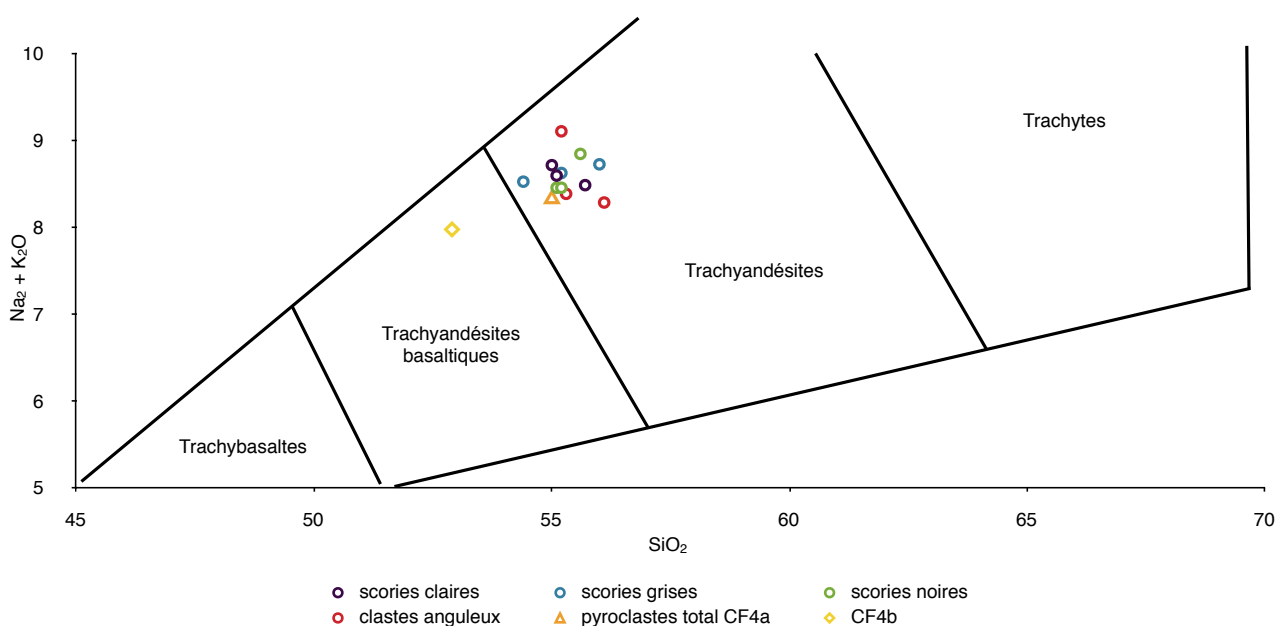
Référence de l'échantillon	Nature	SiO ₂	Na ₂ O + K ₂ O
NOHA.5.1	scories claires	55,10	8,60
4R-CF4.4	scories claires	55,00	8,72
GER.9.4	scories claires, CF4a	55,70	8,49
NOHA.5.2	scories grises	55,20	8,63
4R-CF4.3	scories grises	56,00	8,73
GER.9.3	scories grises, CF4a	54,40	8,53
NOHA.5.4	scories noires	55,10	8,46
4R-CF4.1	scories noires	55,20	8,46
GER.9.2	scories noires, CF4a	55,60	8,85
NOHA.5.3	clastes anguleux	55,20	9,11
4R-CF4.2	clastes anguleux	56,10	8,29
GER.9.1	clastes anguleux, CF4a	55,30	8,39
NOHA.5.T	pyroclastes total	55,00	8,33
GER.9.5	cendres noires, CF4b	52,90	7,98

Figure 55 : Teneur (%) en silice et en alcalins de CF4 suivant la nature de l'échantillon.

Pour l'échantillon GER.9.5 - qui correspond au niveau de cendres noires sommitales du secteur de Gerzat (dénommé CF4b) - le magma juvénile est moins riche en silice (52,90 %) et correspond à une trachyandésite basaltique. La présence de cette lamine tendrait à montrer une évolution vers un pôle plus basique du magma en fin d'éruption dont le dynamisme devient également plus magmatique.

Le but de ces analyses sur les différents types de pyroclaste était aussi de déceler une différence de magma liée à la morphologie. Les résultats montrent qu'il n'en ait rien et que l'on peut considérer que le magma est le même pour tous les types de pyroclaste. La variabilité de la morphologie ne traduit donc pas un mélange de magma comme nous l'avions démontré pour le téphra CF1b (Vernet, 1992).

Figure 56 : Géochimie des différents pyroclastes de CF4 sur 3 sites (Gerzat-Chantemerle, Nohanent-Lotissement et les Quatre Routes), de la totalité des pyroclastes de CF4a et des cendres noires de CF4b à Gerzat-Chantemerle. Données corrigées de la perte au feu et ramenées à 100 %.



2.5.2.5 - Les cortèges minéralogiques de CF4 :

Dans le cadre de la nouvelle caractérisation du téphra CF4, des analyses des minéraux lourds (sur la fraction granulométrique comprise entre 160 μm et 80 μm) ont été réalisées sur trois des nouveaux sites d'observation : Les Quatre Routes à Clermont-Ferrand, Gerzat-Chantemerle et Le Brézet.

Les échantillons étudiés (Figure 26) :

- GER.9 - CF4a,
- GER.9 - CF4b,
- 4R - CF4,
- BRE - CF4.

Pour le téphra CF4, les échantillons provenant des trois sites donnent le même résultat : 3 minéraux sont présents, par ordre d'importance nous avons le clinopyroxène vert (54 %, 69,7 % et 74 %) puis l'hornblende brune (34,5 %, 12,2 % et 10 %) et enfin l'olivine (4 %, 15,1 % et 16 %). Sur les sites de Gerzat et des Quatre Routes, on note la présence de l'apatite (4 % et 3 %). L'aspect des grains de ce minéral nous conduit à l'interpréter plutôt comme non magmatique mais provenant du socle. La même origine est proposée pour une amphibole verte (3,5 %) présente dans le cortège de CF4a à Gerzat-Chantemerle. La présence de ces xénominaux vient compléter la présence des xénoclastes issus du socle qui caractérisent le téphra CF4.

Pour la lamine sommitale (CF4b), présente uniquement sur le site de Gerzat-Chantemerle, le cortège montre la même trilogie de minéraux (clinopyroxène vert : 83 %, horn-

blende brune : 14 % et olivine : 3 %). Le fort pourcentage des clinopyroxènes est à noter mais n'est pas forcément caractéristique de cet épisode terminal de CF4. L'absence de xénominéraux confirme le caractère plus magmatique pour la fin de l'éruption responsable de l'émission de CF4.

2.5.2.6 - Conclusion :

Le téphra CF4 apparaît comme le témoin distal d'une éruption à caractère phréatomagmatique affirmé. Le faciès de dépôt est nettement un faciès de retombée (fall). Le magma juvénile de cette phase éruptive est de nature trachyandésite (teneur moyenne en SiO₂ de l'ordre de 55,30 %). Le cortège minéralogique est caractérisé par la trilogie, par importance décroissante, Clinopyroxène vert, hornblende brune et olivine. Les pyroclastes sont de quatre types, mais ces différentes morphologies ne révèlent pas de mélange de magmas. Ces produits sont caractérisés par la présence de :

- hyaloclastes (pyroclastes de type 4) anguleux, denses, noirs et à cassures curvi-planaires (tachylite),
- xénoclastes issus du socle.

La présence d'une lamine sommitale de cendres noires (CF4b du secteur de Gerzat-Chantemerle) indique une évolution du magma vers une composition plus basique (trachyandésite basaltique, SiO₂ = 52,90 %). Son faciès (absence de xénoclaste, de xénominéral et d'élément anguleux trempé) montre que l'éruption adopte un régime plus magmatique.

Les courbes granulométriques cumulatives (Figure 57) montrent peu de différences entre les sites d'observation et entre CF4a et la lamine sommitale CF4b. Dans tous les cas, il s'agit d'un dépôt bien classé de type retombée (fall).

Pour terminer, il convient de réfléchir sur l'origine possible de ce recouvrement téphrique. Nous avons remarqué que la présence de « lithiques anguleux » était un élément caractéristique de certains produits des phases initiales du Pariou (Malterre, 2005) et de CF4 ce qui nous conduit à proposer de rapporter CF4 à une (ou des) phase(s) de ce volcan. Si l'on recherche des magmas identiques à celui de CF4 dans les produits du Pariou, on constate qu'ils existent et correspondent aux phases de constitution du lac de lave trachyandésitique, à la coulée de l'Atrio et à la coulée Orientale (El Arabi, 1989). Si l'on attribue CF4 à la phase trachyandésitique du Pariou, alors la lamine sommitale (CF4b), de nature trachyandésitique basaltique, marquerait le début de la phase éruptive suivante du Pariou (nouveau Pariou) de constitution du cône trachytique basaltique.

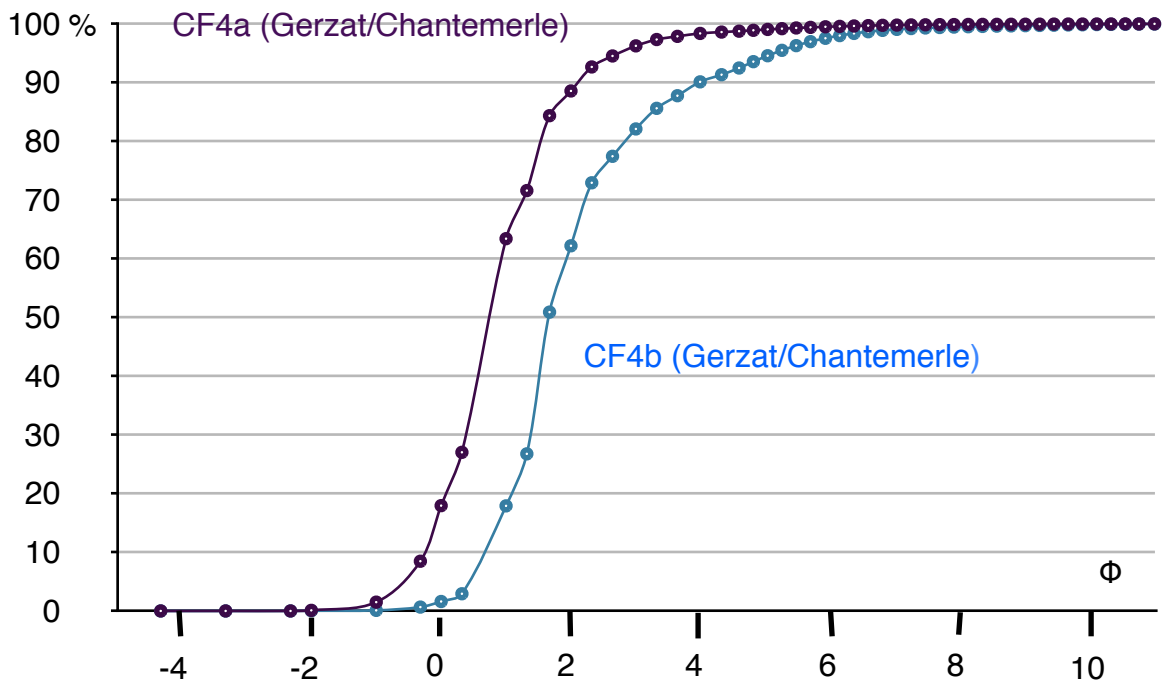
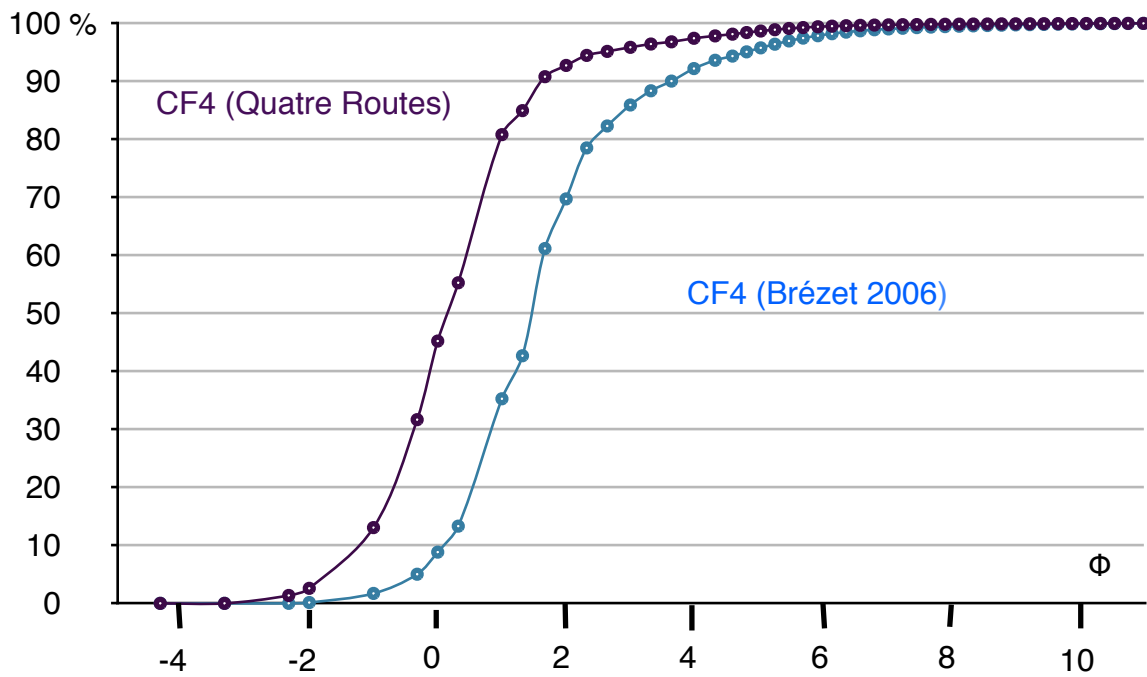


Figure 57 : Courbes cumulatives de CF4 sur trois sites du bassin de Clermont-Ferrand (63).

2.6 – La téphrochronologie de la Chaîne des Puys :

2.6.1 - La téphrochronologie, synthèse et présentation des téphras :

À l'issue de ma thèse (Vernet, 1992) deux téphrochronologies distinctes, sans relation entre les deux, étaient proposées :

- Une pour le bassin de la Morge avec 5 retombées : téphra de Cellule, téphra des Roches, téphra de la Moutade, téphra supérieur de Gimeaux et téphra supérieur de Rouzat.
- Une pour le bassin de Clermont-Ferrand et la grande Limagne avec 6 retombées, notées de CF1 à CF6.

Ces nouvelles données téphrostratigraphiques et chronologiques obtenues dans la cuvette de Clermont-Ferrand et en Limagne complètent les informations obtenues dans la Chaîne des Puys et dans les lacs et tourbières (Bastin *et al.*, 1990 ; Baudry et Camus, 1970 ; Camus, 1975 ; Guénet, 1986 ; Juvigné, 1987, Marambat, 1991).

À partir de 1993, une téphrochronologie regroupant l'ensemble des données a été proposée. Sa première présentation a eu lieu lors du colloque international INQUA SEQS de Rome (Vernet *et al.*, 1993).

En 1994, une publication (Raynal *et al.*, 1994) dans le bulletin de la *Société Préhistorique Française* présente cette téphrochronologie (et son implication sur les occupations préhistoriques) à la communauté des préhistoriens et des géologues du Quaternaire. La même année, une communication, au séminaire international de Ravello « *Il sistema Uomo-Ambiente tra Passato et Presente* » (Raynal, Vernet et Vivent, 1995), insiste sur cette coexistence Hommes/Volcans depuis le dernier interglaciaire en basse Auvergne.

En 1995, la téphrostratigraphie de la cuvette de Clermont-Ferrand est présentée à la communauté des géologues du Quaternaire lors de l'excursion de l'AFEQ (Vernet, 1995) et aux géologues de langue anglaise à la *Royal Geological Society* de Londres (Vernet et Raynal, 1995).

En 1998, cette téphrochronologie est présentée à la communauté internationale dans la revue « *Quaternary International* » (Vernet *et al.*, 1998).

En 2000, une première réactualisation de cette téphrochronologie a fait l'objet d'un Compte Rendu à l'Académie des Sciences (Vernet et Raynal, 2000). Cette nouvelle téphrochronologie est publiée en anglais en 2001 (Vernet et Raynal, 2001) dans *TEPHRA, chronologie et archéologie* (Actes du Symposium inter-congrès INQUA et UISPP : *Téphrochronologie et Coexistence Hommes-Volcans*).

En 2003, cette téphrochronologie est intégrée à une vision plus large de l'évolution récente de la Limagne dans une publication faisant suite à la réunion internationale de Ra-

vello : « *Climatic-environmental variations and impacts on man in the circum-méditerranéenne area during the Holocene, Territorio storico ed ambiente 3* » (Raynal, Vernet et Daugas, 2003).

L'année 2004 est une année importante dans le sens où mes travaux sur les téphras de la Chaîne des Puys ont été intégrés dans la 4^e édition de « *Volcanologie de la Chaîne des Puys* » (Boivin *et al.*, 2004). La 5^e édition de ce même ouvrage (Boivin *et al.*, 2009) a permis d'actualiser une seconde fois la téphrochronologie de la Chaîne des Puys.

Aujourd'hui, je présente les dernières données téphrostratigraphiques et chronologiques pour deux périodes :

* Les retombées volcaniques distales entre 70 et 30 ka :

Durant ces 40 000 ans, **75 retombées directes** sont enregistrées dans le sommet du remplissage lacustre du maar de Clermont-Ferrand. Elles sont caractérisées par des cortèges de minéraux denses dominés par un clinopyroxène vert en éclats et l'olivine (Vernet, 1992). Pour l'essentiel, il s'agit de magmas trachybasaltiques ($\text{SiO}_2 = 48\%$; Alcalins = 5,20 %). Cette phase de saupoudrage de produits éruptifs est également bien marquée dans les alluvions du bassin de la Morge (Vernet et Paquereau, 1991). L'ensemble de ces retombées est corrélé à l'activité ancienne de la Chaîne des Puys.

Dans la cuvette de Clermont-Ferrand, des dépôts limoneux, au toit de la coulée de Saint-Jacques, contiennent 12 lamines téphriques caractéristiques d'éruptions phréatomagmatiques. L'une de ces lamines a été datée vers 45 ka (Pilleyre, 1991). La lamine T9 présente un microfaciès (*Micro-Litage à Doublé de lamines - MLD*) (cf. chapitre 2.3.1) caractéristique de déferlante (surge) qui montre que la zone de Clermont-Ferrand a subi non seulement des retombées de cendres (fall) mais également les souffles orientés violents (*base surge*) des éruptions phréatomagmatiques liées à l'activité ancienne de la Chaîne des Puys. Ce dépôt (T9) portera le nom de **Téphra de Saint-Jacques**.

* Les retombées volcaniques distales tardiglaciaires et holocènes :

Quatorze recouvrements téphriques ont été reconnus et constituent une téphrostratigraphie fiable, même si l'identification du volcan source n'est pas toujours résolue. Nous avons du plus ancien au plus récent :

La retombée de Cellule :

C'est une cendre grossière, de composition trachyandésitique, puissante de 0,20 à 0,30 m, observée uniquement à Cellule dans le marais d'Orange, où elle est fortement cryoturannée. Le cortège minéralogique est dominé par un clinopyroxène vert (94,5 %). Elle a été située par la palynologie dans le Dryas ancien. Elle a été considérée comme un recouvrement lié à une phase éruptive ancienne du Puy de la Nugère (Vernet, 1992), mais l'absence de donnée fiable sur les phases anciennes de ce volcan nous conduit aujourd'hui à ne plus la rattacher à cet édifice.

	RETOMBEE DE CELLULE
Faciès	Cendre grossière grise
Epaisseur	0,20 à 0,30 m
Géochimie	Trachyandésite
Minéraux denses	Clinopyroxène vert (94,5 %)
Morphologie des pyroclastes	Clastes anguleux moyennement vésiculés
Microfaciès	néant
Type de dépôt	Retombée (fall)
Relation stratigraphique	En dessous la Retombée de la Moutade
Datation absolue	néant
Datation palyno	Dryas ancien
Milieu sédimentaire	Alluvion/colluvion
Volcan source Type d'éruption	Inconnu Eruption magmatique

Le complexe téphrique CF1a/CF1b :

Présent dans toute la Grande Limagne, il scelle le remplissage du site magdalénien d'Enval : c'est le premier téphra distal de la Chaîne des Puys retrouvé en contexte préhistorique.

Ce complexe téphrique est calé par le ^{14}C sur des paléosols sous-jacents (Ly 338/AA-22073 = 11 990 \pm 90 BP ; ARC 1697 = 11 460 \pm 90 BP ; ARC 2468 = 11 300 \pm 70 BP), directement sur des fragments organiques au sein de CF1b (Gif TAN 91102 = 12 010 \pm 150 BP) et sur des argiles organiques interstratifiées entre CF1a et CF1b (ETH-30437 = 11 270 \pm 90 BP). Enfin, signalons pour être complet la date de 10 600 \pm 180 BP (Gif n°2357) (Brousse et Rudel, 1973) obtenue sur un niveau organique sous-jacent à une retombée volcanique qui peut être identifiée comme étant CF1a/CF1b. Des analyses palynologiques, réalisées en 2000 sur le site du Brézet, confirment les datations ^{14}C . En effet, un niveau d'argiles palustres sous-jacent au paléosol daté à 11 460 BP livre un cortège sporopollinique qui permet de le situer à la fin de la phase Bölling (13 000 -12 000 ans BP). Un second niveau argileux immédiatement au-dessus du complexe téphrique livre un cortège sporopollinique caractéristique soit du début de la phase Préboréal (10 300 ans BP) soit de la fin de cette même période (9 000 ans BP).

D'après les relevés de plus de trente sites d'observation répartis en Limagne, il est constitué d'un niveau de base noir plus ou moins développé (CF1a ou retombée de la rue de la Barre), puis d'un niveau sommital gris (CF1b ou retombée des Roches). En général les deux niveaux se superposent directement et il n'existe pas de dépôt entre eux ; cependant dans une des stratigraphies du secteur de Gerzat (sondage 271, Les Pradeaux) un niveau d'argiles palustres a été observé et une datation radiocarbone AMS de 11 270 BP a été obtenue. Dans certaines stratigraphies, un seul des deux niveaux est présent : par exemple, CF1a seul à Gerzat/Chantemerle ou CF1b seul à Enval. L'absence d'un des deux niveaux en Limagne peut s'expliquer par un phénomène d'ablation (en particulier pour l'absence de CF1b). En revanche, le fait que CF1b soit présent seul dans les sites d'observation les plus en périphérie du lobe d'extension proposé peut montrer que CF1b possède une extension plus importante que CF1a. Dans les zones de marais de Limagne, CF1a repose toujours sur un paléosol de marais (argiles plastiques organiques grises à noires avec nombreuses traces de racines et d'herbes) formé sur des argiles palustres verdâtres remaniant des marnes oligocènes. Dans le secteur de St Beauzire, une mince lamine (3 à 4 mm) blanche était intercalée entre CF1a et le paléosol de marais. L'analyse a montré qu'il s'agissait de diatomite (71 % de frustules de diatomées, 27 % de kystes de Chrysophycées et 3 % de phytolithes).

CF1a se présente en lits centimétriques réguliers de couleur noire, moulant la topographie existante. Sa composition indique un magma trachyandésitique basaltique et ses minéraux caractéristiques sont un clinopyroxène vert (50 à 60 %) et une amphibole brune (40 à 50 %) (Figure 58 et Figure 26). Les pyroclastes adoptent majoritairement une morphologie anguleuse et ils sont constitués de verre noir présentant peu (ou pas) de vésicules (Figure 61). Cette morphologie est parfaitement comparable à la « *blocky morphology* » définie dans (1985) par Grant Heiken et Kenneth Wohletz et qui est considérée par ces auteurs comme caractéristique des clastes constituant des cendres (téphra) résultant d'éruptions phréatomagmatiques. Son extension semble limitée à la cuvette de Clermont, les secteurs de marais de Gerzat-Cébazat et du Brézet et la vallée du Bédat. Ce recouvrement (CF1a) possède une épaisseur moyenne de l'ordre de 0,15 m. Un calcul rapide montre que 1 500 m³ de cendres à l'hectare ont recouvert la Limagne, vers 12 000 ans BP.

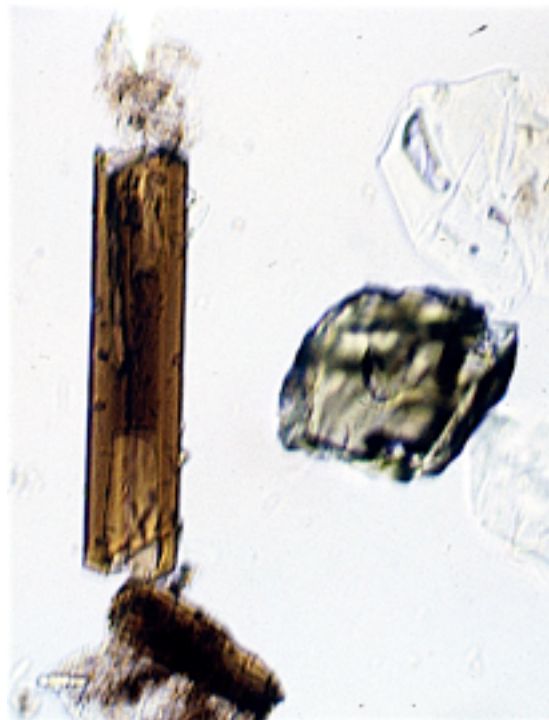


Figure 58 : Minéraux caractéristiques de CF1a (hornblende basaltique automorphe et clinopyroxène vert en éclat). (LN, X 400). Notons les traces de verre volcanique adhérant sur les prismes d'hornblende (*Bubble-Wall texture*).

CF1b montre un litage net, formé de lamines plus ou moins épaisses et il peut former des accumulations importantes. Sa composition entre dans le domaine des trachyandésites, avec comme minéraux caractéristiques, l'amphibole brune (49,5 % et 53 %) et un clinopyroxène vert (50,5 % et 47 %) (Figure 26). Les pourcentages de ces deux minéraux varient selon la granulométrie étudiée et l'éloignement du site d'observation par rapport au volcan-source (Vernet et Raynal, 1995). CF1b est présent dans plusieurs stratigraphies de la cuvette de Clermont, en Grande Limagne, dans le secteur de la Morge, et enfin, dans le site magdalénien d'Enval, où il adhère aux outils de pierre et aux ossements du niveau 1a et scelle la séquence archéologique, démontrant la pénécotemporanéité de l'occupation humaine et de l'éruption (Vernet et Raynal, 1995).

Une des caractéristiques principales de CF1b est la présence de deux faciès différents de fragments laviques, définis au MEB :

- des fragments laviques noirs anguleux, à vésiculation peu à très peu développée (Figure 59, n° 1) (composition géochimique à la limite des domaines des trachy-andésites basaltiques et des trachy-andésites),
- des fragments laviques clairs à l'aspect « moussu » ou « ponceux », à tendance fibreuse (Figure 59, n° 2) (composition géochimique de trachy-andésite).

On note une différence 1,47 % de SiO₂ entre les clastes clairs (56,23 %) et les clastes noirs (54,76 %).

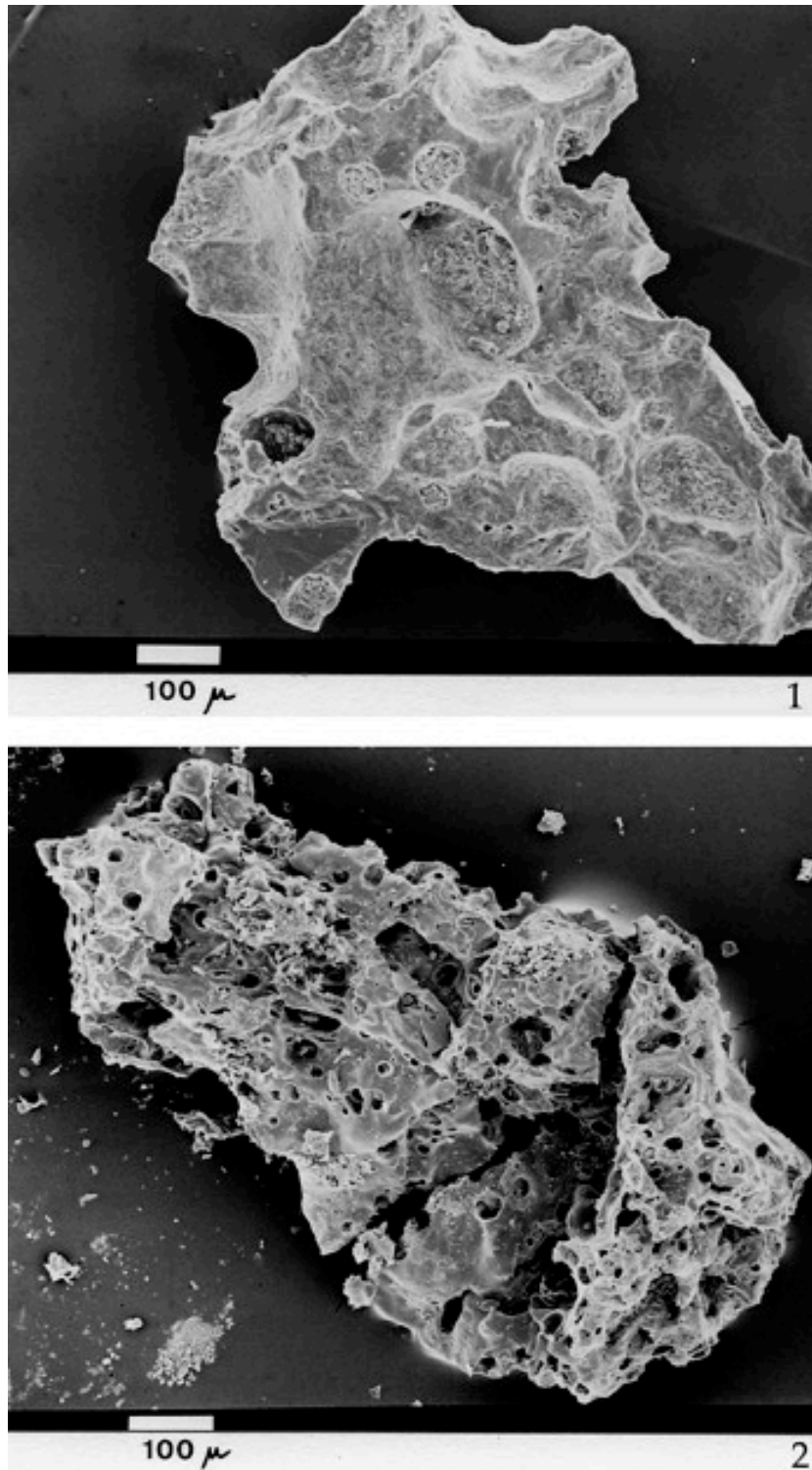


Figure 59 : Les deux types de fragments laviques de CF1b au MEB : 1 = fragment noir anguleux et peu vésiculé ; 2 = fragment clair à l'aspect ponceux.

L'analyse fine du complexe téphrique CF1a/CF1b permet une mise en corrélation avec un édifice de la Chaîne des Puys. L'éruption débute en effet par une phase à magma unique, de nature trachyandésitique basaltique (CF1a), puis se poursuit avec un mélange de magmas trachyandésitique basaltique et trachyandésitique, d'où la présence des deux faciès de fragments laviques dans CF1b. Seul le puy de la Nugère (et en particulier sa période trachyandésitique, phase explosive, la Nouvelle Nugère) a fourni des laves où l'on observe tous les stades de mélange de deux magmas lors d'une phase éruptive d'âge compatible (Gourgaud et Camus, 1984). Le puy de la Nugère (la Nouvelle Nugère) est donc la source du complexe téphrique CF1a/CF1b. Le lobe de dispersion de ce complexe téphrique vers l'Est est important et récemment ce couple de téphras a été mise en évidence dans des sites du Jura et du Plateau Suisse (Walter-Simonnet *et al.*, 2008) faisant de la phase explosive de La Nugère l'une des plus violente de la Chaîne des Puys. Les deux téphras, qui lui sont associés, deviennent des marqueurs stratigraphiques incontournables de l'Alleröd à l'échelle régionale mais aussi extra-régionale (Figure 60).

	CF1a	CF1b
Faciès	Cendre noire légèrement litée	Cendre grise à litage net
Epaisseur	0,15 m à 0,20 m	0,20 m à 0,50 m
Géochimie	Trachyandésite basaltique	Trachyandésite
Minéraux denses	Clinopyroxène vert (50 à 60 %) et amphibole brune (40 à 50 %)	Amphibole brune (49,5 % et 53 %) et un clinopyroxène vert (50,5 % et 47 %)
Morphologie des pyroclastes	Clastes anguleux de verre noir, peu à pas vésiculés Rares xénoclastes	Clastes noirs anguleux, à vésiculation peu à très peu développée Clastes clairs à l'aspect « moussu »
Microfaciès	néant	Discret litage
Type de dépôt	Retombée (fall)	Retombée (fall)
Relation stratigraphique	En dessous de CF1b	Au-dessus de CF1a En dessous de CF2 ou CF3
Datation absolue	¹⁴ C sur paléosol sous CF1a : en moyenne 11 580 BP	¹⁴ C sur argiles organiques interstratifiés entre CF1a et CF1b : 11 270 ± 90 BP ¹⁴ C sur restes organiques dans CF1b : 12 010 ± 150 BP

Datation palyno	Alleröd	Alleröd
Milieu sédimentaire	Repose sur un paléosol alleröd Dans sédiments lacustres, palustres, colluviaux et alluviaux	Repose directement sur CF1a Dans sédiments lacustres, palustres, colluviaux et alluviaux et remplissage d'abri-sous-roche
Volcan source	Puy de la Nugère (période trachyandésitique, phase explosive, Nouvelle Nugère)	Puy de la Nugère (mélange de magma, phase explosive, Nouvelle Nugère)
Type d'éruption	Eruption explosive paroxysmale	Eruption explosive paroxysmale

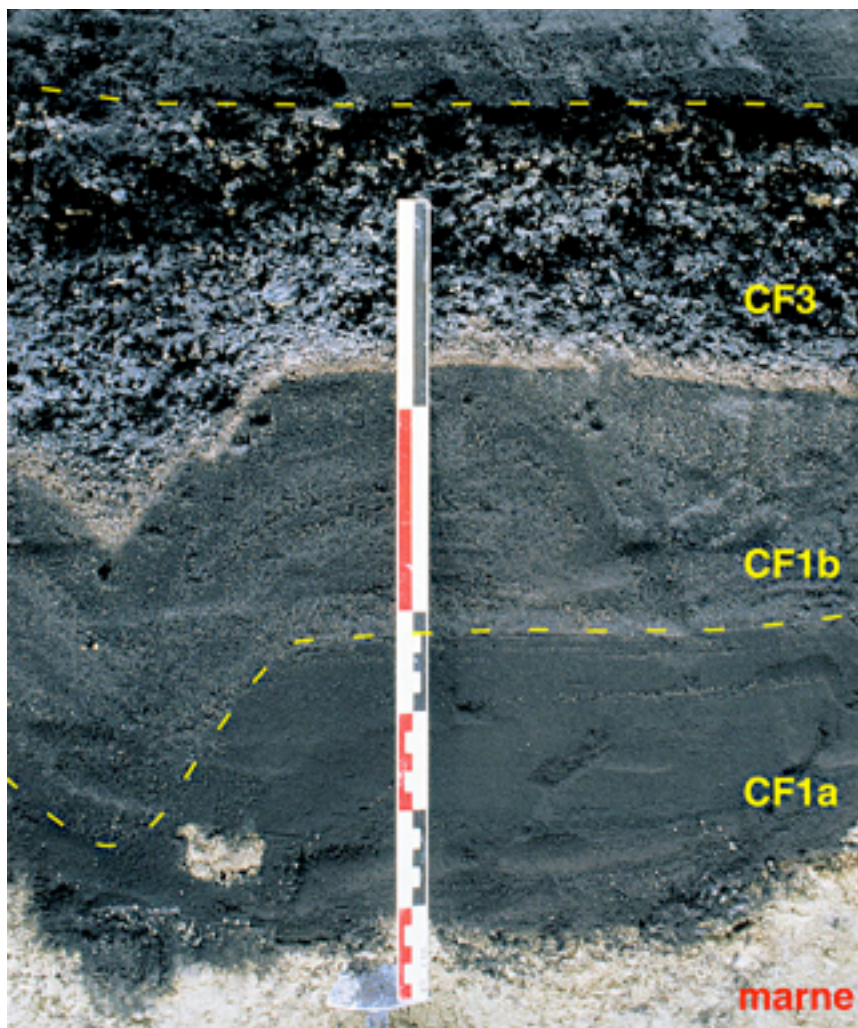


Figure 60 : Le complexe téphrique CF1a/CF1b, marqueur de l'Alleröd en Limagne, sous le téphra CF3.

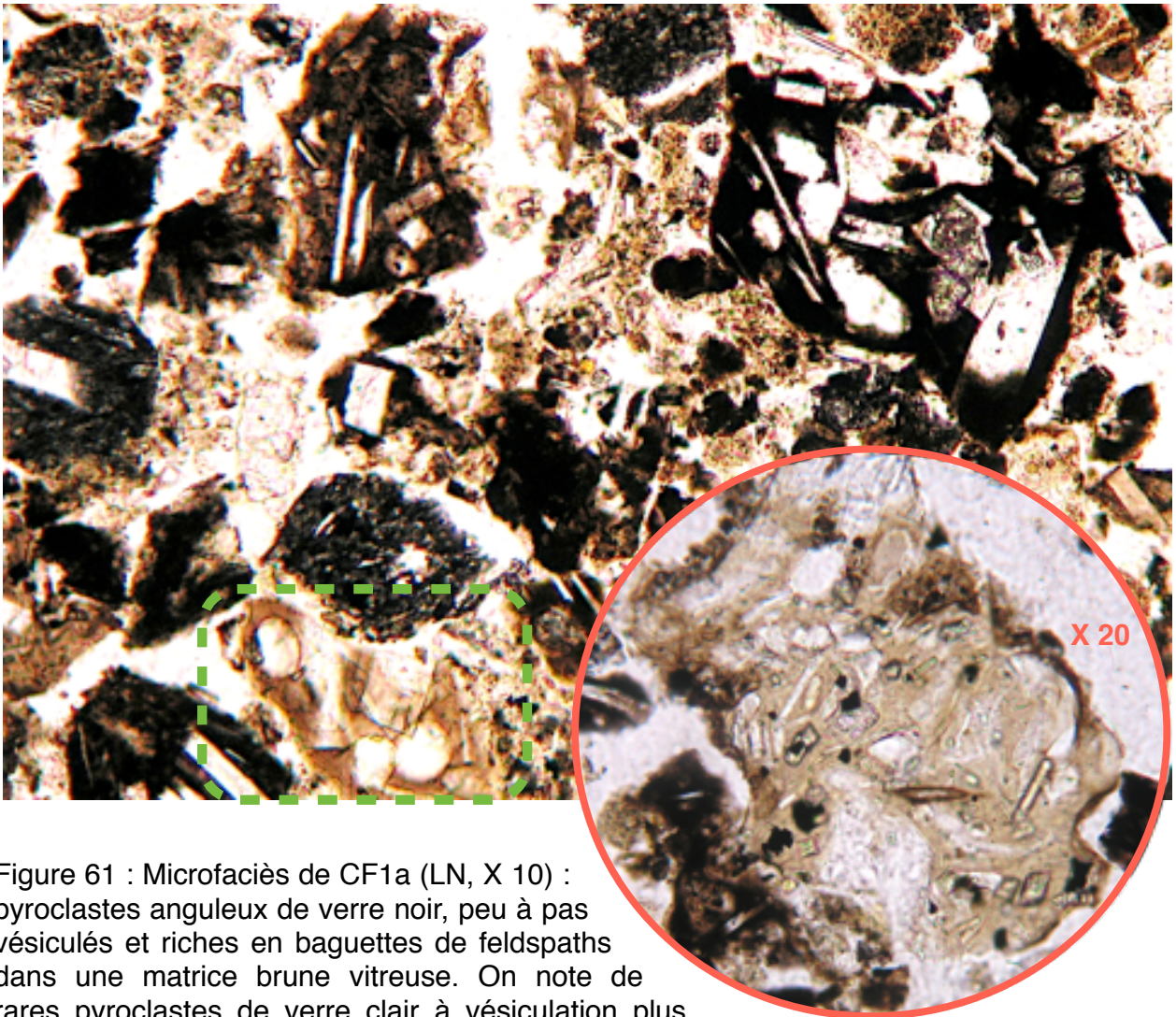


Figure 61 : Microfaciès de CF1a (LN, X 10) : pyroclastes anguleux de verre noir, peu à pas vésiculés et riches en baguettes de feldspaths dans une matrice brune vitreuse. On note de rares pyroclastes de verre clair à vésiculation plus marquée (cercle rouge et rectangle vert).

La Retombée de la Moutade :

C'est une cendre grossière noire à composition de trachyandésite basaltique, reconnue en différents points de Limagne septentrionale (Marais d'Orange, vallée du Sardon et marais de Villeneuve-les-Cerfs). Le cortège minéralogique est nettement dominé par l'amphibole brune (70 à 85 %). La morphologie des pyroclastes montre que les individus anguleux, peu vésiculés et constitués de verre noir opaque dominant largement. Ils révèlent plutôt d'une phase éruptive explosive présentant un caractère phréatomagmatique plus ou moins marqué. Elle est située par la palynologie dans l'Alleröd, comme les téphras CF1a/CF1b. Le volcan source proposé est le Puy de la Nugère et plus précisément la phase explosive initiale de la Nouvelle Nugère. Les âges obtenus par thermoluminescence (TL) (Vernet *et al.*, 1990), C14 et palynologie (Vernet et Paquereau, 1991) aboutissent à un âge

moyen de 13 700 ± 400 ans. Son influence sur la végétation a été mise en évidence sur le site de Villeneuve-les-Cerfs (Raynal *et al.*, 1998).

	RETOMBEE DE LA MOUTADE
Faciès	Cendre grossière noire
Epaisseur	0,10 à 0,15 m
Géochimie	Trachyandésite basaltique
Minéraux denses	Amphibole brune dominante (70 % à 85 %)
Morphologie des pyroclastes	Clastes anguleux, peu vésiculés, verre noir opaque
Microfaciès	localement léger litage
Type de dépôt	Retombée (fall)
Relation stratigraphique	Au dessus de la Retombée de Cellule
Datation absolue	TL et ¹⁴ C donnent un âge moyen de 13 700 ± 400 ans
Datation palyno	Alleröd
Milieu sédimentaire	Dans un paléosol de marais ou alluvion
Volcan source Type d'éruption	Puy de la Nugère (phase explosive initiale, Nouvelle Nugère) Eruption explosive à caractère phréatomagmatique

Le Tephra supérieur de Gimeaux :

C'est une cendre grossière (Fisher, 1961) noire qui se présente en un mince niveau (3 à 4 cm) compact, non lité et sans granoclassement conservé dans des niveaux argilo-organiques préservés sous les travertins hydrothermaux des sources de Gimeaux et Rouzat. L'étude de la morphologie des pyroclastes (au microscope optique et au MEB) montre des pyroclastes de verre sombre, moyennement vésiculés et contenant des microlites de plagioclase et clinopyroxène. Son faciès classe ce téphra dans les retombées (fall). Dans les vésicules ouvertes à la surface des pyroclastes nous avons observé (au MEB) des microagrégats organiques (diatomées et grains de pollens). Le magma juvénile est de composition trachyandésitique et son cortège minéralogique est dominé par le clinopyroxène vert (65,35 %). La synthèse récente (cf. chapitre 2.4) sur les téphras liés au fonctionnement du puy de La Nugère permet de rapporter le Téphra supérieur de Gimeaux au puy de La Nugère et plus précisément à sa phase effusive terminale (constitution de lac de lave et coulées de La Nugère et puy de la Louve). Ce téphra n'est pas daté directement mais il

est légèrement postérieur à CF1b (téphra des Roches) qui est daté de $12\ 010 \pm 150$ BP sur la coupe des sources de Gimeaux (Vernet, 1992, Vernet et Raynal, 1995).

	TEPHRA SUPERIEUR DE GIMEAUX
Faciès	Cendre grossière noire
Epaisseur	0,03 à 0,04 m
Géochimie	Trachyandésite
Minéraux denses	Clinopyroxène vert (65,35 %)
Morphologie des pyroclastes	Pyroclastes de verre sombre, moyennement vésiculés et contenant des microlites de plagioclase et clinopyroxène.
Microfaciès	néant
Type de dépôt	Retombée (fall)
Relation stratigraphique	Au-dessus de CF1b (retombée des Roches)
Datation absolue	néant
Datation palyno	néant
Milieu sédimentaire	Dans niveaux argilo-organiques sous les travertins hydrothermaux
Volcan source	Puy de la Nugère (phase effusive terminale (constitution de lac de lave et coulées de La Nugère et puy de la Louve)
Type d'éruption	Eruption effusive, type strombolien

Le téphra CF2 (ou retombée de la rue Descartes) :

De composition de trachyandésite basaltique, avec les minéraux caractéristiques que sont le clinopyroxène vert (largement dominant avec 77 %) et l'amphibole brune (20 %), ce téphra se présente en lits centimétriques de couleur grise, à xénoclastes de socle nombreux. CF2 est présent en de nombreux points de la cuvette de Clermont : rue Descartes, rue Sous-les-Vignes, rue de Blanzat, rue de Montjuzet et les Quatre Routes. Daté directement par TL à $8\ 700 \pm 900$ (Cler 114), ce téphra est calé par la palynologie vers la transition Pré-Boréal/Boréal (Raynal *et al.*, 1998).

	TEPHRA CF2
Faciès	Cendre grossière grise

Épaisseur	Variable (en moyenne 0,15 m) et souvent remanié
Géochimie	Trachyandésite basaltique
Minéraux denses	Clinopyroxène vert (77 %) et amphibole brune (20 %)
Morphologie des pyroclastes	Pyroclastes de verre sombre, moyennement vésiculés et nombreux xénoclastes
Microfaciès	Litages mais pouvant être du remaniement
Type de dépôt	Retombée (fall)
Relation stratigraphique	Au-dessus de CF1b et en dessous de CF3
Datation absolue	TL : 8 700 ± 900 ans
Datation palyno	Transition Pré-Boréal/Boréal
Milieu sédimentaire	Dans colluvions sur versants marno-calcaires
Volcan source	Inconnu
Type d'éruption	Eruption phréatomagmatique

Le téphra CF3 (ou retombée de la rue de Montjuzet) :

Avec une composition de trachybasalte et des minéraux caractéristiques qui sont l'amphibole brune (57,5 % et 62 %), le clinopyroxène vert (27,5 % et 36,4 %) et l'olivine (15 % et 1,6 %), ces cendres moulent la topographie et sont présentes dans toutes les coupes étudiées dans la cuvette de Clermont et dans le secteur de Cébazat-Gerzat. Elles présentent un faciès très particulier : à la base, un mince niveau rougeâtre dont les caractéristiques microfaciologiques et la morphologie des pyroclastes permettent de la considérer comme un dépôt dû à un souffle violent (blast, base surge), puis un mélange de produits caractéristiques d'une retombée (fall) dû à une éruption mixte (magmatique et phréatomagmatique), enfin des scories très vésiculées caractéristiques d'une retombée (fall) de panache strombolien (Vernet, 1992). Ces cendres sont situées par la palynologie dans le Boréal cependant une date ¹⁴C les place dans le Dryas récent. Leur origine reste incertaine, cependant des observations récentes (Boivin P., Miallier D. et Vernet G. ; novembre 2010), à l'Est du Puy de Dôme (secteur du puy Couleyras ; Figure 23 bis), montrent un dépôt pyroclastique présentant toutes les caractéristiques de CF3 (en particulier les lamines - CF3-1a et CF3-1b - de base de type « blast »). Ce dépôt repose sur un autre téphra qui peut être rapporté au complexe téphrique CF1a/CF1b. Il faut signaler des bombes en chou-fleur (assez nombreuses de taille autour de 5 cm et quelques individus de taille comprise entre 10 et 15 cm dans le niveau supérieur du dépôt pouvant être CF3. La présence de ces bombes implique que le point éruptif responsable de ce téphra (et donc de CF3) est à

rechercher dans un environnement proche. Le Petit Puy de Dôme (et en particulier le cratère nommé « Nid de la Poule ») pourrait être un candidat possible (?) ...

	TEPHRA CF3
Faciès	Faciès très particulier : à la base, un mince niveau rougeâtre, dépôt de blast (base surge), puis un mélange de produits caractéristiques d'une retombée (fall) dû à une éruption mixte (magmatique et phréatomagmatique), enfin des scories très vésiculées caractéristiques d'une retombée (fall) de panache strombolien
Epaisseur	Variable (en moyenne 0,25 m)
Géochimie	Trachybasalte
Minéraux denses	Amphibole brune (57,5 % et 62 %), clinopyroxène vert (27,5 % et 36,4 %) et olivine (15 % et 1,6 %)
Morphologie des pyroclastes	Pyroclastes compacts noirs dans la lamine de base Pyroclastes compacts noirs et pyroclastes vésiculés dans niveau intermédiaire Pyroclastes bleutés très vésiculés (scories squelettiques) dans niveau supérieur
Microfaciès	Pour la lamine de base : matrice constituée de particules fines pulvérisées et extrême fragmentation des minéraux volcaniques, des xénoclastes
Type de dépôt	Blast (surge) pour la lamine de base puis retombée (fall) pour les autres phases
Relation stratigraphique	Au-dessus de CF2 ou de CF1a/CF1b En dessous de CF4
Datation absolue	10 300 ± 180 BP (réf. : Gif 2359) (sur CF3)
Datation palyno	Boréal
Milieu sédimentaire	Dans colluvions sur versants marno-calcaires, sédiments palustres et alluvions
Volcan source	Inconnu
Type d'éruption	Eruption évoluant d'une phase initiale phréatomagmatique explosive, puis mixte magmatique/phréatomagmatique et se terminant par une phase magmatique sub-plinnienne

Le téphra CF4 (ou retombée ancienne de la rue de Blanzat) :

Cette retombée présente une composition de trachyandésite (teneur moyenne en SiO_2 de l'ordre de 55,30 %). Ses minéraux caractéristiques sont le clinopyroxène (toujours dominant : 54 %, 69,7 % et 74 %), l'amphibole brune (34,5 %, 12,2 % et 10 %) et l'olivine (4 %, 15,1 % et 16 %). CF4 est présent rue Sous-les-Vignes, rue de Blanzat, rue de Montjuzet et sur le site des Quatre Routes. Sur le site des Gravanches (commune de Clermont-Ferrand) (Figure 63), son épaisseur atteint les 10 cm et il est surmonté d'un niveau organique puis d'argiles palustres. Il se superpose directement à CF3 et la palynologie le situe également dans le Boréal. Les pyroclastes sont de quatre types, mais ces différentes morphologies ne révèlent pas de mélange de magmas. Ces produits sont caractérisés par la présence de pyroclastes de type 4 (lithique anguleux). Ils sont denses, non vésiculés, noirs et à cassures curvi-planaires (tachylite). Les xénoclastes issus du socle sont abondants dans ce dépôts.

Le téphra CF4 apparaît comme le témoin distal d'une éruption à caractère phréatomagmatique affirmé. Le faciès de dépôt est nettement un faciès de retombée (fall).

La présence d'une lamine sommitale de cendres noires (appelée CF4b et uniquement présente dans le secteur de Gerzat-Chantemerle) indique une évolution du magma vers une composition plus basique (trachyandésite basaltique, $\text{SiO}_2 = 52,90$ %). Son faciès (absence de xénoclaste, de xéminéral et d'élément anguleux trempé) montre que l'éruption adopte un régime plus magmatique.

L'origine possible de ce recouvrement téphrique est, peut-être, à rechercher dans les phases initiales du Pariou (Malterre, 2005) et plus précisément les phases de constitution du lac de lave trachyandésitique, à la coulée de l'Atrio et à la coulée Orientale (El Arabi, 1989). Si l'on attribue CF4 à la phase trachyandésitique du Pariou, alors la lamine sommitale (CF4b), de nature trachyandésitique basaltique, marquerait le début de la phase éruptive suivante du Pariou (nouveau Pariou) de constitution du cône trachytique basaltique.

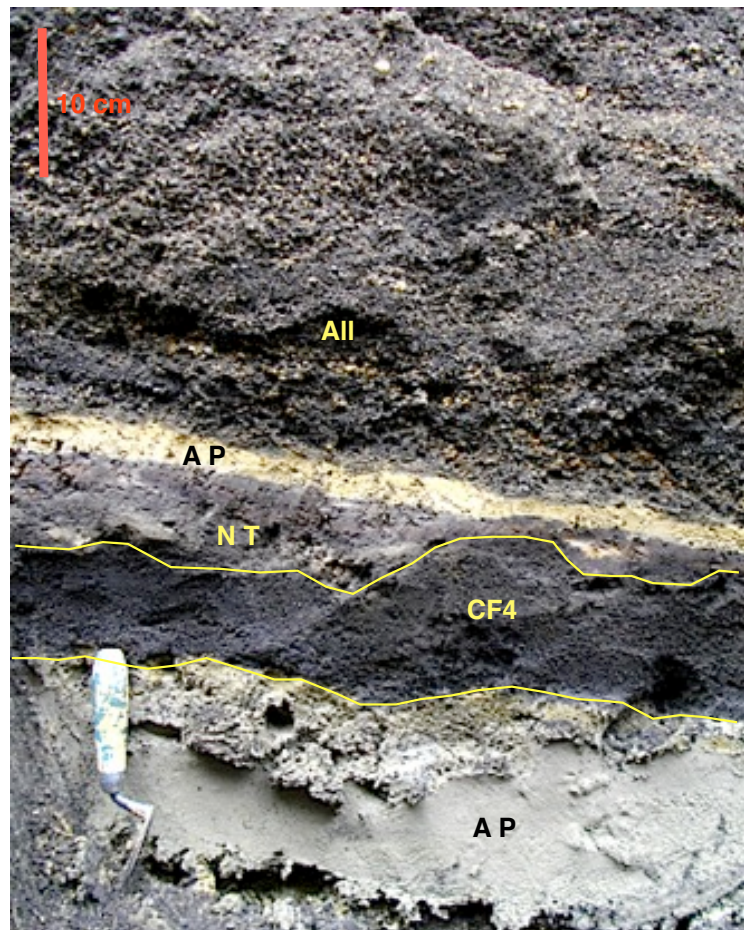


Figure 63 : Le téphra CF4 dans le secteur des Gravanches (Clermont-Ferrand, 63). NT : niveau organique ; A P : argiles palustres ; All : alluvions mélanocrates (téphra CF6 remanié).

Des charbons de bois récoltés dans des colluvions pédogénisées présentes sur CF4 dans le site des Quatre Routes donne un âge de $10\,760 \pm 45$ BP (10 897 à 10 829 av. J.-C.) (D. Miallier, com. perso.) qui, si cette datation est confirmée, nous oblige à « vieillir » CF4 mais aussi CF3.

	TEPHRA CF4
Faciès	Cendre grise à xénoclastes blancs, non litée. Une lamine sommitale de cendres noires (CF4b) dans certaines séquences.
Epaisseur	Variable suivant le site : 2 cm à 8 cm.
Géochimie	Trachyandésite (trachyandésite basaltique pour CF4b)
Minéraux denses	Clinopyroxène dominant puis amphibole brune et olivine en minéraux accessoires.
Morphologie des pyroclastes	Pyroclastes caractéristiques : lithiques anguleux (tachylite). Ils sont denses, non vésiculés, noirs et à cassures curvi-planaires.
Microfaciès	Néant. Toujours homogène (absence de litage).
Type de dépôt	retombée (fall)
Relation stratigraphique	Au-dessus de CF3 En dessous de CF6 ou CF5. Développement d'une pédogenèse sur CF4.
Datation absolue	$10\,760 \pm 45$ BP (10 897 à 10 829 av. J.-C.) sur charbons de bois inclus dans le paléosol (D. Miallier, com. perso.)
Datation palyno	Boréal
Milieu sédimentaire	Colluvions, alluvions et formations de marais
Volcan source	Phases initiales du Pariou (?)
Type d'éruption	Eruption explosive à caractère phréatomagmatique affirmé et évoluant vers une éruption magmatique (CF4b).

Le téphra CF5 (ou retombée de la rue Sous-les-Vignes)/ Téphra Y :

Cette lamine (CF5) est présente dans une seule des coupes stratigraphiques de la cuvette de Clermont-Ferrand (rue Sous-les-Vignes à Montferrand) et également en Limagne, dans le secteur de Gerzat. Dans cette dernière zone, plusieurs niveaux de téphras acides repé-

rés en 1971 (Daugas et Tixier, 1975) ont été ultérieurement situés par la palynologie dans le Boréal (Raynal et al, 1998). Une très vaste dispersion a récemment été proposée pour des téphras trachytiques de la Chaîne des Puys (Vasset ou Kilian) d'âge Boréal (Juvigné, 1991 et 1992 ; Juvigné *et al.*, 1992). Le téphra CF5 est une cendre grossière formant une lamine centimétrique (0,03 m), discontinue, de couleur crème à rose pastel, avec un granoclassement local. Elle présente une composition de rhyolite et les minéraux caractéristiques sont le clinopyroxène vert (55 %), le zircon (16 %), l'amphibole brune (14 %) et l'apatite (10 %). Elle est calée palynologiquement vers la transition Boréal/début de l'Atlantique (Vernet *et al.*, 1996). L'âge de cette retombée trachytique exclut de la rapporter au Puy de Dôme et sa composition minéralogique, caractérisée par l'absence de sphène, élimine le Puy Chopine (Bentor, 1954). Dans un premier temps, le cratère Kilian a été proposé comme volcan source (Vernet, 1992) ; aujourd'hui, sa position stratigraphique par rapport à CF6 et CF7 implique plutôt une attribution au Puy Vasset (Vernet et Raynal, 2008), l'éruption de ce dernier paraissant en outre beaucoup plus importante (Michon, 1996).

Bien que le microfaciès caractéristique de CF5 soit des clastes de verre incolore, anguleux ou arrondis, non vésiculés, à baguettes de feldspath, il faut signaler la présence d'écharde-ponceuses et de très rares clastes ponces à vésicules sphériques (Figure 62).

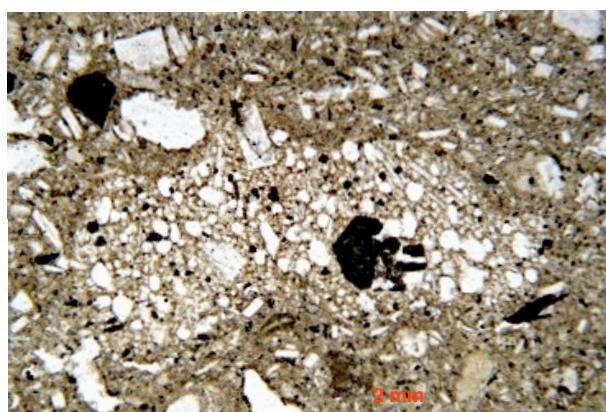
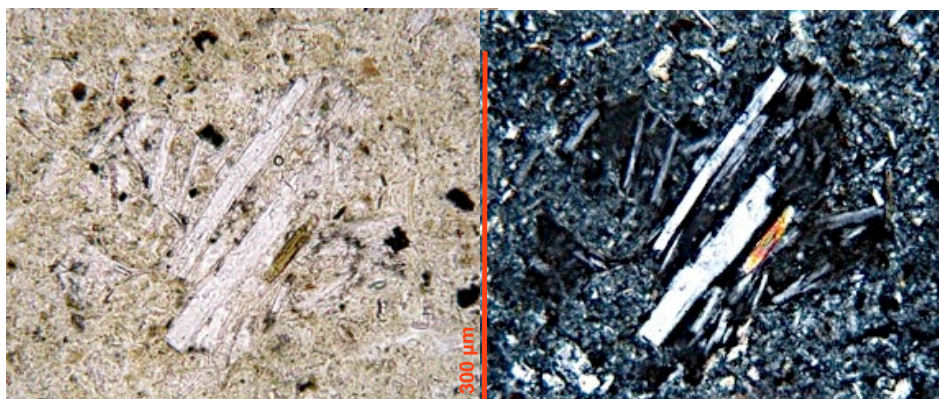
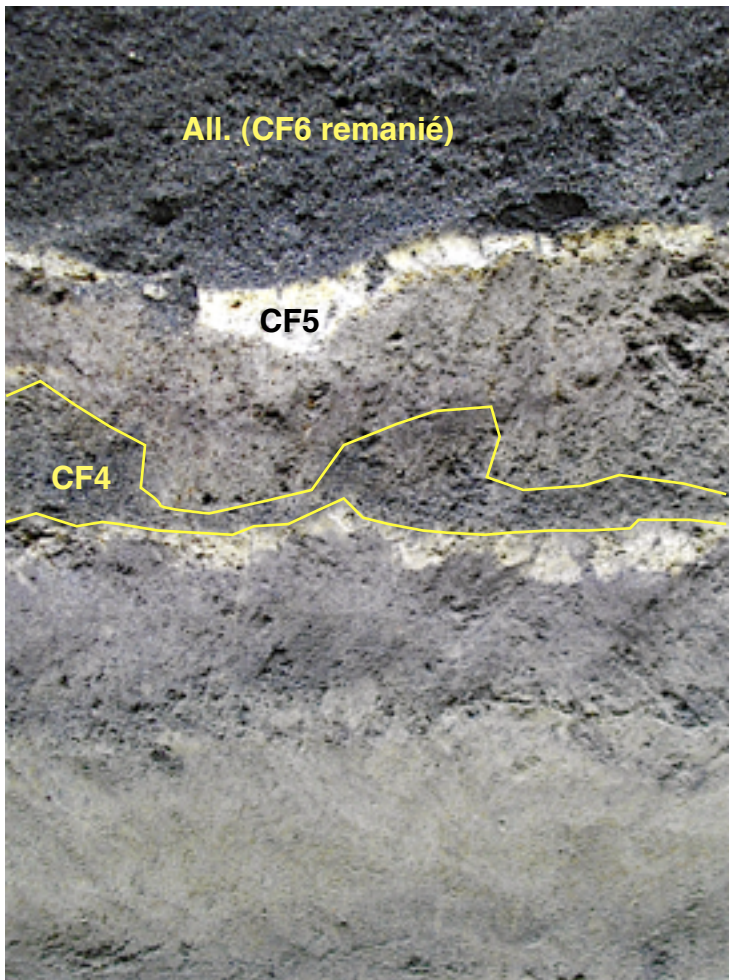


Figure 62 : Morphologie des éléments laviques de CF5 (échantillon du secteur de Gerzat). (1) : écharde ponceuse riche en lattes de plagioclases (le contour de l'écharde est plus visible en Lumière Polarisée); (2) : ponce à vésicules sphériques dans une matrice riche en écharde de verre et fragments vitreux non vésiculés à lattes de feldspath.



Récemment, sur deux séquences téphriques observées sur la commune de Nohanent, un niveau limoneux beige à pyroclastes trachytiques a été reconnu au-dessus de CF4 et sous CF6 (lui-même recouvert par CF7). Son étude en lame mince de grand format a permis de montrer qu'il était formé de plusieurs lamines résultant de retombées (fall), d'écoulements pyroclastiques (flow) et même de souffles éruptifs (surge). La nature des pyroclastes est identique à celle des pyroclastes de CF5. Nous proposons de voir dans ce nouveau dépôt pyroclastique (appelé pour l'instant Téphra Y) un équivalent latéral (plus proximal) de CF5 : pour le Téphra Y, des faciès de coulées pyroclastiques (flow) et/ou de déferlantes (surge) au débouché de ravins entaillant l'abrupt de la faille bordière occidentale de la Limagne et pour CF5, un faciès de retombée (fall) dans les marais de la plaine de la Limagne.

Figure 64 : Le téphra CF5 dans le secteur des Gravanches (commune de Clermont-Ferrand).

	TEPHRA CF5	TEPHRA Y
Faciès	Cendre grossière de couleur crème à rose pastel, avec un granoclassement local.	Niveau limono-cendreuse beige clair homogène ou à litages internes
Epaisseur	0,03 m	De 0,10 m à 0,25 m
Géochimie	Rhyolite	Pas d'analyse
Minéraux denses	Clinopyroxène vert (55 %), zircon (16 %), amphibole brune (14 %) et apatite (10 %)	En lame mince, Clinopyroxènes verts et amphiboles brunes et rares biotites

Morphologie des pyroclastes	Clastes de verre incolore, anguleux ou arrondis, non vésiculés, à baguettes de feldspath	Clastes de verre incolore, anguleux ou arrondis, non vésiculés, à baguettes de feldspath
Microfaciès	néant	Structure en « pseudo-sables » à proto-lapilli accréionnés (PLA) Microfaciès MLD
Type de dépôt	Retombée (fall)	Coulée pyroclastique (flow) mais contient localement des lamines de déferlantes (surge) et de retombée (fall)
Relation stratigraphique	Au-dessus de CF4 ou CF3 En dessous de CF7	Au-dessus de CF4 et sous CF6 et CF7
Datation absolue	néant	néant
Datation palyno	Transition Boréal/début de l'Atlantique	néant
Milieu sédimentaire	Dans colluvions marno-calcaires et les formations de marais	Dans colluvions
Volcan source	Puy Vasset	Puy Vasset
Type d'éruption	Eruption explosive rhyolitique	Eruption explosive rhyolitique

La Formation de Marsat :

La formation de Marsat a été identifiée en 1995 au lieu-dit Les Pradelles, où elle surmonte deux niveaux archéologiques (épipaléolithique et mésolithique). Elle est constituée d'une coulée boueuse - lahar primaire résultant de l'évolution distale d'une coulée pyroclastique (flow) - à fragments anguleux de trachyte et empreintes végétales, d'alluvions torrentielles - lahar secondaire - (composées exclusivement de blocs de trachyte) et de retombées (fall) de cendres fines. La géochimie (à la limite des domaines trachyte/rhyolite ; 69,36 % de SiO₂) et la minéralogie de ces produits (présence du sphène) permettent de les attribuer sans ambiguïté au Puy Chopine, distant de plus de 11 km du site étudié. L'âge de l'éruption, vers 8 460 BP, est l'un des plus sûrs de la Chaîne des Puys car il repose sur 9 datations cohérentes, faites essentiellement par la méthode du ¹⁴C sur des bois carbonisés (Camus, 1975 ; Juvigné, 1987 ; Raynal *et al.*, 1981 ; Vernet *et al.*, 2001 ; A. de Goër, inédit). L'importance et la nature des dépôts éruptifs du Puy Chopine découverts à Marsat changent de façon radicale la vision que les volcanologues avaient jusqu'à présent des éruptions trachytiques de la Chaîne des Puys : nul n'imaginait qu'une coulée boueuse synéruptive ait affecté la Limagne à plus de 11 km de son point d'émission vers 9 700 ans avant nous (Vernet *et al.*, 2001 ; Vernet et Raynal, 2002).

	Formation de Marsat Coulée boueuse	Formation de Marsat Alluvions synéruptives	Formation de Marsat Retombées
Faciès	Niveau limoneux compact et homogène à fragments anguleux de trachyte et empreintes végétales	Alluvions grossières : galets de trachyte dans matrice de graviers également de nature trachytique	Accumulation de fines lamines de matériel fin trachytique
Epaisseur	0,20 m	0,40 m à 3 m dans les chenaux	0,35 m à 0,40 m
Géochimie	Limite trachyte/rhyolite	idem	idem
Minéraux denses	Minéral caractéristique : sphène	idem	idem
Morphologie des pyroclastes	Fragments anguleux de trachyte peu à moyennement vésiculés	Fragments arrondis de trachyte peu à moyennement vésiculés	Petites ponces Echardes vitreuses
Microfaciès	néant	Litages, stratifications entrecroisées	Litages
Type de dépôt	Coulée boueuse (lahar primaire)	Alluvions synéruptives (lahar secondaire)	Retombée (fall)
Relation stratigraphique	Au-dessus d'alluvions remaniant CF1a/CF1b	Au-dessus d'alluvions remaniant CF1a/CF1b	Au-dessus d'alluvions remaniant CF1a/CF1b
Datation absolue	Datation d'une coulée pyroclastique en position proximale : 8 465 ± 70 BP (7580 cal BC - 7310 cal BC) (ARC 1516)	idem	idem
Datation palyno			
Milieu sédimentaire	Au sommet d'une séquence alluviale	Au sommet d'une séquence alluviale	Au sommet d'une séquence alluviale

Volcan source	Puy Chopine	Puy Chopine	Puy Chopine
Type d'éruption	Activité explosive à cheminée ouverte et explosion nettement phréatomagmatique	Activité explosive à cheminée ouverte et explosion nettement phréatomagmatique	Phase plinienne de l'éruption

Le téphra CF6 (ou retombée récente de la rue de Blanzat) :

Cette retombée montre une composition de trachyandésite, avec comme minéraux caractéristiques des clinopyroxènes (63 %), des amphiboles brunes (34 %) et de rares olivines (0,7 %). Son faciès est lité, de granulométrie fine, les lits plus clairs étant riches en xénoclastes de socle. Observée dans deux coupes de la cuvette de Clermont (rue de Blanzat et site des quatre Routes), elle est également présente dans le secteur de Gerzat. Elle n'est pas datée directement, mais sa chimie la rapporte indiscutablement au Puy Pariou (Figure 65), et plus particulièrement à l'épisode d'émission de sa coulée principale (Nouveau Pariou). C'est, il faut le remarquer, la seule retombée de la cuvette de Clermont qui soit attribuable avec certitude à ce volcan.

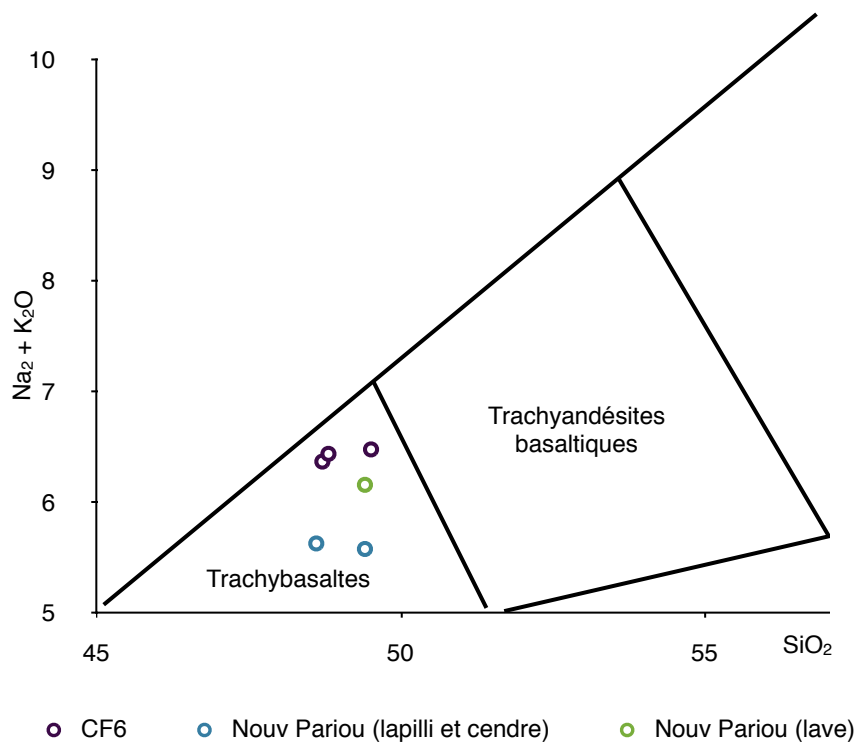


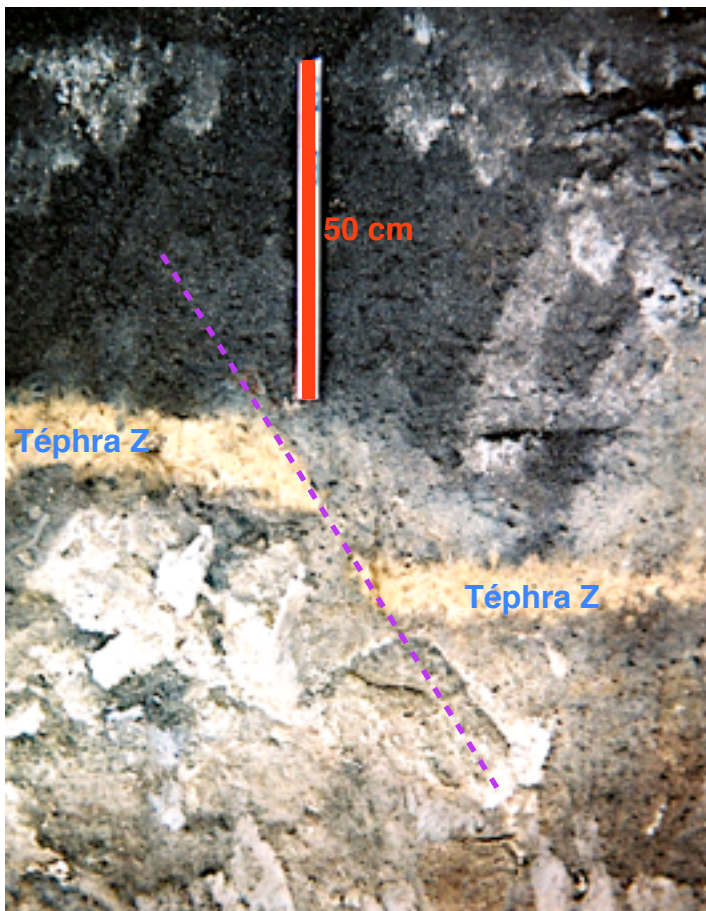
Figure 65 : Géochimie de CF6 sur 2 sites (Nohanent-Lotissement et les Quatre Routes) comparée à des produits attribués au Nouveau Pariou dans la Chaîne des Puys (col Come/Balmet, données D. Miallier). Données corrigées de la perte au feu et ramenées à 100 %.

	TEPHRA CF6
Faciès	Cendre grossière grise, litée
Epaisseur	très variable de 0,20 m à plus de 1 m (accumulations dans dépressions)
Géochimie	Trachyandésite
Minéraux denses	Clinopyroxène (63 %), amphibole brune (34 %) et olivine (0,7 %)
Morphologie des pyroclastes	Pyroclastes de verre sombre, moyennement vésiculés et xénoclastes abondants
Microfaciès	Litages
Type de dépôt	Retombée (fall)
Relation stratigraphique	Au-dessus de CF4 et au-dessus du Téphra Y En dessous de CF7 et également du Téphra Z
Datation absolue	néant
Datation palyno	néant
Milieu sédimentaire	Dans colluvions marno-calcaires et dans formations de marais
Volcan source	Puy de Pariou(épisode d'émission de sa coulée principale)
Type d'éruption	Eruption à caractère phréatomagmatique plus ou moins marqué

Le Téphra Z (ou téphra des Quatre Routes) :

En 2009, sur une des coupes du site des « Quatre Routes » à Clermont-Ferrand, un nouveau niveau pyroclastique limoneux beige (faciès proche de ceux de CF7-coulée pyroclastique et du Téphra Y) a été observé et dénommé, par l'instant, Téphra Z. Sa position stratigraphique (sur CF6 et sous CF7) permet de le distinguer du Téphra Y qui lui est sous CF6 et sur CF4). L'analyse granulométrique et l'observation à la binoculaire des fractions montre une absence de pyroclastes trachytiques millimétriques. L'analyse des minéraux denses donne un cortège original (66,5 % d'amphibole brune, 17 % de clinopyroxène vert, 8,5 % de zircon, 4,5 % d'apatite, 3,5 % d'olivine et 1 % de sphène) qui peut s'accorder avec une lave plutôt acide, de type trachyte à hornblende.

Sa position entre CF6 et CF7 permet en revanche de situer la phase éruptive responsable de ce dépôt dans le sommet du Boréal (vers 8 500 ans en âge réel). Ce dépôt est affecté par des failles décrochantes (Figure 66).



L'étude de ce nouveau téphra n'est pas terminée (il manque en particulier l'analyse chimique à la microsonde) ; il est donc bien évident que le volcan source de cette coulée pyroclastique distale reste inconnu.

Figure 66 : Le téphra Z, décalé par une faille, dans la séquence des Quatre Routes.

	TEPHRA Z
Faciès	niveau pyroclastique limoneux beige
Epaisseur	0,10 m à 0,12 m
Géochimie	en cours
Minéraux denses	66,5 % d'amphibole brune, 17 % de clinopyroxène vert, 8,5 % de zircon, 4,5 % d'apatite, 3,5 % d'olivine et 1 % de sphène
Morphologie des pyroclastes	Pas de pyroclastes de taille supérieur à 80 μm
Microfaciès	Compact et homogène
Type de dépôt	Coulée pyroclastique distale (flow)
Relation stratigraphique	Au-dessus de CF6 En dessous de CF7

Datation absolue	néant
Datation palyno	néant
Milieu sédimentaire	Dans colluvions marno-calcaires
Volcan source	Inconnu
Type d'éruption	Eruption explosive à magma plutôt acide

Le téphra CF7 (ou téphra de La Rodde) :

Depuis 1997, plusieurs coupes stratigraphiques au nord-est, à l'est et au sud de Clermont-Ferrand ont montré la présence d'un niveau limoneux contenant de nombreux fragments anguleux centimétriques de trachyte. La morphologie de ces fragments trachytiques suggère qu'ils proviennent de la croûte d'un dôme. Ce niveau surmonte les retombées CF5 et CF6 et constitue la partie basale d'une couche contenant des vestiges du Néolithique ancien (épi-Cardial), daté de $6\,200 \pm 170$ ans. La retombée de la Rodde a été mise en évidence dans un niveau archéologique mésolithique ($7\,685 \pm 145$ BP ; 7030 à 6231 av. J.-C.) dans la banlieue est de Clermont-Ferrand et sur un autre site mésolithique sur le plateau des Dômes, à quatre kilomètres à l'ouest de la Chaîne des Puys. Les analyses géochimiques et minéralogiques montrent que ces fragments de lave juvénile appartiennent bien au domaine des laves trachytiques de la Chaîne des Puys. Le volcan source proposé est le cratère Kilian. CF7 présente plusieurs faciès : soit celui d'une retombée directe ou bien celui d'une coulée pyroclastique (Vernet et Raynal, 2008). Il forme le recouvrement téphrique le plus récent de Limagne après le téphra de Sarliève (Vernet et Raynal, 2002) et il est le second témoin (après la formation de Marsat) qu'une coulée pyroclastique a atteint la Limagne. La violence des éruptions trachytiques d'âge boréal est ainsi confirmée.

	TEPHRA CF7
Faciès	Niveau pyroclastique limoneux beige à fragments anguleux de trachyte Fragments anguleux de trachyte dans sédiment non volcanique
Epaisseur	Très variable suivant le faciès : 2 à 3 cm pour le faciès « retombée » (fall) à plus de 1 m pour le faciès « coulée pyroclastique » (flow)
Géochimie	Trachyte
Minéraux denses	70 % de clinopyroxènes vert, 22,5 % d'amphibole brune, 2,5 % d'olivine

Morphologie des pyroclastes	Fragments anguleux de trachyte, non ou peu vésiculés, riches en lates de feldspath Fragments arrondis de trachyte, bien vésiculés (ponceux).
Microfaciès	Microfaciès en « pseudo-sables », Proto-Lapilli Accrétionnés (PLA) dans le dépôt de faciès « coulée pyroclastique »
Type de dépôt	retombée (fall) Coulée pyroclastique distale (flow)
Relation stratigraphique	Au-dessus de CF6 Téphra le plus récent en limagne (sauf Sarliève), aucun autre téphra ne le recouvre
Datation absolue	7 685 ± 145 BP (7030 à 6231 av. J.-C.) (LY-10897) 8 660 ± 60 BP (7397 à 7582 av. J.-C.) (LY-1687 - GrA 20106) 7610 ± 40 BP (6480 à 6410 av. J.-C.) (Beta Analytic, 2002)
Datation palyno	néant
Milieu sédimentaire	Colluvions et formations de marais
Volcan source	Cratère Kilian
Type d'éruption	Eruption explosive à magma trachytique

Le téphra de Sarliève :

Découvert au sein de la séquence lacustre du paléo-lac de Sarliève (Vernet et Raynal, 2002), ce téphra se présente sous la forme d'un lit cendrex rose pastel de 3,5 cm d'épaisseur. Sa composition chimique entre dans le domaine des trachytes de la Chaîne des Puys. Le clinopyroxène vert à brun représente plus de 90 % du cortège des minéraux denses de cette retombée. Son faciès et sa composition chimique sont donc très comparables de ceux du téphra CF5.

Un âge TL de 16 ± 4 ka (Cler 325) a été obtenu pour ce recouvrement téphrique, mais sa position dans la séquence lacustre de Sarliève et les assemblages polliniques des sédiments qui le contiennent dateraient ce téphra du début du Subboréal (autour de 3500 ans avant J.-C.). Il serait donc le témoin d'une éruption trachytique plus récente d'environ 1000 ans que la dernière éruption connue (Pavin) de la Chaîne des Puys (Fromont *et al.*, 2006).

TEPHRA DE SARLIEVE	
Faciès	Lit cendrex rose pastel
Epaisseur	0,035 m
Géochimie	Trachyte

Minéraux denses	Clinopyroxène vert à brun (plus de 90 %); présence du quartz
Morphologie des pyroclastes	Fragments anguleux, pas véciculés, de verre incolore avec baguettes de feldspaths
Microfaciès	néant
Type de dépôt	Retombée (fall)
Relation stratigraphique	Au-dessus de complexe CF1a/CF1b
Datation absolue	TL : 16 000 ± 400 ans
Datation palyno	Début du Subboréal
Milieu sédimentaire	Dans sédiments lacustres du paléo-lac de Sarliève
Volcan source	Inconnu
Type d'éruption	Eruption explosive à magma trachitique

2.6.2 - Réflexion sur les données de chronologie absolue obtenues sur les téphras de la fin du Tardiglaciaire et du début de l'Holocène :

Au terme de la synthèse sur la téphrochronologie de la Chaîne des Puys, il m'ai apparu intéressant de présenter une réflexion sur les données de chronologie absolues qui sont actuellement disponibles sur les téphras présents en Limagne. Pour cela, j'ai volontairement pris un peu de distance avec les conclusions présentées dans « Volcanologie de la Chaîne des Puys » (Boivin *et al.*, 2009) qui présentent une synthèse plus vaste visant à présenter une chronologie des éruptions. Mon propos, aujourd'hui, est de présenter, en conclusion de vingt-cinq années de recherche sur les téphras de Limagne, des « certitudes » sur l'âge de ces téphras et de leur superposition dans les séquences sédimentaires.

2.6.2.1 - Eléments de chronologie relative :

Avant de voir les données de chronologie absolue, Le tableau ci-dessous (Figure 68) présente la superposition stratigraphique synthétique des téphras réalisée à partir de relations stratigraphiques (succession de téphras) réellement observées sur plus d'une centaine de sites (travaux agricoles, travaux de construction, sondages et carottages géotechniques, sondages et fouilles d'archéologie préventive) dans le deux secteurs étudiés. Il s'agit de l'application stricte du principe de superposition : *une couche sédimentaire est plus récente que celle qu'elle recouvre* (Dercourt et Paquet, 1978). On obtient une chronologie (ou datation) relative.

Polarité de superposition ↑ Haut	Secteur Morge		Secteur Clermont-Fd/Grand Marais
			CF6
			CF5/Téphra Y
		Travertins hydrothermaux	CF4
		Téphra sup de Gimeaux	CF3
			CF2
		CF1b ←·····→	CF1b
	Téphra de La Moutade		CF1a
Bas	Téphra de Cellule	Paléosol de l'Alleröd	

Figure 68 : Téphrochronologie relative réalisée à partir de relations stratigraphiques (succession de téphras) réellement observées.

La première observation résultant de l'observation de ce tableau est que les deux seules relations stratigraphiques entre les deux secteurs d'étude sont d'une part le téphra CF1b et d'autre part le paléosol daté de l'Alleröd (14C et palynologie). En effet, le téphra de La Moutade est contenu dans la partie supérieure du paléosol de l'Alleröd dans toutes les coupes du marais d'Orange et la vallée du Sardon ; le téphra CF1a repose quasiment toujours sur un paléosol de l'Alleröd aussi bien en milieu de marais que sur les versants dans le bassin de Clermont-Ferrand.

La seconde observation est l'absence dans ce tableau de deux téphras : la Formation de Marsat et le Téphra de Sarliève. Pour la Formation de Marsat, il faut signaler que la formation alluviale sous-jacente présente sur le site des Pradelles contient une forte proportion de matériaux pyroclastiques dont la nature (géochimie et minéralogie) les rapproche de CF1a/CF1b. Pour le téphra de Sarliève, il faut rappeler qu'il est conservé dans un cône deltaïque sous-lacusre dont la base est marquée par la présence de CF1a. Dans les deux cas, les séquences sédimentaires observées permettent simplement de dire que ces deux dépôts pyroclastiques sont nettement postérieurs à CF1a/CF1b, donc à l'Alleröd. La Formation de Marsat recouvre un niveau archéologique d'âge mésolithique (Vernet, 2004).

Deux formations sédimentaires remarquables (un paléosol de marais et un niveau rubéfié - « Niveau Rouge ») encadre la téphrostratigraphie du secteur de Clermont-Fd/Grand Marais. Le repère stratigraphique inférieur (paléosol de marais) se retrouve aussi dans le secteur de la Morge où il sépare le téphra de La Moutade et le téphra de Cellule. Ces deux repères stratigraphiques ont donc naturellement fait l'objet de datations absolues (TL, 14C). De plus, plusieurs études palynologiques permettent d'attribuer la pédogenèse du

paléosol de marais à l'oscillation climatique tempérée de l'Alleröd. Une analyse palynologique (sur le site du Brézet à Clermont-Ferrand) a donné un cortège caractéristique de la fin du Bölling pour la base de ce paléosol.

Dans la région de Vic-le-Comte, Le téphra CF1b recouvre l'occupation Magdalénienne la plus récente (datée du Dryas moyen) de l'Abri Durif à Enval et scelle donc la séquence archéologique ; il n'est surmonté que par un effondrement de la voûte de l'abri (Vernet et Raynal, 1995 ; Raynal, Vernet et Vivent, 1998).

La succession Paléosol Alleröd/CF1a/CF1b/CF3 par superposition quasi directe des quatre unités sédimentaires est particulièrement remarquable et peut être considérée comme spécifique au secteur de Clermont-Fd/Grand Marais. Lorsqu'il est présent, le téphra CF4 complète cette succession et se superpose directement au-dessus de CF3. On constate alors le développement d'un début de pédogenèse au sommet de CF4.

Dans le secteur Morge, sur le site de Gimeaux-sources, les deux téphras (CF1b et la Retombée supérieure de Gimeaux) se situent stratigraphiquement sous le massif travertineux. Les formations travertineuses se développent essentiellement durant les périodes de réchauffement (Ambert, 1981). On peut donc supposer que le fonctionnement du massif travertineux de Gimeaux a commencé au Bölling-Alleröd, ou plus tardivement, au début de l'Holocène (Préboréal). La date 14C (12 010 ± 150 BP) obtenu sur le téphra CF1b nous conduit à retenir un début de formation des travertins sur le site au Préboréal ce qui place la Retombée supérieure de Gimeaux entre la fin de l'Alleröd et le début du Préboréal, soit dans le Dryas récent (Vernet, 1991 ; Vernet, 1992).

Dans le marais, entre CF4 et CF5, des alluvions mélanocrates sont toujours présentes et parfois la présence d'un niveau d'argiles plastiques jaunâtres marque un épisode de stabilisation du marais par remonté de la nappe phréatique.

Le téphra CF6 est rarement conservé dans le marais car il est souvent repris par alluvionnement. Ces alluvions mélanocrates forment des nappes et des chenaux qui, dans des secteurs parfois assez vastes, ont intaillé la séquence inférieure et ainsi éliminé au moins CF5 et parfois l'ensemble de téphras. En revanche, sur certaines séquences de versant, CF6 peut avoir une épaisseur importante mais la présence de litages et la position en fond de talweg signent une concentration par ruissellement de ce téphra.

Enfin, CF7 (faciès de retombée) est toujours situé à la base de colluvions argilo-limoneuses noires portant une pédogenèse polygénique qui sont appelées « terres noires de Limagnes ». Dans le secteur de Gerzat, un paléosol de marais peut être distingué ; il contient alors CF7 et est surmonté par un niveau limoneux présentant une coloration rouge vif à orange. L'examen au microscope optique montre une grande richesse de ce niveau en diatomées et la présence de rares charbons de bois ainsi des fragments trachytiques semblables à ceux de CF7. Si la genèse de la mise en place de ce niveau (appeler Niveau Rouge ou NR) reste non résolue (étude complémentaire en cours) ; en revanche, le couple NR/CF7 forme un repère stratigraphique essentiel du secteur Gerzat/Aulnat/Les Gravanches. Le faciès de retombée (fall) de CF7 a également été mise en évidence sur des sites archéologiques où les pyroclastes sont retrouvés associés aux artefacts (outils en silex, fragments osseux, charbons de bois, graines) qui marquent des zones de campe-

ment de chasseurs-cueilleurs mésolithiques (Sauveterrien moyen) (Vernet, 2004 ; Sainto *et al.*, 2004).

2.6.2.2 - La chronologie absolue :

Afin de proposer une téphrochronologie absolue nous avons retenu douze datations ^{14}C . Nous avons éliminé les datations TL qui confirment certaines dates ^{14}C mais qui, de par leur intervalle d'incertitude assez important, n'apportent pas de précision pour l'âge des téphras concernés. Les dates ^{14}C utilisées sont toutes issues d'échantillons parfaitement placés dans des séquences téphrosédimentaires relevées et étudiées dans le cadre de mes recherches ce qui élimine toute ambiguïté sur leur position par rapport aux différents niveaux téphriques. Aucun calcul de moyenne de dates (ou autre méthode mathématique) n'a été utilisé dans la construction de cette téphrochronologie.

Pour le complexe téphrique CF1a/CF1b nous disposons de 6 dates ^{14}C (3 sur le paléosol sous CF1a ; 1 sur des charbons dans le même paléosol ; 1 sur des micro-charbons de bois dans CF1b ; 1 sur un niveau organique entre CF1a et CF1b). Nous avons retenu une seule des trois dates sur le paléosol. La date sur charbons de bois inclus dans ce même paléosol a également été retenue car les charbons sont relativement gros (5 à 7 mm de longueur), non roulés et forment une lentille charbonneuse (petit foyer ?) bien nette (non remaniée) dans la partie supérieure du paléosol ce qui, à nos yeux, garantit un non-remaniement de ces charbons. Malgré un risque de contamination (reprise de micro-charbons antérieurs à la retombée), la date sur micro-charbons de bois récoltés au sein de CF1b, sur le site de Gimeaux-sources, a été conservée car il s'agit de la seule date obtenue sur le complexe CF1a/CF1b dans le secteur de la Morge. Enfin, la date obtenue sur un niveau organique entre CF1a et CF1b a été conservée car la présence d'un sédiment (organique ou non) entre CF1a et CF1b est exceptionnelle.

Afin de garantir une homogénéisation entre ces dates ^{14}C , nous avons choisi d'utiliser la valeur en date ^{14}C calibrée. Chaque date sera donc exprimée sous la forme d'un intervalle entre deux dates, avec un degré de confiance de 1σ (68,3 % de probabilité pour que la date se trouve dans l'intervalle) et en « Calendar Age BP ». Nous avons utilisé une même courbe de calibration (Fairbanks0107 ; Figure 67) et le même programme de calibration (Fairbanks R. G. *et al.*, 2005) pour les dix dates retenues.

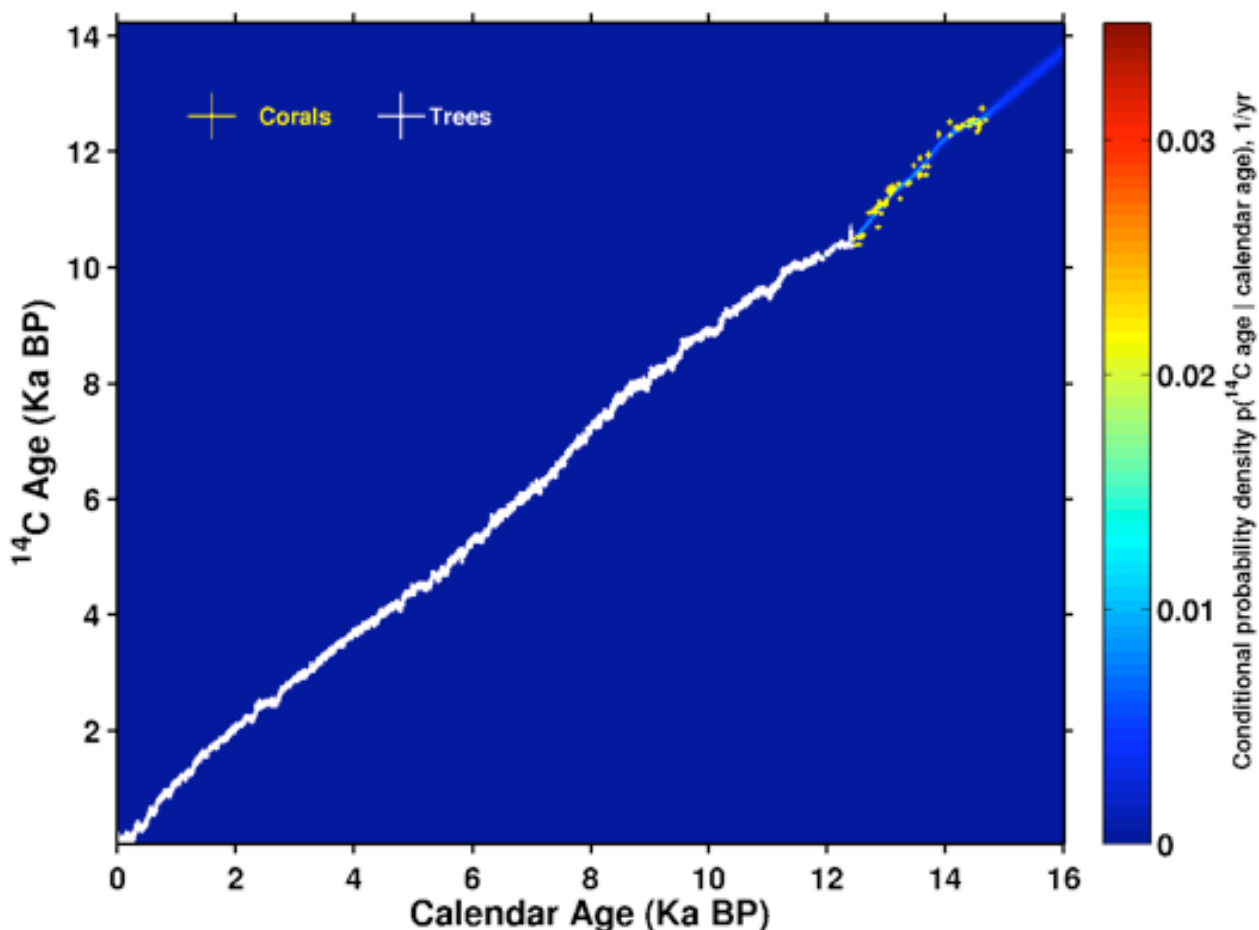


Figure 67 : Courbe de calibration des dates ^{14}C utilisées dans ce travail (Fairbanks0107 ; Fairbanks R. G. *et al.*, 2005).

Les douze dates retenues :

- **CF1 (ps 1) : $11\,990 \pm 90$ BP** (réf. : Ly338/AA-22073 ; Vernet et Raynal, 2001). La datation a été faite sur la matière organique contenue dans un paléosol situé **sous le téphra CF1a**. La date calibrée est **13 720 Cal Age BP - 13 890 Cal Age BP**.
- **CF1 (ps 2) : $11\,460 \pm 90$ BP** (réf. : ARC 1697 ; Vernet *et al.*, 2005a). La datation a été faite sur des charbons de bois provenant d'une lentille charbonneuse incluse dans un paléosol situé **sous le téphra CF1a** sur le site du Brézet à Clermont-Ferrand. La date calibrée est **13 206 Cal Age BP - 13 425 Cal Age BP**.
- **CF1b : $12\,010 \pm 150$ BP** (réf. : Gif. TAN. 91 102 ; Vernet, 1992 et Vernet et Raynal, 1995). La datation a été faite sur des micro-charbons de bois présents **dans le téphra CF1b (retombée des Roches)** sur le site des sources de Gimeaux. La date calibrée est **13 690 Cal Age BP - 13 965 Cal Age BP**.

- **TLM (ps1) : 11 360 ± 130 BP** (réf. : Ly3733 ; Vernet et Paquereau, 1991 et Vernet, 1992). La datation a été faite sur la matière organique contenue dans un paléosol incluant à son sommet le **téphra de la Moutade** (coupe de la commune de Cellule). La date calibrée est **13 074 Cal Age BP - 13 348 Cal Age BP**.
- **TLM (ps2) : 11 430 ± 60 BP** (réf. : GrN 16096 ; Juvigné *et al.*, 1992). La datation a été faite sur la matière organique contenue dans un paléosol incluant à son sommet le **téphra de la Moutade** (sur la commune de Cellule). La date calibrée est **13 200 Cal Age BP - 13 365 Cal Age BP**.
- **CF1a/CF1b : 11 270 ± 90 BP** (réf. : ETH-30437). La datation a été faite sur un niveau organique situé **entre les téphras CF1a et CF1b** (coupe située sur la commune de Gerzat). La date calibrée est **13 074 Cal Age BP - 13 348 Cal Age BP**.
- **Sur CF3 : 10 300 ± 180 BP** (réf. : Gif 2359 ; Rudel, 1973 et Raynal *et al.*, 1998). La datation a été faite sur un fin niveau organique situé **entre les téphras CF3 et CF4** (coupe située sur la commune de Clermont-Ferrand). La date calibrée est **11 748 Cal Age BP - 12 380 Cal Age BP**.
- **Ps1 sur CF4 : 10 760 ± 45 BP** (com. perso. D. Miallier). La datation a été faite sur des micro-charbons de bois contenus dans un niveau de colluvions pédogénisées développées à partir du **sommet du téphra CF4** et recouvert par le téphra CF6. La date calibrée est **12 638 Cal Age BP - 12 733 Cal Age BP**.
- **Ps2 sur CF4 : 9 380 ± 170 BP** (réf. : Gif 2360 ; Rudel, 1973 et Raynal *et al.*, 1998). La datation a été faite sur un niveau organique situé **au-dessus du téphra CF4** (même coupe que pour la date « sur CF3 », située sur la commune de Clermont-Ferrand). La date calibrée est **10 362 Cal Age BP - 10 862 Cal Age BP**.
- **F d M : 8 465 ± 70 BP** (réf. : ARC 1516 ; Raynal *et al.*, 1998 et Vernet *et al.*, 2001). La datation a sur des fragments carbonisés de branches et d'écorces contenus dans un niveau de déferlantes (surge) du Puy Chopine, formations pyroclastiques équivalentes proximales de la **Formation de Marsat** (coupe située sur la commune de St Ours). La date calibrée est **9 430 Cal Age BP - 9 527 Cal Age BP**.
- **CF7 : 7 685 ± 145 BP** (réf. : LY-10897 ; Saino *et al.*, 2004 et Vernet, 2004). La datation a été faite sur des artefacts (ossements et coquilles de noisettes carbonisées) provenant d'un niveau archéologique (mésolithique ; Saino *et al.*, 2004) affecté par le **téphra CF7 (faciès retombée)** (commune de Clermont-Ferrand). La date calibrée est **8 320 Cal Age BP - 8 615 Cal Age BP**.
- **Niveau Rouge : 6 930 ± 60 BP** (réf. : ETH-31344 , Pouenat *et al.*, 2006). La datation a été faite sur des micro-charbons de bois contenus dans le **Niveau Rouge, au-dessus du téphra CF7 (faciès retombée)** (coupe située sur la commune de Clermont-Ferrand). La date calibrée est **7 666 Cal Age BP - 7 815 Cal Age BP**.

Ces données de chronologie absolue ont été reportées sur une figure (Figure 69) avec une échelle de temps en âge réel (Calendar Age BP) à gauche, une échelle en calendrier chrétien (Années cal BC) à droite et les épisodes bioclimatiques.

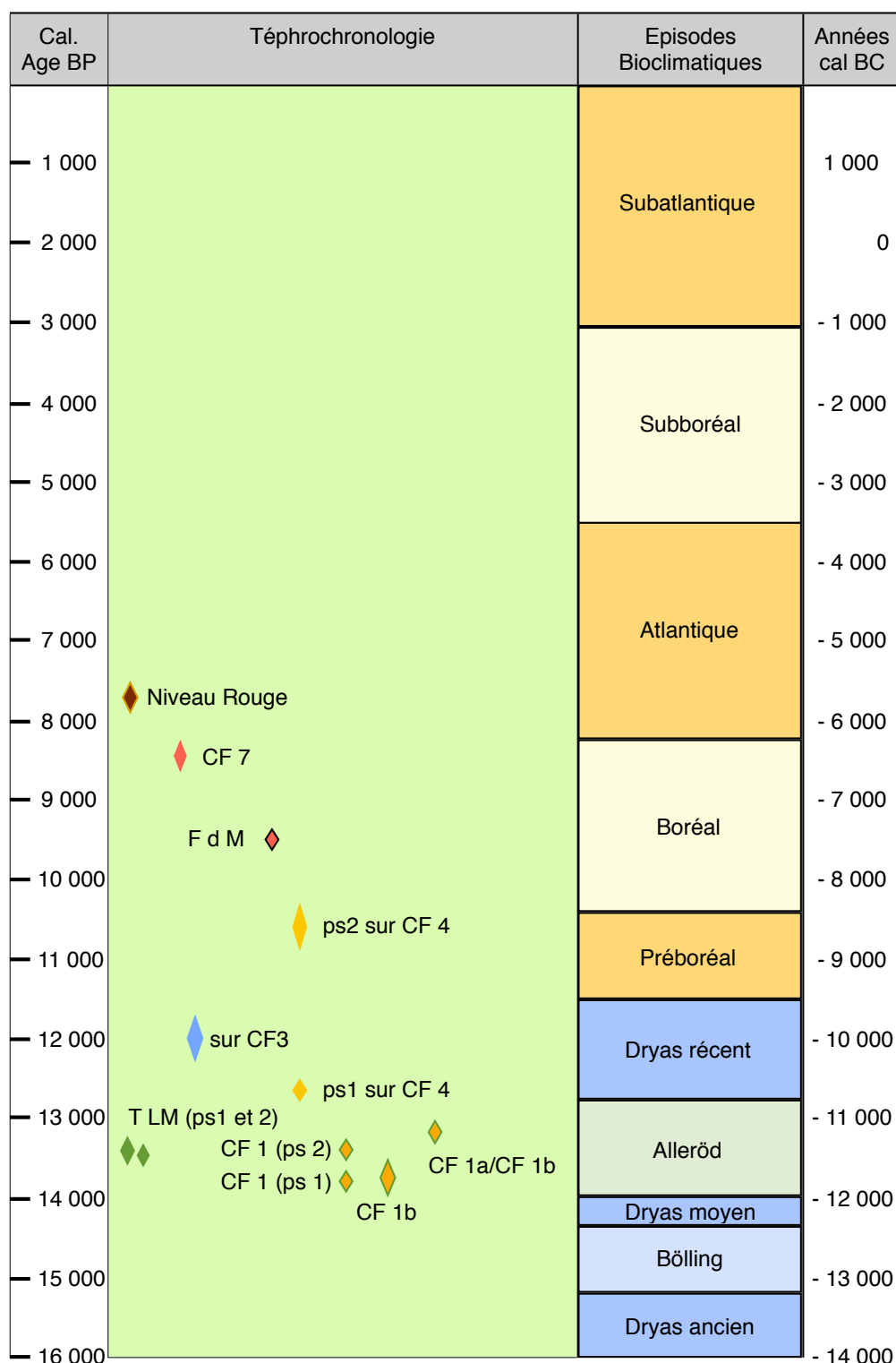


Figure 69 : Chronologie absolue proposée des téphras datés par ^{14}C .

L'intervalle de temps couvert par la téphrochronologie absolue s'étend de 14 000 cal BP à 7500 cal BP. L'essentiel des téphras se trouve dans cet intervalle de dates ; sauf le Téphra de Cellule qui est placé par la palynologie et la stratigraphie dans le Dryas ancien (soit vers 16 000 ans) (Vernet, 1992) et le Téphra de Sarliève qui est placé par les assemblages polliniques des sédiments lacustres dans le début du Subboréal (soit vers 5 500 ans) (Vernet *et al.*, 2005b ; Fourmont *et al.*, 2006). Il est remarquable de constater que cet intervalle temporel recouvre une période majeure de changement climatique : passage du Tardiglaciaire à l'Holocène. Une des oscillations tempérées du Tardiglaciaire (l'Alleröd) est marquée par un paléosol dans l'ensemble des secteurs d'étude. Celui-ci apparaît comme un marqueur essentiel de la base de notre téphrostratigraphie puisqu'il est lié (stratigraphiquement) à deux téphras : le Téphra de La Moutade et le téphra CF1a. Quatre dates ^{14}C , sur matière organique ou charbons de bois, placent ce paléosol dans un intervalle de dates de 13 890 cal BP à 13 074 cal BP, soit la première moitié de l'Alleröd.

Pour la commodité des exposés, la date proposée en « cal BP » correspond au centre de l'intervalle obtenu par calibration bien que, en toute rigueur, l'opération de calibration conduise seulement à une distribution de probabilités.

Le complexe téphrique **CF1a/CF1b** et la **Retombée de La Moutade** sont nettement positionnés autour de **13 500 cal BP**, soit dans l'épisode bioclimatique de l'**Alleröd**. Ils sont des marqueurs stratigraphiques pour cet épisode bioclimatique en Limagne. La date TL de $13\,700 \pm 1700$ avant 1980 (Cler TL 110) obtenu sur la Retombée de La Moutade (Vernet *et al.*, 1990 ; Vernet, 1992) est en bon accord avec ce positionnement. Nous avons montré (cf. chapitre 3.4.2) que ces dépôts pyroclastiques correspondent à l'éruption du Puy de la Nugère et plus précisément à la phase explosive de sa période trachyandésitique (Nouvelle Nugère). Nous proposons que la **Retombée supérieure de Gimeaux**, qui est rattachée à la phase effusive terminale de La Nugère, soit positionnée à la **charnière Alleröd/Dryas récent (vers 13 000 ans)**.

Le téphra **CF3** était situé par la palynologie dans le Boréal (données portant essentiellement sur des niveaux de colluvions au-dessus de CF3 ; Vernet *et al.*, 1996) mais ces données étaient en contradiction avec le fait que ce téphra se présente toujours en contact normal (contact stratigraphique) avec le complexe CF1a/CF1b. Ce contact peut être un contact sédimentaire en concordance ou bien en discordance avec lacune (surface érosive). En milieu de marais, un niveau millimétrique d'argiles palustres peut souligner ce contact. Sur certaines coupes, les derniers centimètres du sommet de CF3 sont visiblement légèrement remaniés par un faible ruissellement. Il est également noté la présence du téphra CF2 entre CF1b et CF3 sur les coupes situées à l'Ouest et au Nord-Ouest du bassin de Clermont-Ferrand. Cette situation stratigraphique était alors expliquée par une absence de sédimentation et/ou une phase érosive importante provoquant une ablation des sédiments (hiatus). La reprise de l'étude d'une coupe (la Combaude) — anciennement publiée (Rudel, 1973) et sur laquelle plusieurs datations ^{14}C étaient disponibles — a permis de disposer d'une date sur un niveau organique reposant directement sur des scories que nous avons formellement identifiées comme étant CF3 (Raynal *et al.*, 1998). Cette date (**$12\,064 \pm 316$ cal BP**) situe dorénavant le téphra CF3 dans le **Dryas récent (vers 12 500 ans)**. Cette nouvelle position chronologique de CF3 implique que le dépôt du téphra CF2 intervient forcément entre 13 500 cal BP et 12 500 cal BP.

Comme pour le téphra CF3, le téphra **CF4** était jusqu'à présent situé par la palynologie dans le Boréal (Vernet *et al.*, 1996). Trois dates ^{14}C nous obligent à revoir la position chronologique de ce téphra. En effet, sur la coupe de la Combaude (Rudel, 1973 ; Raynal *et al.*, 1998), le téphra est précisément encadré par deux dates : $12\,064 \pm 316$ cal BP et $10\,612 \pm 250$ cal BP ce qui place ce téphra vers 11 400 ans, soit au début du Préboréal. Récemment, des micro-charbons de bois, provenant de colluvions pédogénisées et reposant sur CF4, ont fourni une date de $12\,686 \pm 47$ cal BP ce qui placerait CF4 dans Alleröd. Cette dernière date est en contradiction avec toutes les autres données absolues et aussi avec la chronologie relative. Il est possible que les micro-charbons de bois datés soient des éléments anciens remobilisés par le colluvionnement et intégrés dans le petit sol recouvrant CF4. Pour cette raison, cette dernière datation n'est pas retenue et le téphra CF4 est dorénavant situé **vers 11 400 ans** dans le **début du Préboréal**. Il faut remarquer que, dans cette hypothèse, les colluvions pédogénisées que l'on rencontre très souvent sur CF4 pourraient alors être attribuées à une pédogenèse active durant les périodes bioclimatiques tempérées du Préboréal et/ou du Boréal.

Pour **La Formation de Marsat (F d M)**, La date obtenue (**$9\,479 \pm 48$ cal BP**), sur des fragments carbonisés de branches et d'écorces contenus dans un niveau de déferlantes du puy Chopine (équivalent proximal de la Formation de Marsat), assure un bon positionnement chronologique pour cette formation pyroclastique au sein de l'épisode bioclimatique du **Boréal (soit vers 9 500 ans)**. Cette date est en bon accord avec l'âge d'environ $9\,700 \pm 115$ ans proposé pour l'éruption du puy Chopine (Miallier *et al.*, 2004).

Pour le téphra **CF5** nous ne disposons pas de datation absolue mais seulement d'un bon calage palynologique qui situe sa mise en place immédiatement après les maxima de *Quercus*, *Corylus*, *Ulmus* et l'abondance d'*Alnus* qui seraient caractéristiques de la **fin du Boréal**, voire de l'optimum atlantique (Raynal *et al.*, 1996). Par ailleurs, notre téphrochronologie relative montre clairement que CF5 est plus ancien que CF7 (et CF6). Dans la Chaîne des Puys, la chronologie proposée des éruptions trachytiques (Vasset, Kilian et Chopine) est la suivante, de la plus ancienne à la plus récente : Chopine/Vasset/Kilian (Miallier *et al.*, 2004). Ces différentes données nous amène à proposer comme volcan-source de CF5 le puy Vasset et à situer sa mise en place durant la **seconde partie du Boréal (vers 9 000 ans ?)**, entre la Formation de Marsat (Chopine) et CF7 (Kilian). L'âge moyen retenu pour l'éruption du puy Vasset est de $9\,270 \pm 280$ ans (Miallier *et al.*, 2004).

Pour le téphra **CF6**, attribué au puy de Pariou, nous ne disposons ni de datation absolue, ni de calage palynologique. Plusieurs coupes du bassin de Clermont-Ferrand montrent qu'il est stratigraphiquement antérieur à CF7. Dans le secteur de Gerzat, il recouvre CF5 (Juvigné *et al.*, 1992), cependant il faut noter que souvent, dans ce secteur, il est remanié par reprise alluviale. De part son chimisme, ce tephra est vraisemblablement lié à l'épisode d'émission de la coulée principale du puy de Pariou qui est datée par TL à $8\,200 \pm 1\,600$ ans (Guérin, 1983).

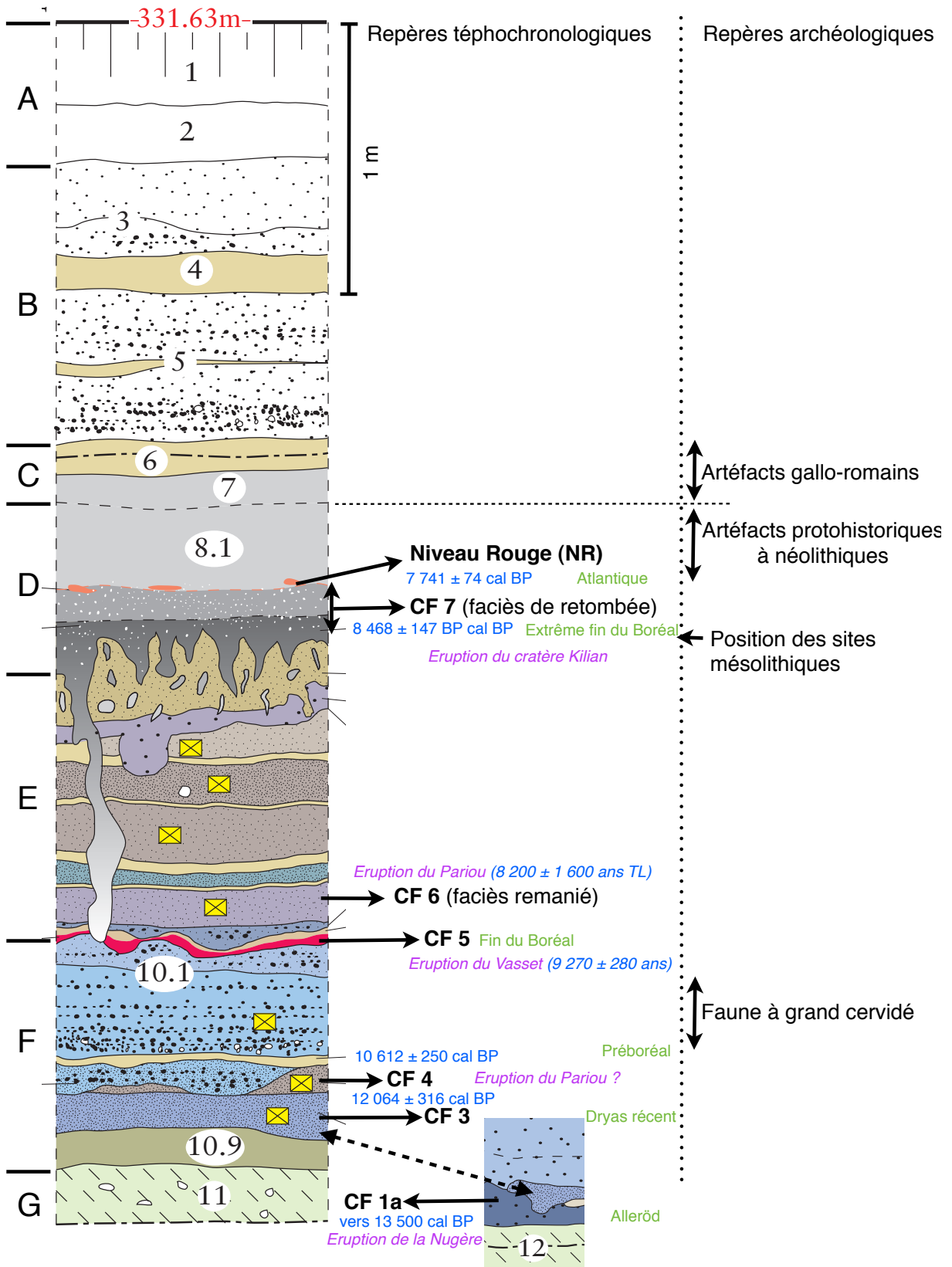
Le téphra **CF7** apparaît comme le dépôt pyroclastique le plus récent de la téphrostratigraphie de la Limagne (mise à part le Téphra de Sarliève qui reste un cas particulier avec une seule observation). Contrairement à CF5, il est postérieur à CF6 (Pariou). Dans deux sites, son faciès de retombée affecte un niveau archéologique mésolithique (Sauveterrien).

Ce sont les artefacts archéologiques (noisettes carbonisées et charbons de bois) provenant du site des Patureaux à Clermont-Ferrand qui ont donné la date ^{14}C retenue : **8 468 \pm 147 cal BP**. Malgré l'absence de données palynologique, la date ^{14}C retenue permet de placer ce recouvrement téphrique à l'**extrême fin du Boréal**. Comme dans la Chaîne des Puys où les produits de l'éruption du Kilian sont les plus récents des recouvrements trachytiques, le téphra CF7, aussi pour son faciès de retombée que pour son faciès de coulée pyroclastique, est le plus récent des téphras trachytiques des séquences sédimentaires de Limagne. Le téphra CF7, marqueur de l'éruption principale du cratère Kilian, se met donc en place **vers 8 500 ans** (soit vers la fin du Boréal). Cet âge est d'environ 1 000 ans plus jeune que l'évaluation de l'âge du cratère Kilian : $9\,430 \pm 115$ ans (Miallier *et al.*, 2004). Les données strictement stratigraphiques (CF7 nettement plus récent que CF5 et séparé de ce dernier par des alluvions, des niveaux de marais et même par le téphra CF6) et la certitude de la stricte contemporanéité entre les artefacts datés et le dépôt de CF7 nous conduisent à proposer de placer l'éruption du cratère Kilian plutôt vers 8 500 ans que vers 9 400 ans et ainsi de confirmer la chronologie proposée des éruptions trachytiques, de la plus ancienne à la plus récente, Chopine/Vasset/Kilian.

Enfin, pour finir sur ces données de chronologie absolue, il faut signaler la date obtenue sur le **Niveau Rouge (NR) : 7 741 \pm 74 cal BP**. La mise en place de ce niveau marque le début de l'épisode bioclimatique de l'**Atlantique**. Bien que l'origine de ce niveau rubéfié reste encore mystérieuse, sa position stratigraphique (2 à 3 cm au-dessus de CF7) dans toutes les coupes où il est présent en fait un marqueur intéressant pour la limite supérieure des séquences téphrosédimentaires du grand marais de Limagne (en particulier le secteur de Gerzat). La date obtenue sur ce niveau renforce la datation « jeune » pour le téphra CF7 (vers 8 500 ans) et le couple CF7/NR marque le passage entre le Boréal et l'Atlantique.

Nous proposons comme exemple de cette téphrochronologie du marais de Limagne une coupe relevée au lieu-dit *Les Gravanches* dans la banlieue orientale de Clermont-Ferrand (Figure 69 bis) (RFO Inrap ; Vernet, 2010).

Figure 69 bis : Séquence volcano-sédimentaire au lieu-dit Les Gravanches (Clermont-Ferrand, 63)



2.6.3 - Références :

Ambert P. (1981) - Rapport de synthèse (thème V) : chronologie locale et synchronisme paléoclimatique. *Formations carbonatées externes, tufs et travertins*, Actes du colloque de l'A.G.F., p. 201-206.

Boivin P., Besson J.-C., Briot D., Camus G., Goër de Herve A. de, Gourgaud A., Labazuy P., Langlois E., Larouzière F.-D. de, Livet M., Mergoïl J., Miallier D., Morel J.-M., Vernet G., Vincent P. M. (2009) – *Volcanologie de la Chaîne des Puys Massif Central Français, Volcanology of the Chaîne des Puys*. 5^{ème} édition, éditée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, Château de Montlosier, 63 970 Aydat, (avec la participation de Jannot S. et Raynal J.-P.), 196 p.

Dercourt J., Paquet J. (1978) - *Géologie, objets et méthodes*. Troisième édition, Dunod Université, Bordas, Paris, 327 p.

Fairbanks R. G., Mortlock R. A., Chiu T.-C., Cao L., Kaplan A., Guilderson Th. P., Fairbanks T. W., Bloom A. L., Grootes P. M., Nadeau M.-J. (2005) - Radiocarbon calibration curve spanning 0 to 50 000 years BP based on paired ²³⁰Th/²³⁴U/²³⁸U and ¹⁴C dates on pristine corals. *Quaternary Sciences Reviews* 24 (2005), p. 1781-1796

Fourmont A., Macaire J.-J., Breheret J.-G., Argant J., Prat B. et Vernet G. (2006) – Tephra in lacustrine sediments of the Sarliève marsh (French Massif Central) : age and preservation. *C. R. Géoscience* 338 (2006), Paris, p. 1141-1149.

Guérin G. (1983) - *La thermoluminescence des plagioclases, méthode de datation du volcanisme. Applications au domaine volcanique français : Chaîne des Puys, Mont-Dore et Cézallier, Bas-Vivarais*. Doctorat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Paris, 253 p.

Juvigné E., Kroonenbert S., Veldkamp A., El Arabi A. et Vernet G. (1992) - Widespread Alleröd and Boreal trachyandesitic to trachytic tephra layers as stratigraphical markers in the Massif Central, France. *Quaternaire*, 3, (3-4), 1992, p.137-146.

Miallier D., Michon L., Evin J., Pilleyre T., Sanzelle S., Vernet G. (2004) – Volcans de la Chaîne des Puys (Massif Central, France) : point sur la chronologie Vasset-Kilian-Pariou-Chopine. *C.R. Géoscience* 336(2004), Paris, p. 1345-1353.

Pouenat P., Parent D., Jallet F., Boissy A, Henry M.-J., Gasc J., Valette C., Vallat P., Fernandez C., Gatto E, Caillat P., Wittmann A., Mennessier-Jouannet Ch., Ballut C., Vernet G., Delouche A. (2006) - *Le clos Brûlé, ZAC du Parc industriel des Gravanches (secteur Ouest)*. Rapport de diagnostic, juillet 2006, INRAP, 65p.

Raynal J.P., Vernet G., Vivent D. (1998) - Des Volcans et des Hommes depuis le dernier interglaciaire en Basse Auvergne (Massif Central France). *Il sistema Uomo-Ambiente tra Passato e Presente*, Secondo Seminario Internazionale, Ravello, Villa Rufolo, 3-6 giugno 1994, *C.U.E.B.C. Ravello*, EDIPUGLIA, Bari, 1998, p. 197-220.

Rudel A. (1973) - Activité paroxysmale de la Chaîne des Puys à 10 000 ans. *Bull. historique et scientifique de l'Auvergne*, Tome LXXXVI - n° 636, janvier-mars 1973, p. 1-11.

Sainto S., Pasty J.-F., Alix Ph., Ballut C., Fontana L., Georgon C., Macabéo G., Trefort J.-M., Vernet G., Watzte J. (2004) - Taphonomie et fonctions des occupations pré et protohistoriques du site Les Patureaux à Clermont-Ferrand, Puy-de-Dôme. *Préhistoire du sud-ouest 2004-supplément n°9 : 5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002*, p. 43-84.

Vernet G., Raynal J.P., Miallier D., Pilleyre T., Fain J., Sanzelle S., Montret M. (1990) - La retombée de la Moutade, marqueur stratigraphique de l'Alleröd en Limagne septentrionale (Massif Central, France). *C.R. Acad. Sci. Paris*, t 310, Série II, p. 1077-1082.

Vernet G. (1991) - Deux niveaux de retombées volcaniques à la base des travertins hydrothermaux de Gimeaux. *Le monde extraordinaire des sources de Gimeaux*, H. GIRARD éd., 2ème trimestre 1991, p. 7-9.

Vernet G., Paquereau M.M. (1991) - Le cours moyen de la Morge et de ses affluents (Puy-de-Dôme, France) au Pléistocène : éléments de chronologie et de paléoenvironnement. *Datation et Caractérisation des Millieux Pléistocènes*, Actes des Symposiums 11 et 17 de la 11ème R.S.T., Clermont-Ferrand, 1986, *Cahiers du Quaternaire N°16*, p. 431-449.

Vernet G. (1992) - *Message du volcanisme régional dans les formations quaternaires de Limagne occidentale (Massif Central français), minéraux denses et retombées*. Thèse de l'Université de Bordeaux 1, spécialité : Géologie du quaternaire, N° d'ordre : 724, 335 p.

Vernet G., Raynal J.-P. (1995) - La téphra des Roches, marqueur du volcanisme contemporain de la fin du Magdalénien dans le Massif Central français. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t 321, série IIa, p. 713-720.

Vernet G., Raynal J.P., Vivent D. (1996) - La téphra de la rue Sous-les-Vignes, marqueur en Limagne du volcanisme trachytique postglaciaire de la Chaîne des Puys. *C. R. Acad. Sci. Paris*, série II 310(1996), p. 325-331.

Vernet G., Raynal J.-P. (2001) - Tephrostratigraphy of Limagne revisited. Implications for the Last Glacial and Holocene Prehistory. *TEPHRAS chronologie et archéologie, Les dossiers de l'Archéo-Logis*, n°1, éditeur CDERAD, juillet 2001, p. 111-116.

Vernet G., Raynal J.-P., Kieffer G., Camus G., Guadelli J.-L., Vivent D., Miallier D., Sanzelle S., Pilleyre Th., Fain J., Montret M. (2001) - L'éruption trachytique du puy Chopine (Puy-de-Dôme, France) : Impacts proximaux et distaux et implications écoarchéologiques. *TEPHRAS chronologie et archéologie, Les dossiers de l'Archéo-Logis*, n°1, éditeur CDERAD, juillet 2001, p. 227-234.

Vernet G. (2004) - Les éruptions holocènes de la Chaîne des Puys et le peuplement mésolithique et néolithique ancien en Basse-Auvergne (Massif central, France). *Préhistoire du sud-ouest 2004-supplément n°9 : 5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002*, p. 17-24.

Vernet G., Arnaud Ph., Blaizot F., Combes P., Deberge Y., Loughton M., Mennessier-Jouannet Ch., Milcen P.-Y., Olivier F., Vernet B. (2005a) - *Le Brézet, rue Georges Besse (Clermont-Ferrand, Puy-de-Dôme)*. Rapport Final d'Opération de fouille archéologique, INRAP, 2 tomes, 12 annexes, 165 p.

Vernet G., Caillat P., Mennessier-Jouannet Ch., Parent D., Rebiscoul A., Richier A., Sérès D., Vernet B., Wittmann A (2005b) - *Bassin de Sarliève, Grande Halle d'Auvergne (Cournon, Pérignat-les-Sarliève, Aubière ; Puy-de-Dôme)*. Rapport Final d'Opération de fouille archéologique, INRAP, 3 tomes, 20 annexes, 111 p.

Vernet G. (sous la dir. de) (2010) - *Les Gravanches, zone coliposte (Clermont-Ferrand, 63)*. Rapport final d'opération (RFO), INRAP, juin 2010, 73 p.

2.7 - Taphonomie des téphras :

Lors de l'étude des dépôts pyroclastiques - et encore plus lorsqu'on les observe en position distale - la prise en compte des phénomènes intervenus après le dépôt primaire (taphonomie) est indispensable. En effet, certains phénomènes de remaniement (ruissellement, alluvionnement, ...) peuvent créer des structures sédimentaires (litages, granoclasement, ...) ou encore des modifications de la composition des clastes (enrichissement en xénoclastes par exemple). Le développement d'une pédogenèse peut changer l'aspect d'un dépôt : par exemple, la mise en place d'une matrice interstitielle entre des scories par illuviation. Ces structures sédimentaires et autres modifications peuvent engendrer des erreurs d'interprétation pourtant, en particulier sur la nature du phénomène éruptif (retombée, coulée pyroclastique, déferlante) si elles sont considérées comme primaires et non secondaires.

2.7.1 - Ruissellement sur les versants, concentration par le vent, déformations par le gel, reprise par alluvionnement :

Dans le bassin de Clermont-Ferrand, de nombreuses téphroséquences ont été observées sur les versants des buttes marno-calcaires situées le long de la bordure occidentale de la dépression de la Limagne. Souvent elles sont préservées dans des paléo-ravins qui entaillent le versant suivant la pente maximale. Cette sitologie nous conduit à une vigilance particulière sur certains aspects de ces dépôts. En effet, il est inévitable que ces dépôts téphriques, particulièrement instables, aient subi des remaniements dans ce type de contexte. Une concentration par le vent est évidente dans certains cas. Le ruissellement, responsable du creusement de ces ravines, a souvent repris après le dépôt d'un téphra et l'a remobilisé en incorporant des clastes provenant de dépôts antérieurs.

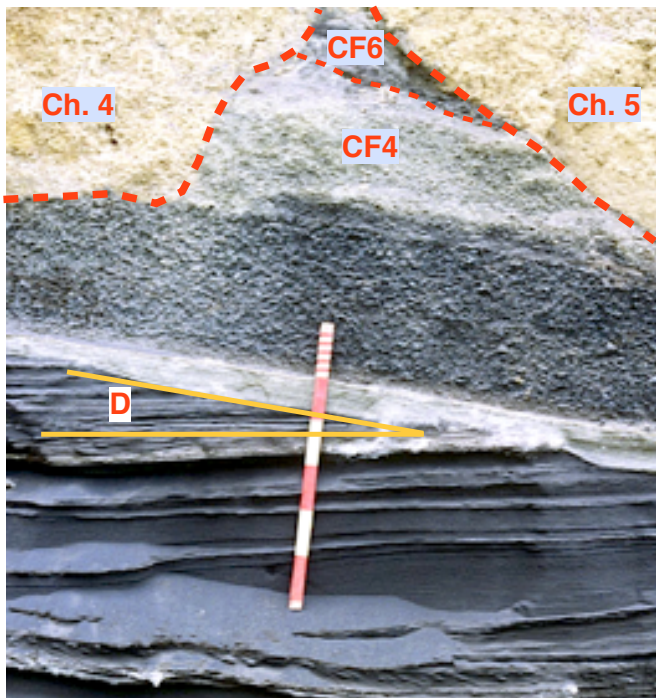
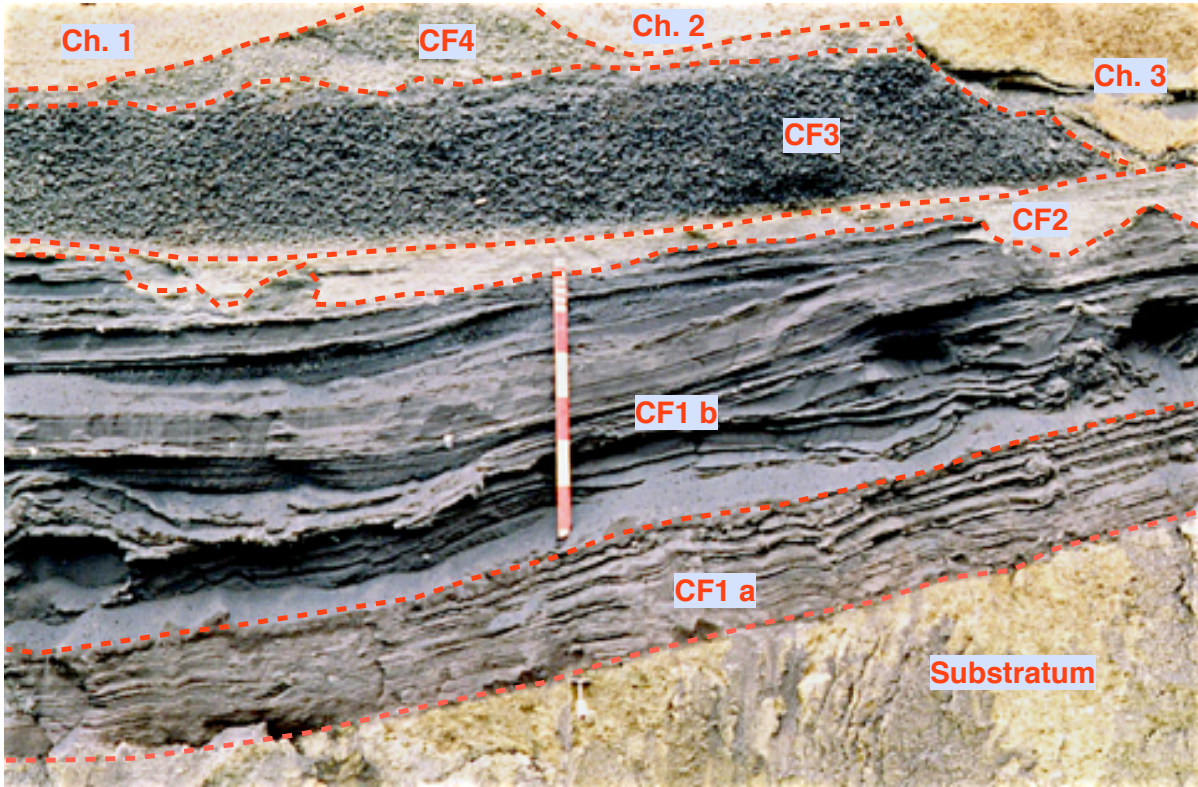


Figure 70 : Chenaux de ruissellement (Ch. 1 à Ch. 5) ; Discordance de ravinement entre CF1b et CF2 (D) ; concentration par le vent de CF1b dans un mégachenal creusé dans le substratum (colluvions) (site de la rue de Montjuzet à Clermont-Ferrand).

La coupe de la rue de Montjuzet (Figure 70) à Clermont-Ferrand est particulièrement démonstrative pour les remaniements touchant une séquence téphrique en contexte de versant marno-calcaire. Premièrement, l'observation de la coupe montre que les téphras sont préservés dans une cuvette correspondant à une combe, aux parois peu abruptes, perpendiculaire à la pente du versant. L'augmentation de l'épaisseur de CF1b dans la partie centrale de la cuvette, corrélée à une amplification de la lamination de ces dépôts et à l'apparition de stratifications entrecroisées, témoigne de la concentration par le vent de ces cendres dans la dépression. En revanche, CF1a, qui moule la dépression, conserve une épaisseur constante (critère distinctif d'une retombée ou fall) et une lamination interne plane. Des concentrations de cendres par le vent de CF1b ont également été observées dans la vallée de l'Allier à Pont-du-Château où leur épaisseur atteint les deux mètres de puissance (l'épaisseur moyenne estimée de CF1b en Limagne étant de 0,35 m). Sur la coupe de la rue de Montjuzet, des chenaux de ravinement entaillent la séquence téphrique. Certains niveaux, mis en place par ruissellement au sein du remplissage de ces chenaux, conservent un aspect proche de celui d'un niveau téphrique non remanié. L'observation à la binoculaire des scories et des clastes laviques montre un début d'éroussé de ces éléments qui permet de les différencier de ceux issus du dépôt primaire. De rares fragments de marnes (anguleux ou éroussés) sont incorporés dans ces dépôts. Il n'en reste pas moins que la distinction entre téphra en place et dépôts résultant du remaniement d'un téphra reste parfois difficile et peut conduire à des erreurs. Ainsi, un niveau d'alluvions mélanocrates (résultant du remaniement d'un téphra sous-jacent) interprété comme une retombée en place a conduit certains chercheurs à proposer l'existence d'une éruption très récente dans la Chaîne des Puys (Brousse *et al.*, 1972). La réalisation de lames minces de grand format apporte de nouvelles observations sur la morphologie des clastes, les microstructures (litage, granoclassement, présence et nature d'une matrice intragranulaire). Cette technique contribue donc à apprécier l'existence (et l'intensité) d'éventuels phénomènes de remaniement.

Au sujet des phénomènes de remaniement liés au gel, nous prendrons comme exemple les déformations qui affectent la retombée de Cellule dans le marais d'Orange. Les cryoturbations très développées forment des festons particulièrement visibles au niveau de la retombée de Cellule. De plus, l'étude en lames minces de grand format montre une microstructure lamellaire due à l'action du gel (Van Viet-Lanoe, 1976). Les observations en lames minces sur l'ensemble de la séquence sédimentaire permettent de démontrer la présence d'un pergélisol (vraisemblablement Dryas ancien) avec son horizon compacté (fragipan) et son horizon supérieur gélifilié (Vernet et Paquereau, 1991 ; Vernet, 1992).

Les reprises de téphras par alluvionnement ont été observées dans plusieurs stratigraphies étudiées en contexte palustre dans le grand marais de Limagne (Figure 71). En effet, des chenaux entaillent souvent les dépôts argileux palustres qui contiennent les téphras. Ces chenaux sont ensuite remplis d'alluvions mélanocrates (niveaux 9.2, 9.3, 10 et 10.1 de la Figure 71) constituées à 90 % d'éléments (scories, lapilli, minéraux libres) provenant des téphras. Dans les terrasses alluviales de l'Allier, les téphras sont exceptionnellement conservés uniquement dans les limons de crue ; souvent la base (sur 1 à 5 cm) est réellement en place et on observe une dispersion progressive des éléments téphriques sur 10 à 20 cm au-dessus de la lamine bien en place (Figure 72). Dans le corps grossier de la formation alluviale, les téphras ne sont pas conservés et seul l'étude des minéraux denses permet parfois de localiser un apport ponctuel de matériel pyroclastique.

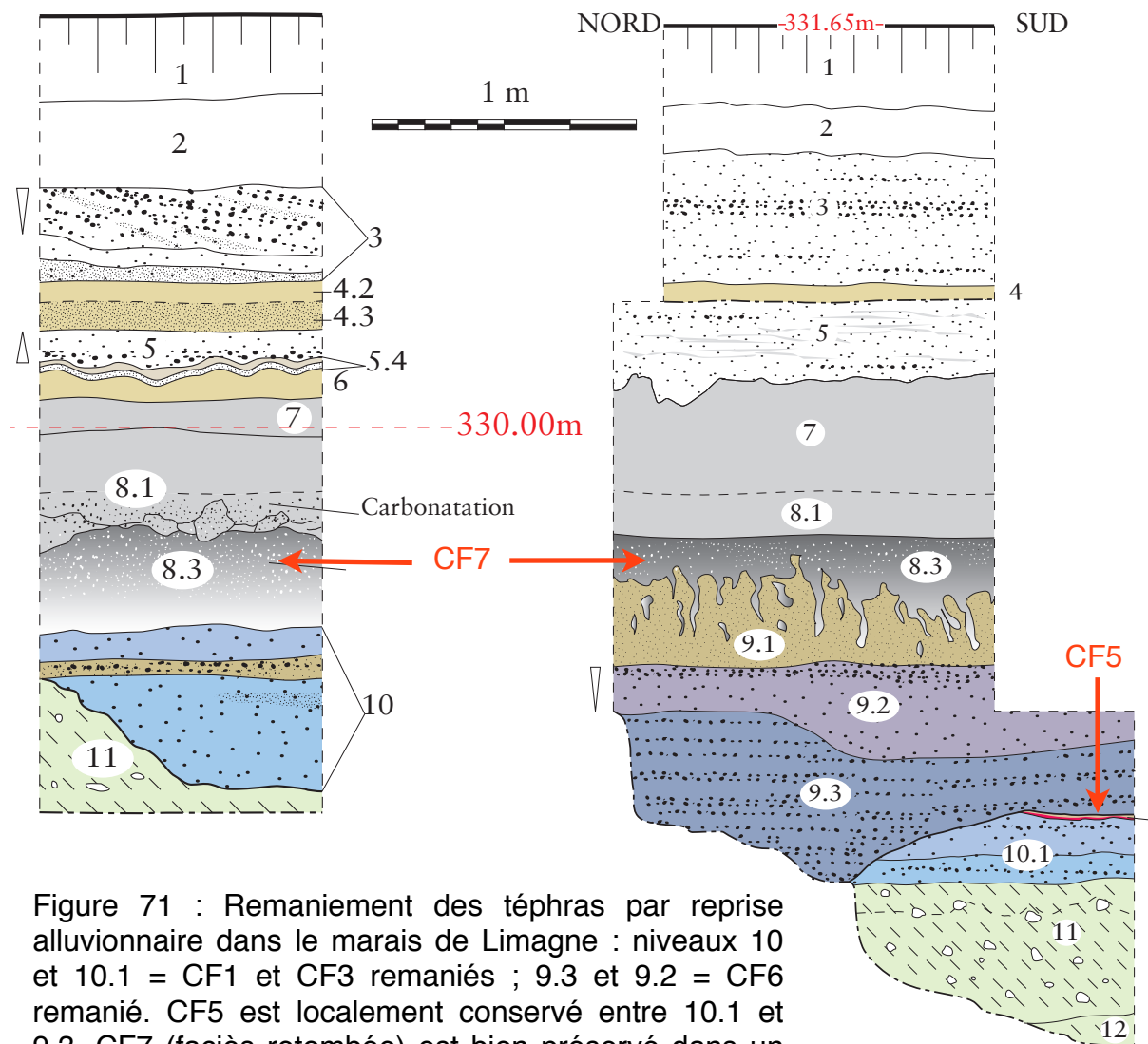


Figure 71 : Remaniement des téphras par reprise alluvionnaire dans le marais de Limagne : niveaux 10 et 10.1 = CF1 et CF3 remaniés ; 9.3 et 9.2 = CF6 remanié. CF5 est localement conservé entre 10.1 et 9.3. CF7 (faciès retombée) est bien préservé dans un sol de marais (8.3).

Lors de l'étude du remplissage du paléolac de Sarliève (cf. rapport final d'opération IN-RAP, 2005, sous la dir. de G. Vernet), nous avons mise en évidence :

- deux téphras : le Téphra de Sarliève et CF1a,
- deux principaux types de dépôts : des dépôts de « bassins distaux » constitués de l'empilement d'unités de sédiments silteux à silto-argileux, pour l'essentiel carbonatés, et, d'autre part, des dépôts de « delta », rencontrés en partie médiane de la dépression et comprenant un épais corps sableux d'abord deltaïque, puis colluvial.

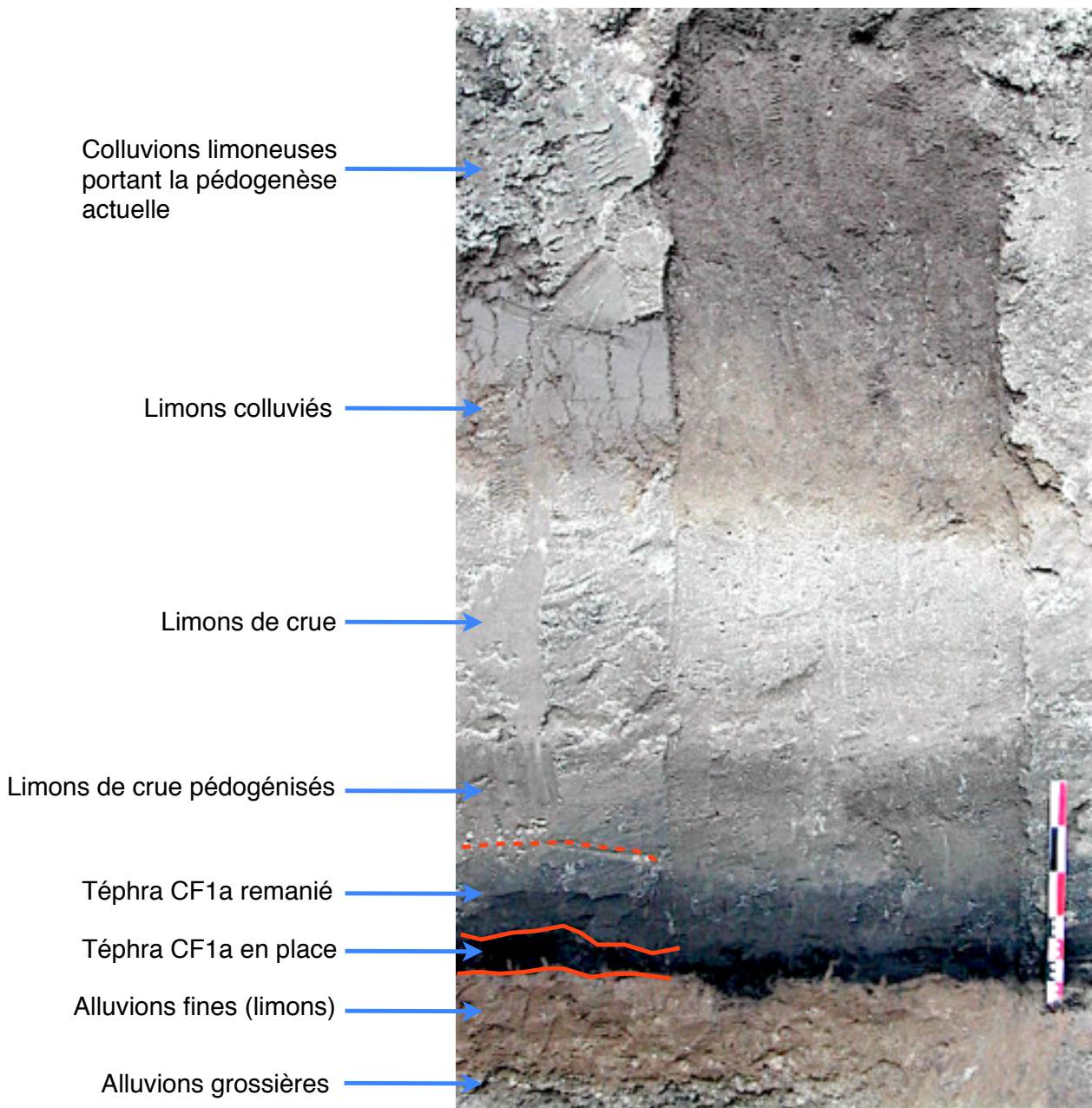


Figure 72 : Fossilisation et remaniement de CF1a dans une séquence de limons de crue reposant sur une basse terrasse alluviale grossière à Pont du Château (63).

Nous avons constaté que les niveaux téphriques étaient rencontrés uniquement dans les sédiments de bassins proximaux (delta) ; les dépôts de bassins distaux en étaient systématiquement dépourvus. Le cas de CF1 est particulièrement révélateur ; ce téphra est bien présent à la base des dépôts du delta D2 (où son sommet est affecté par des remobilisations par l'eau) alors qu'il est absent de l'unité B1 (dépôts distaux du bassin nord) mise en place entre la mise en place de CF1 (vers 12 000 BP) et la fin du Préboréal (vers 8450 BP). L'unité B1 est caractérisée par la présence systématique de zéolites (analcite et clinoptilolite) et est fortement enrichie en silicates, quartz microcristallin notamment

(Fourmon *et al.*, 2006). Les caractéristiques de l'analcite attestent une origine authigène. La concentration élevée en analcite authigène dans les dépôts distaux du bassin Nord (B1) pourrait résulter de réactions entre pyroclastes (CF1) et les eaux saumâtres à salées et/ou alcalines des bassins Nord et Sud comme décrit dans différents dépôts lacustres anciens à actuels (Hay, 1966 ; Sheppard et Gude, 1968, 1969, 1973). Cette hypothèse de dissolution de CF1 et d'authigenèse de zéolites est confortée par la zonation de la distribution des matériaux volcaniques (CF1 et CF1 remanié en position proximale, clinoptilolite en périphérie des bassins et analcite en position centrale). Cette zonation rappelle celle décrite dans le lac Tecopa (Sheppard et Gude, 1968). L'abondance de zéolites authigènes formées à la fin du Tardiglaciaire dans les eaux lacustres confinées du paléo-lac de Sarliève est un bon marqueur de la présence initiale de CF1 (Fourmon *et al.*, 2006). La présence de téphras (et en particulier de CF1) dans le bassin de Sarliève permet de dater le début du remplissage sédimentaire de la cuvette lacustre du Tardiglaciaire et fournit un exemple particulier d'une évolution taphonomique d'un téphra dans un lac confiné.

2.7.2 - Séismites, failles et chevauchements :

2.7.2.1 - Déformations du sommet de CF6 :

Des sondages d'archéologie préventive réalisés dans la banlieue nord de Clermont-Ferrand (quartier de Flamina) ont permis d'observer une nouvelle fois la séquence téphrique CF1, CF3, CF4 et CF7 conservée dans des formations palustres argileuses. La partie inférieure de la séquence (CF1, CF3 et base de CF6) montre des limites stratigraphiques planes sans déformation notable (photo 1 de la Figure 73). Localement, on note des remaniements des téphras par des phénomènes de ruissellement qui aboutissent à la formation de chenaux comblés par des alluvions mélanocrates résultant de la remobilisation des téphras CF1 et CF3. En revanche, la limite supérieure de CF6 est intensément déformée (photo 2 de la Figure 73). Cette déformation ductile affecte les sédiments argileux palustres sus-jacents (qui contiennent deux nouveaux téphras : T.a et T.b). Le téphra CF7 semble se déposer sur une surface déformée, sans subir de déformation post-déposition. Les limites stratigraphiques forment des festons dont l'amplitude verticale maximale est de l'ordre de 0,20 m. Pour T.a et T.b l'ensemble du niveau est affecté ; le niveau de cendres noires s'injecte aussi bien dans le niveau argileux sous-jacent que dans le niveau argileux sus-jacent ce qui aboutit à une dislocation du niveau téphrique, en particulier pour T.b. Pour CF6, seule sa limite supérieure est affectée et s'injecte dans le niveau palustre sus-jacent, alors que sa limite inférieure reste parfaitement plane (le mince niveau d'argiles palustres qui le sépare de CF4 n'est pas déformé). Si la survenue du phénomène responsable des déformations est bien calée chronologiquement (après le dépôt de CF6, T.a et T.b et avant la mise en place de CF7), il reste à qualifier ce dernier. En effet, ces déformations peuvent être rapprochées de déformations dues au gel mais aussi de déformations dues à des séismes (séismites). Les séismites *s.s.* sont des structures de déformations *in situ* (*soft-sediment deformation*), induites par un choc sismique dans les sédiments (Chapron, 1999 ; Rodríguez-Pascua *et al.*, 2000 et 2003 ; Becker *et al.*, 2002). Elles sont fonction des contraintes sismiques (magnitude, durée et direction), des propriétés physiques et du comportement des sédiments (rhéologie, viscosités relatives, densité). Ce dernier dépend de la granulométrie, du degré de lithification, de l'épaisseur des différentes couches de matériaux, et des discontinuités préexistantes (Davenport *et al.*, 1994). Malgré des études

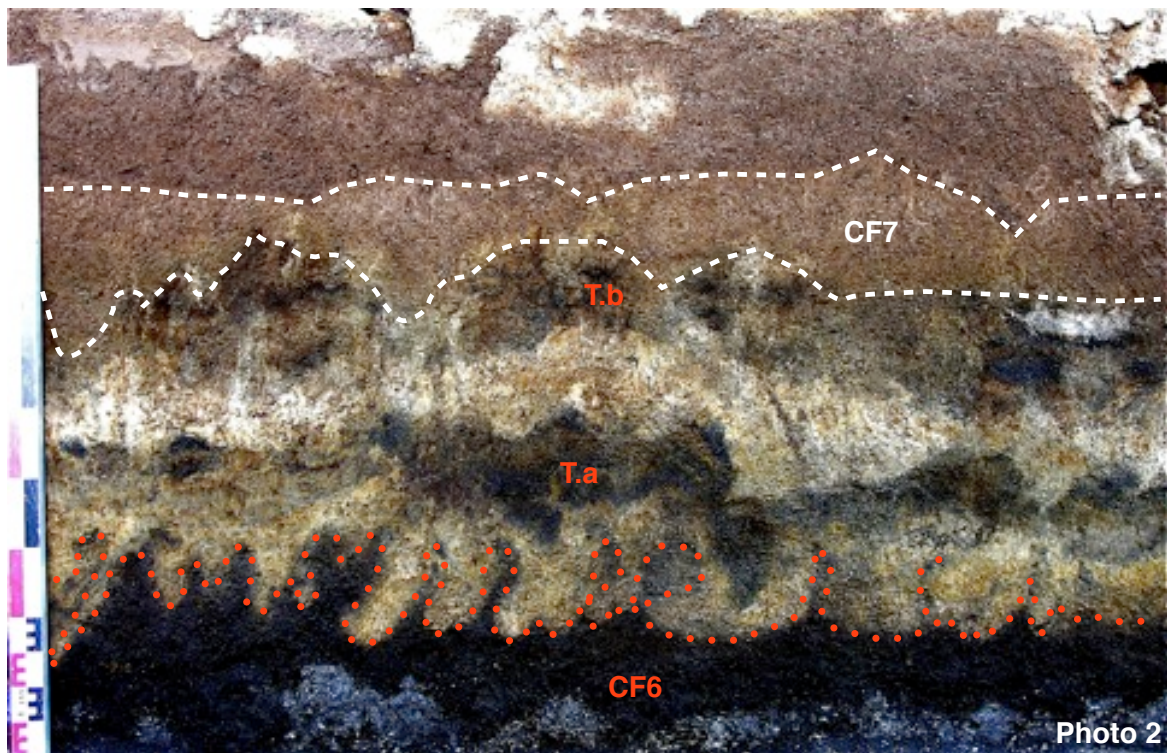
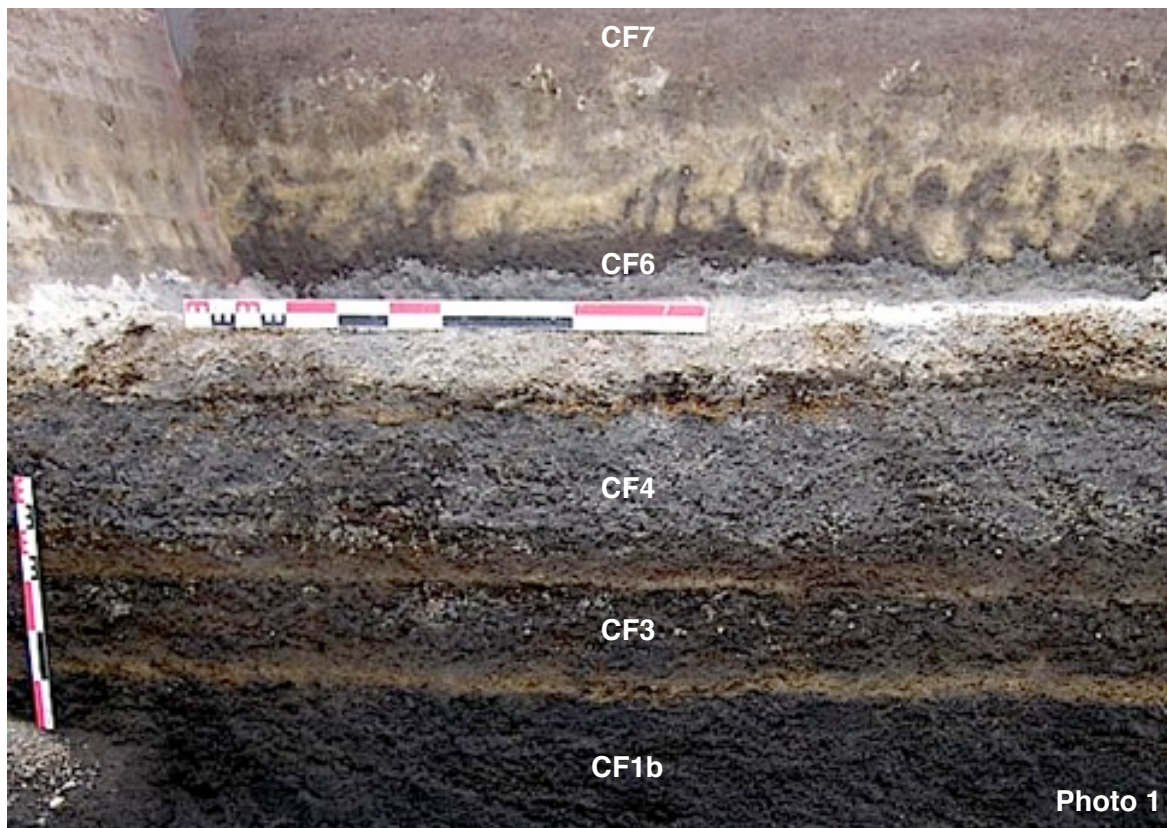


Figure 73 : Déformations affectant le sommet de CF6 et les téphras T.a et T.b.

récentes (Van Vliet-Lanoët *et al.*, 2004), la distinction entre déformations dues au gel et séismes reste souvent difficile surtout si le dépôt étudié est susceptible d'avoir subi les deux phénomènes. Dans le cas qui nous intéresse ici, la zone affectée par les déformations est bien située chronologiquement dans le début de l'Holocène (fin du Boréal ; entre CF6 et CF7). Ce positionnement dans l'Holocène permet d'exclure de façon quasi certaine que les déformations observées résultent de phénomènes dus au gel. Le seul agent pouvant être responsable de ces déformations est de nature tectonique et donc nous pouvons qualifier ces dernières de séismes. Les déformations observées sont proches de certains types de séismes (Figure 73 bis). Une crise sismique a donc touché la Limagne vers la fin du Boréal.

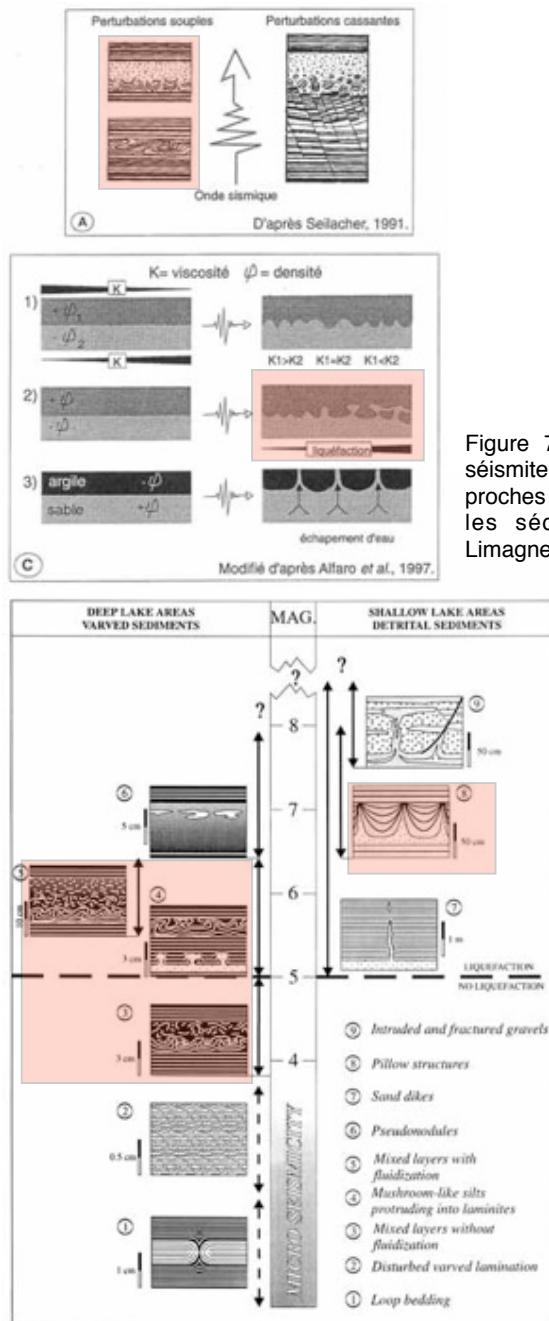
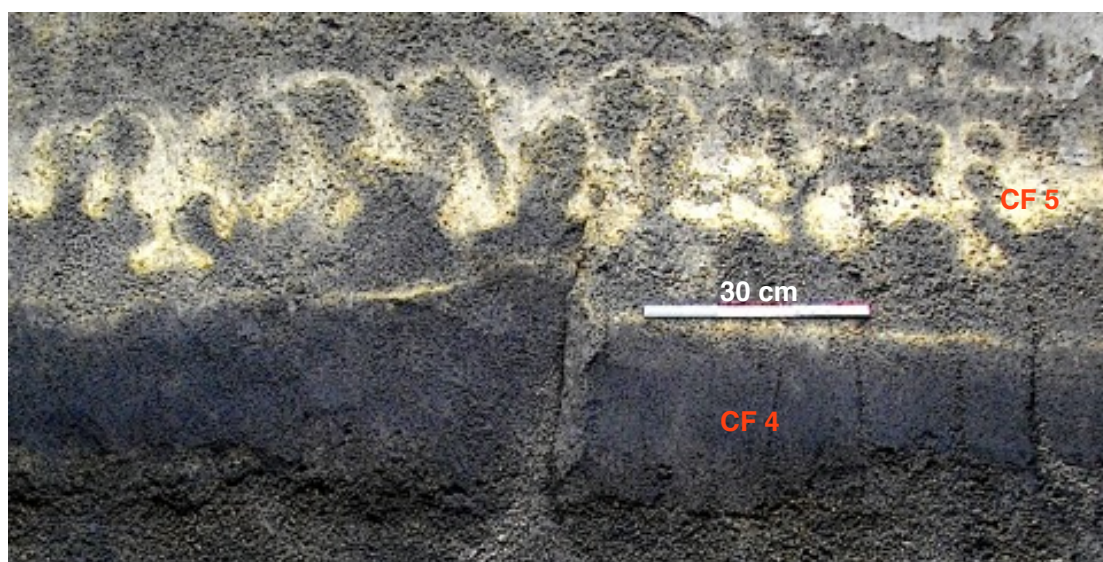
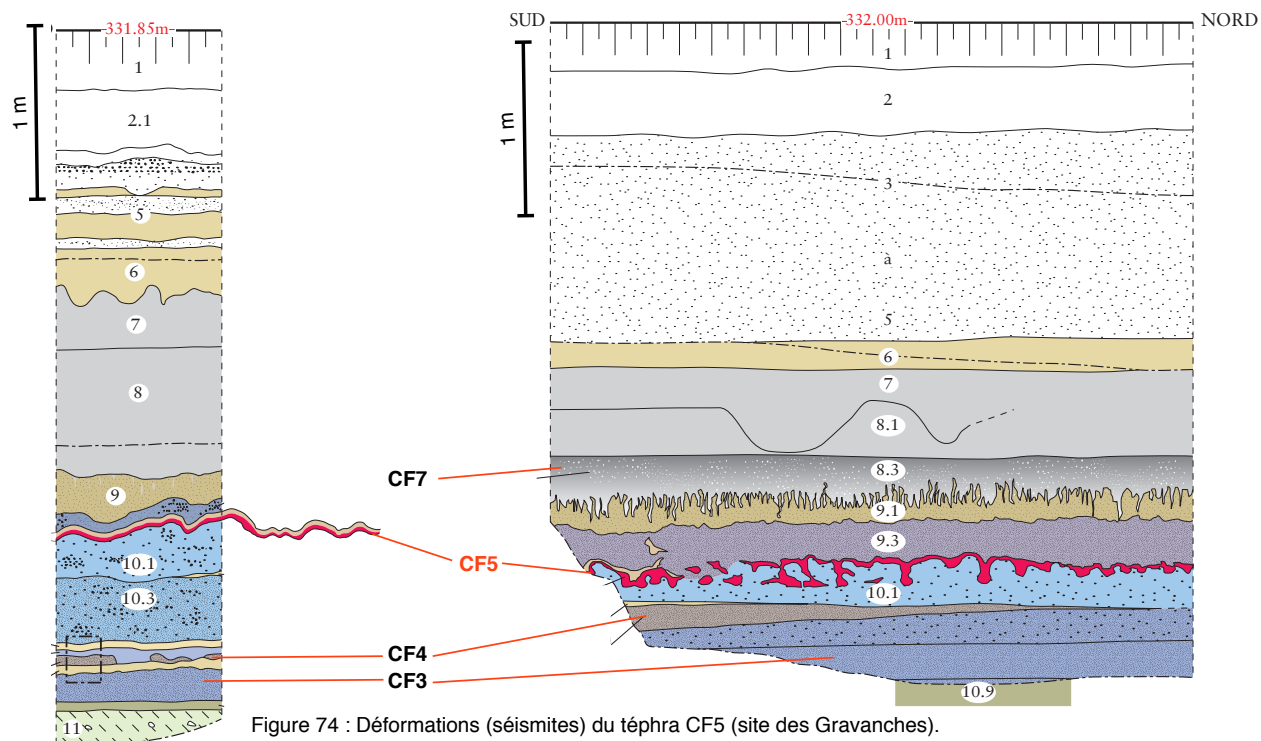


Figure 73 bis : Les différents types de séismes. Les types notés en rose sont proches des déformations observées dans les séquences volcano-palustres de Limagne.

Dans le secteur des Gravanches (Nord-Est de Clermont-Ferrand), plusieurs coupes (Figures 74 et 75) ont permis d'observer des déformations très nettes du téphra CF5 (alors que les niveaux sous et sus-jacent restent plans). Elles sont interprétées comme des séismites et interviennent encore une fois à la fin du Boréal.



2.7.2.2 - Phénomènes tectoniques sur un versant de la bordure occidentale de la Limagne (site des Quatre Routes à Clermont-Ferrand) :

Des travaux de terrassement, réalisés sur la commune de Clermont-Ferrand dans le secteur des « Quatre Routes », ont permis l'observation de plusieurs coupes importantes. Le secteur correspond à un versant bien marqué d'une butte constituée de formations oligocènes et adossée à la faille bordière occidentale de la Limagne.

Nous avons retenu deux coupes : une d'orientation Est/Ouest (parallèle à la pente) et une seconde Sud/Nord (perpendiculaire à la pente). La pente générale de versant, de l'Ouest vers l'Est, est relativement faible.

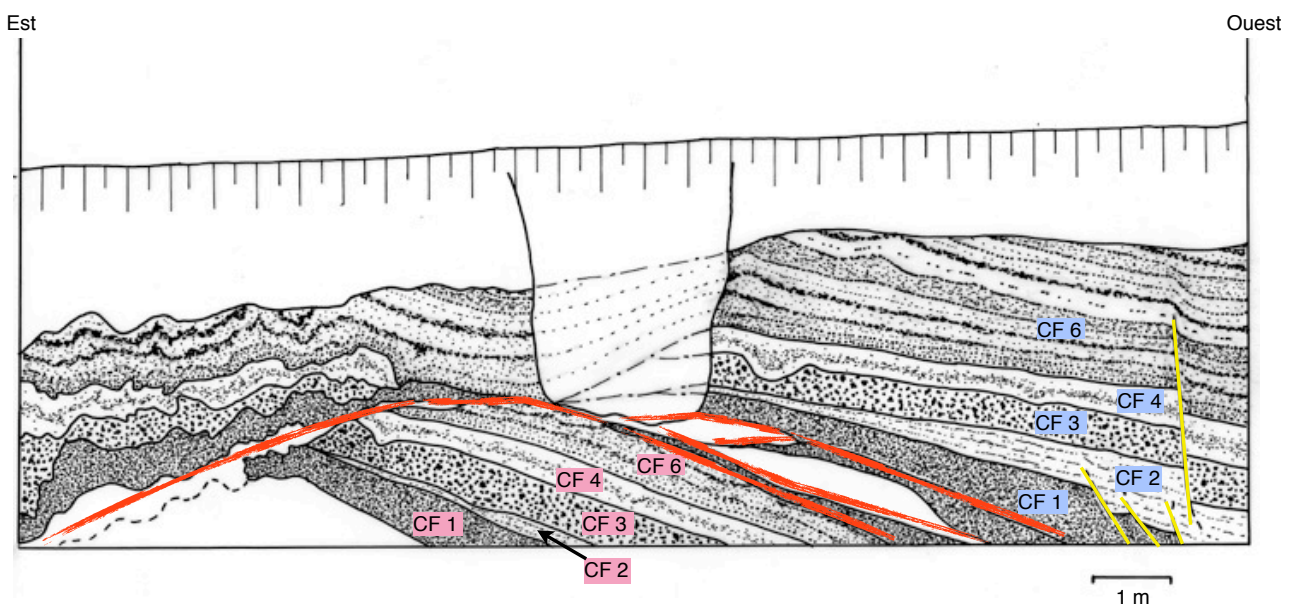


Figure 76 : Coupe Est-Ouest du chantier des 4 routes à Clermont-Ferrand. Téphroséquence avec panneaux glissés, chevauchements (lignes rouges), déformations cassantes (en jaune) et déformations souples (partie Est).

La Coupe Est/Ouest (Figure 76) permet de reconnaître la séquence téphrique suivante : CF1, CF2, CF3, CF4 et CF6. Cette séquence se répète en se superposant ; ainsi nous avons une première séquence (en rose sur la figure) qui repose sur le substrat argilo-sableux (colluvions des formations oligocènes) puis par dessus une seconde séquence (en bleu sur la figure). Une série d'observations peuvent être faites :

- On note localement l'existence d'un paléosol au sommet des colluvions argilo-sableuses sous CF1 de la « séquence rose ». La présence de ce paléosol confirme l'association, dépôt de CF1 et pédogenèse d'âge Alleröd.
- La séquence téphrique inférieure (séquence rose) possède un fort pendage inverse (de l'Est vers l'Ouest) par rapport à la pente générale du versant. On ne note pas de déformation au sein de cette séquence. L'extrémité est de CF1 présente une courbure au niveau du contact anormal avec la séquence téphrique supérieure avec reprise d'un pendage normal de l'Ouest vers l'Est.

- Le contact entre les deux séquences téphriques se fait par un contact anormal courbe (traits rouges sur la figure ; surface de chevauchement). Dans la partie ouest de la coupe, cette surface n'est pas unique mais elle se subdivise en trois et des lambeaux du substrat argilo-sableux et de CF1 sont présents sous forme de lentilles plus ou moins étirées. Le pendage est de l'Est vers l'Ouest (inverse). Dans la partie est, le contact est plus franc et unique. Il est souligné par une semelle constituée par une reprise du substrat argilo-sableux. Le pendage est de l'Ouest vers l'Est (normal).
- La séquence téphrique supérieure (séquence bleue) présente un aspect différent dans sa partie est et dans sa partie ouest. A l'Ouest, la séquence apparaît non déformée, cependant une série de petites failles conformes normales (en jaune sur la coupe) décale la série d'une quarantaine de centimètres au maximum accentuant ainsi l'enfoncement de la série vers l'Ouest. A l'Est, la séquence présente des déformations ductiles prononcées qui ne sont pas sans rappeler les déformations observées en Limagne et interprétées comme des séismites (cf. supra). Il est clair que ces déformations apparaissent dès lors que la séquence « plonge » vers l'Est après un changement de pente net (pointillés verts sur la coupe).
- Si l'on compare CF6 dans les deux séquences, on constate que son épaisseur est beaucoup plus importante dans la séquence supérieure ce qui nous conduit à envisager que CF6 est tronqué dans la séquence inférieure ; le contact anormal est donc rabotant.

L'ensemble des observations réalisées sur la coupe Est-Ouest du site des Quatre Routes montre que d'importants phénomènes de glissement de terrain ont affecté ce versant. La survenue de ces phénomènes est postérieure au dépôt du téphra CF6. Des mouvements en masse d'une partie du versant se sont produits à partir d'une cassure courbe (faille panmèenne) et ont provoqué le chevauchement de plusieurs panneaux.

Sur la coupe Nord/Sud (Figure 77), nous retrouvons à la base le téphra CF6 (niveau 7) qui est légèrement repris par colluvionnement au sommet (niveau 6). Sur une surface érosive, un dépôt pyroclastique (niveau 5 ; Téphra Z) se met en place en discordance. Dans la partie nord de la coupe, le Téphra Z est affecté par une série de petites failles normales qui produisent des décalages assez faibles, de l'ordre d'une vingtaine de centimètres en moyenne. Ces déformations cassantes peuvent être interprétées comme les manifestations les plus tardives des phénomènes de glissement de terrain qui ont affecté le versant. Postérieurement au dépôt du Téphra Z et à sa déformation, une reprise du colluvionnement sur le versant entraîne le dépôt d'un niveau (niveau 4) peu épais (et surtout localisé dans une dépression dans la partie nord de la coupe). Notons que ces colluvions sont très chargées en éléments provenant de la remobilisation de produits pyroclastiques qui peuvent provenir des téphras sous-jacentes ; cependant on ne peut pas exclure des apports nouveaux lors de cette phase colluviale. CF7 (dans son faciès de coulée pyroclastique distale) se met ensuite en place dans les points bas (extrémités nord et sud de la coupe). Ce dernier épisode pyroclastique n'est pas touché par les phénomènes tectoniques observés sur la séquence téphrique sous-jacente. Ces constatations nous permettent de placer chronologiquement la survenue de ces derniers : en effet, ils se produisent après le dépôt de CF6 et avant celui de CF7 (il semble que le dépôt du Téphra Z intervienne à la fin de cet épisode d'instabilité). Quel que soit le facteur déclenchant (séisme, augmentation de

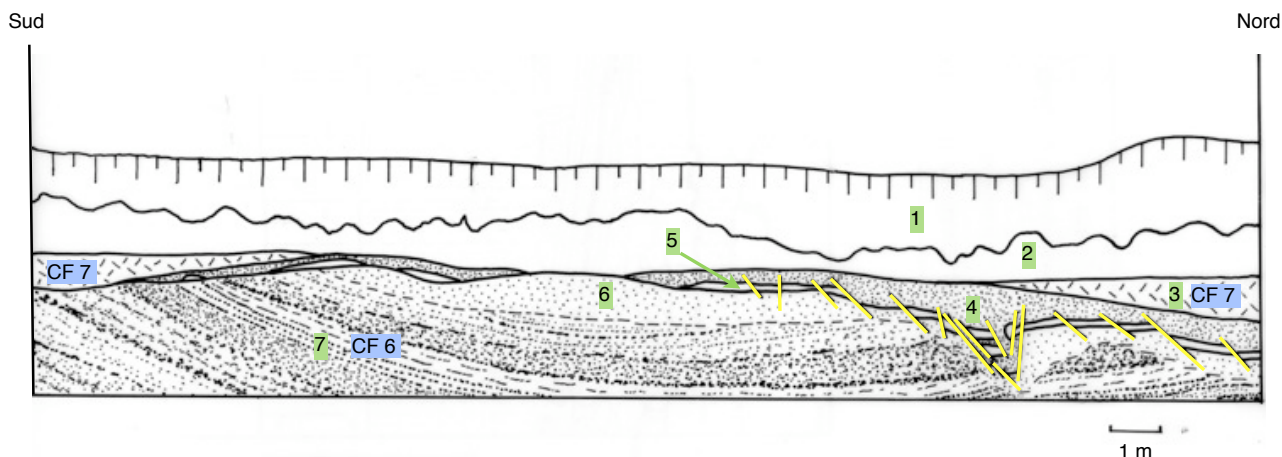


Figure 77 : Coupe Nord-Sud du chantier des 4 routes à Clermont-Ferrand. Téphroséquence avec CF6, le Téphra Z (= niv. 5), CF7 (faciès coulée pyroclastique) et déformations cassantes (en jaune) affectant le sommet de CF6 et le téphra Z.

l'instabilité du versant par un accroissement de l'humidité et/ou par une diminution de la couverture végétale) de ces phénomènes, la présence des téphras permet de les dater : entre 9500 ans (âge du puy de Pariou et CF6) et 8850 ans (âge moyen proposé pour CF7 ; Kilian - volcan source - daté vers 9180 ans), soit vers la fin du Boréal. Il est remarquable de constater que ces phénomènes d'instabilité de versant interviennent à la même date que les déformations interprétées comme des séismites dans le marais de Limagne. Seroient-ils les marqueurs d'une crise sismique régionale ? L'occurrence d'un événement tectonique a été suggérée récemment à la suite de l'observation d'une large faille qui affecte les produits du puy de Pariou dans la Chaîne des Puys (Miallier *et al.*, 2008). Les auteurs concluent qu'un événement tectonique significatif s'est produit dans le centre de la Chaîne des Puys il y a moins de 9 500 ans. Cet événement tectonique serait-il le facteur déclenchant des glissements observés sur le site des « Quatre Routes » et de la formation de séismites dans le marais de Limagne ?

2.7.3 - Références :

Becker A., Davenport C.A. and Giardini D. (2002) - Palaeoseismicity studies on end-Pleistocene and Holocene lake deposits around Basle, Switzerland. *Geophys. J. Int.*, Volume 149, p. 659-678.

Brousse R., Daugas J.-P., Malacher F., Rudel A. (1972) - Niveaux de cendres volcaniques dans une fouille archéologique. *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 275, série D, p. 2619-2621.

Chapron E. (1999) - *Geologie alpine : Contrôles climatique et sismo-tectonique de la sédimentation lacustre dans l'Avant-Pays Alpin (Lac du Bourget)*. Thèse, Université de Grenoble I.

Davenport C.A., Lap J.M.J., Maurenbrecher P.M., Price D.J.G. (1994) - Liquefaction potential and dewatering injection structures at Herkenbosch: field investigations of the effects of

the 1992 Roermond earthquake, the Netherlands. *Geologie en Mijnbouw*, Vol. 73, p. 365-374.

Fourmont A., Macaire J.-J., Breheret J.-G., Argant J., Prat B., Vernet G. (2006) - Tephros in lacustrine sediments of the Sarliève marsh (French Massif Central) : age and preservation, *C. R. Geoscience* 338 (2006), Paris, p. 1141-1149.

Hay R. L. (1966) - Zeolite and Zeolitic Reactions in Sedimentary Rocks. *Geological Society of America*, New York, 1966.

Miallier D., Boivin P., Pilleyre Th., Chopin L., Malterre D., Sanzelle S. (2008) - Les téphras du Pariou (Chaîne des Puys, France) : observations sur la dispersion proximal, apports téphrostratigraphiques. *Quaternaire*, 19/2, 2008, p. 87-96.

Rodríguez-Pascua M.A., Calvo J.P., De Vicente G. and Gómez-Gras D. (2000) - Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. *Sedimentary Geology*, Vol. 135, p. 117-135.

Rodríguez-Pascua M.A., De Vicente G., Calvo J.P. and Pérez-López R. (2003) - Similarities between recent seismic activity and paleoseismites during the late miocene in the external betic Chain (Spain) : relationship by 'b' value and the fractal dimension. *Journal of Structural Geology*, Vol. 25, p. 749-763.

Sheppard R. A., Gude A. J. (1968) - Distribution and genesis of authigenic silicate minerals in tuffs of Pleistocene Lake Tecopa, Inyo County, California. *U. S. Geol. Surv.*, 597(1968), p. 1-38.

Sheppard R. A., Gude A. J. (1969) - Diagenesis of tuffs in the Barstow Formation, Mud Hills, San Bernardino County, California. *U. S. Geol. Surv.*, 634(1969), p. 1-35.

Sheppard R. A., Gude A. J. (1973) - Zeolites and associated authigenic silicate minerals in tuffaceous rocks of the Big Sandy Formation, Mohave County, Arizona. *U. S. Geol. Surv.*, 830(1973), p. 1-36.

Van Vliet-Lanoë B. (1976) - Traces de ségrégations de glace en lentilles associées aux sols et aux phénomènes périglaciaires fossiles. *Bull. Perygl.*, 26, p. 41-55.

Van Vliet-Lanoë B., Magyari A. et Meilliez F. (2004) - Distinguishing between tectonic and periglacial deformations of quaternary continental deposits in Europe. *Global and Planetary Change*, 43 (2004), p. 103-127.

Vernet G., Paquereau M.M. (1991) - Le cours moyen de la Morge et de ses affluents (Puy-de-Dôme, France) au Pléistocène : éléments de chronologie et de paléoenvironnement. in Datation et Caractérisation des Milieux Pléistocènes, Actes des Symposiums 11 et 17 de la 11^e R.S.T., Clermont-Ferrand, 1986, *Cahiers du Quaternaire N°16*, p. 431-449.

Vernet G. (1992) - *Message du volcanisme régional dans les formations quaternaires de Limagne occidentale (Massif Central français), minéraux denses et retombées*. Thèse de l'Université de Bordeaux 1, spécialité : Géologie du quaternaire, N° d'ordre : 724, 335 p.

Vernet G. (sous la Dir.) avec Caillat P., Mennessier-Jouannet Chr., Parent D., Rrisicoul A., Richier A., Séris D., Vernet B. et Wittmann (2005) - *Bassin de SARLIEVE, Grande Halle d'Auvergne (Cournon, Pérignat-les-Sarliève, Aubière, 63)*. Rapport final d'opération de diagnostic et de fouille, INRAP, Direction Interrégionale Rhône-Alpes/Auvergne, 2005, 3 tomes, 20 annexes, 188 figures, 546 p.

2.8 - Relations avec l'occupation humaine et impact sur les paléoenvironnements :

L'humanité serait née au milieu des volcans d'Afrique, mais rien n'indique que cette promiscuité a imprégné son imaginaire. En revanche, les toutes premières sociétés agro-citadines d'Anatolie, ont figuré, pour la première fois, un volcan en éruption, le Hasan Dag. La nature des rapports entre humains et volcans pendant la Préhistoire reste donc encore très floue. En 1998, J.-P. Raynal (alors Directeur du GDR 1122 CNRS et Président de la Commission 31 UISPP) souligné que « Les transformations des paysages volcaniques sont généralement brutales et génèrent des situations de crises auxquelles les populations doivent réagir, le plus souvent dans l'urgence. » Les études de téphrologie, que j'ai développé, sont intégrées dans une réflexion écoarchéologique. L'étude des relations homme-milieu dans le Massif Central, en insistant sur la nécessaire prise en compte du volcanisme, a été maintes fois abordée (Raynal, Daugas, 1984, 1989 et 1991 ; Daugas , Raynal, 1979, 1989, 1991a et 1991b ; Raynal, Sanzelle, 1989 ; Raynal *et al.*, 1994, 1998 et 2003 ; Vernet G., Raynal J.P., 1995b). Si un lien direct entre volcanisme et sociétés préhistoriques reste difficile à établir, il est possible de préciser l'impact des éruptions de la Chaîne des Puys sur les écosystèmes environnants et donc analyser les situations favorables ou défavorables aux groupes humains.

La prise en compte des informations apportées par la téphrostratigraphie de la Chaîne des Puys, aussi bien dans le domaine de la volcanologie que dans celui de l'impact des éruptions sur les paléoenvironnements (et l'homme), est récent ; dans deux ouvrages destinés au grand public (*Volcans d'Auvergne la menace d'une éruption ?*, De Goër de Herve, 1997 ; *La Chaîne des Puys*, Gourgaud *et al.*, 2008) et dans la 4^e édition de la carte de la Chaîne des Puys (*Volcanologie de la Chaîne des Puys* ; Boivin *et al.*, 2004a et 2004b). En 2009, un ouvrage destiné plus particulièrement aux enseignants en Sciences de la Vie et de la Terre (Gourgaud *et al.*, 2009) comporte un chapitre sur « les formations pyroclastiques distales de la Chaîne des Puys et les relations homme préhistorique et volcanisme ». Enfin, il faut signaler la réalisation de deux films sur ce thème :

- « **Mémoires de volcans** », direction scientifique : J.-P. Raynal, production : CRDP d'Auvergne, 2002.

- « **L'histoire des hommes de Marsat, Chronique d'une éruption en Auvergne** », production : Volcan Terre d'Eveil, 2009.

Les éruptions responsables de la mise en place de la Chaîne des Puys ont brutalement perturbé l'environnement et modifié les processus géodynamiques. L'impact du volcanisme sur les écosystèmes régionaux a été d'ampleur très inégale. Tout essai d'analyse de la distribution des installations préhistoriques régionales doit donc en tenir compte.

En revanche, certaines de ces éruptions ont créé des sites attractifs pour les groupes humains préhistoriques. Les rives des lacs installés dans les cratères de maar ont été fréquentées par l'homme moustérien (Saint-Hippolyte près de Châtel-Guyon). Les hommes du Paléolithique supérieur ont installé leur campement dans les abris-sous-roche en bordure de coulées de lave, comme à Blanzat près de Clermont-Ferrand.

2.8.1 - Modifications du paysage :

Le paysage a subi des modifications sensibles.

Le premier exemple que l'on peut prendre est l'impact de l'éruption du Maar de Saint-Hippolyte sur le réseau Hydrographique (Vernet, 1998). La nappe de la Croix-de-la-Bade, présente dans les trois vallées étudiées du bassin moyen de la Morge, possède des caractéristiques spécifiques (nature des matériaux, état de leur évolution, granulométrie, aspect) qui permettent d'en faire, non pas une nappe alluviale classique, mais une formation épicyclastique issue des produits éruptifs de maar de Saint-Hippolyte dont l'éruption est datée par TL vers 90 ka. En outre, cette nappe n'est pas étagée, mais emboîtée dans une nappe antérieure (Nappe des Caillots), ce qui tendrait à confirmer son étalement dans le lit majeur du Sardon, dont elle a colmaté la partie amont du cours. On peut qualifier cette nappe alluviale, au moins dans la vallée du Sardon, de Lahar secondaire. Sa mise en place n'obéit pas à une commande climatique, mais témoigne d'une éruption volcanique. De plus, une défluviation du Sardon (qui existe aussi dans la vallée de la Morge) est mise en évidence et semble immédiatement postérieure à l'éruption du maar de Saint-Hippolyte. Ces défluviations sont dues à une tectonique qui réactive les systèmes de failles préexistants. Cette « crise tectonique » est en liaison avec le volcanisme basaltique dispersé qui se développe durant cette période sur la bordure occidentale de la Limagne et dont l'éruption du maar de Saint-Hippolyte fait partie. La formation repère - Nappe de la Croix-de-la-Bade - signe l'impact direct d'une éruption phréatomagmatique sur le réseau hydrographique local et fixe la chronologie des nappes alluviales et des défluviations observées. Cette éruption phréatomagmatique a donc profondément modifié le paysage de bassin moyen de la Morge, perturbant les territoires de l'homme moustérien ; paradoxalement, cette éruption a aussi fourni un nouveau site favorable à son implantation : les berges du lac de cratère qui a occupé rapidement la dépression cratérique.

Toujours sur le réseau hydrographique, les écoulements boueux et les laves ont ennoyé une partie de celui-ci : une reprise rapide d'érosion aux flancs des coulées (Pelletier, 1964 ; Blais *et al.*, 1971) s'est alors accompagnée d'une déstabilisation chronique des versants. Certaines éruptions intervenues sous ambiance périglaciaire ont provoqué de considérables glissements de terrain (Goër *et al.*, 1993). Des éruptions phréatomagmatiques ont eu des impacts directs sur les réseaux hydrographiques locaux (Jeambrun, 1987 ; Vernet,

1998 ; Livet *et al.*, 2000). Des séismes ont accompagné les éruptions et provoqué des modifications brutales des versants et des tracés des cours d'eau en Grande Limagne.

L'activité tardiglaciaire et holocène de la Chaîne des Puys a eu une influence importante sur la genèse et le développement des marais de Limagne et donc l'occupation humaine de cette plaine. En effet, à la suite du dernier paroxysme de la Chaîne des puys ayant provoqué la destruction de couvert végétal des versants (bordure occidentale de la Limagne et plateau des Dômes), les drains naturels étaient engorgés par des colluvions et alluvions (résultant de la remobilisation de produits pyroclastiques et des colluvions provenant des versants dénudés) et par des téphras en place. En outre, la quasi totalité de la plaine avait été recouverte par au moins 15 cm de cendres (en mise en place de, au moins, CF1a/CF1b). Cet « engorgement » des zones basses favorise l'extension des zones palustres de fait d'un drainage médiocre et dont la réorganisation a été longue à se faire. La Corylaie (localement 65 % des espèces arbustives) envahie la plaine à l'Atlantique. La généralisation de ces zones palustres ne favorise pas la mise en valeur de la Limagne par les premiers agriculteurs. Des installations du Néolithique ancien sont cependant présentes dans des secteurs de marais, par exemple au Brézet (Vernet, 2004a et 2004b). Des témoins (céramiques et faune) du Néolithique ancien ont aussi été découverts dans les zones d'extention du faciès de coulée pyroclastique (ou son remaniement) de CF7 (Nohanent, Gerzat/Cébazat). Il est possible que le sol (plus léger, moins argileux et cependant assez riche), développé sur ces pyroclastites, soit apparu à ces premiers agriculteurs comme des terres attractives (Vernet, inédit).

2.8.2 - L'impact des retombées distales de la Chaîne des Puys :

L'étude des téphras distaux réalisée depuis une quinzaine d'années apporte des données importantes sur les relations hommes préhistoriques et volcanisme.

La fin du tardiglaciaire est un moment crucial de l'histoire des sociétés préhistoriques : les profondes mutations du milieu induites par le réchauffement climatique amorcé dès le Bölling déterminent une réadaptation des économies de subsistances aux conséquences culturelles considérables, illustrées par la transformation des outillages lithiques. À l'Azilianisation réalisée dès l'Alleröd, succède, au Pré-Boréal, la Mésolithisation, puis au Boréal la Néolithisation. Durant cette période se sont déposés un nombre important de téphras distaux en un laps de temps relativement court. La restitution des lobes de dispersion de certains de ces téphras permet de montrer qu'une grande partie des territoires situés à l'est de la Chaîne des Puys est, à plusieurs reprises, recouverte d'une couche de cendres non négligeable. Par exemple, le complexe téphrique CF1a/CF1b (retombée de la rue de la Barre/retombée des Roches) recouvre la quasi totalité de la Limagne vers 13 700 ans ; 1 500 m³ de cendres par hectare recouvrent alors la Limagne ! Durant cette période, des modifications notables des environnements végétaux sous l'impact des éruptions trachyandésitiques sont attestées par l'analyse pollinique (Vivent, Vernet, 2001) dans des systèmes enregistreurs adéquats (marais), et ce, à une distance minimum de 30 km des points éruptifs.

Par exemple, le dépôt du téphra de la Moutade a des répercussions sur les représentations polliniques :

- perturbation quantitative de la pluie pollinique régionale et locale,
- diminution de l'humidité du milieu, reprise croissante des seules herbacées après le dépôt de cendre et celle, plus tardive, des taxons arboréens (Raynal et al., 1998).

Les paysages ont donc été transformés, la faune a déserté temporairement ces zones et une modification de celle-ci est probable. L'homme préhistorique a dû s'adapter à ces conditions environnementales nouvelles.

La bonne connaissance de la dispersion des retombées (fall) issues de la Chaîne des Puys donne une indication sur la direction des vents dominants durant la fin du tardiglaciaire et le début de l'Holocène. En effet, il n'existe pratiquement aucun lobe de dispersion dirigé vers l'Ouest ou vers le Nord. Les sondages d'archéologie préventive (opération IN-RAP), réalisés pour la construction de l'autoroute Clermont-Bordeaux, ont montré l'indigence des dépôts pyroclastiques sur toute la bordure ouest de la chaîne des puys, même en position proximale (2 à 4 km). En revanche, les lobes de dispersion dirigés vers l'Est, le Nord-Est, et le Sud sont majoritaires. Pour les dispersions les plus lointaines, on remarque que deux directions ressortent, le Sud et le Nord-Est/Est. Il semble bien que les vents dominants responsables de la dispersion des panaches éruptifs étaient des vents du Nord et des vents d'Ouest ou du Sud-Ouest ; ce qui est peut différent de la situation actuelle.

En plus des modifications importantes de son environnement, l'homme préhistorique a été directement affecté par les éruptions de la Chaîne des Puys. Quatre sites préhistoriques montrent clairement que ses campements ont été touchés par des produits éruptifs.

Dans l'Abri Durif à Enval, plusieurs niveaux archéologiques de la fin du Magdalénien ont été identifiés (Bourdelle, 1979). Un téphra a été identifié au sommet de la séquence stratigraphique où il scelle la dernière occupation magdalénienne de l'abri ; il n'est surmonté que par un effondrement de la voûte de l'abri, vraisemblablement pénécemporain (Ver-net, Raynal, 1995). Ce téphra a été rapporté à CF1b attribué au Puy de la Nugère. Les chasseurs magdaléniens d'Enval ont donc été les témoins de l'éruption du Puy de la Nugère et ont ensuite abandonné l'Abri Durif.

La Limagne occidentale a enregistré au moins cinq épisodes éruptifs trachytiques de la Chaîne des Puys (CF5, Formation de Marsat, CF7, Téphra Z et Téphra de Sarliève) durant la fin de l'époque tardiglaciaire et le début de l'Holocène. Deux de ces recouvrements (CF7 et la Formation de Marsat) sont en relation avec des occupations humaines mésolithiques et épipaléolithiques.

Sur la commune de Marsat, au lieu-dit Les Pradelles, une formation éruptive complexe (la Formation de Marsat), attribuée à l'éruption du Puy Chopine, recouvre deux niveaux archéologiques (mésolithique et épipaléolithique). L'unité de base de la formation de Marsat représente indiscutablement une coulée boueuse synéruptive (lahar primaire, faciès distal d'une coulée pyroclastique proximale), identifiée à plus de 11 km de son volcan source. L'existence de ce type de phénomène est pour la première fois décrit pour un édifice de la Chaîne des Puys. L'importance et la nature des dépôts éruptifs du Puy Chopine découverts à Marsat changent de façon radicale la vision que nous avons jusqu'à présent des éruptions trachytiques de la Chaîne : nul n'imaginait qu'une coulée boueuse ait affecté la

Limagne, vers $9\,720 \pm 120$ ans. L'impact de l'éruption du Puy Chopine sur les environnements en position distale est ici particulièrement démonstratif. En effet, la coulée boueuse (lahar primaire) ennoie et colmate la vallée du ruisseau de Mirabel à son débouché sur la plaine de la Limagne. Elle fossilise au passage un campement de chasseurs mésolithiques. Le drainage naturel est alors totalement perturbé. Sa réorganisation intervient de façon catastrophique par la création de chenaux comblés d'alluvions torrentielles (lahar secondaire) qui charrient des troncs d'arbres, témoins de la destruction massive de la végétation par les phénomènes éruptifs. Enfin, la vallée est recouverte par au moins trente centimètres de cendres issues des retombées (fall) vannées du panache éruptif. Il est clair que le secteur de Marsat se trouve alors particulièrement dégradé et inhospitalier pour les chasseurs mésolithiques qui ont dû abandonner leur campement (Vernet, Raynal, 2002).

Le Téphra de la Rodde (ou Téphra CF7) est composé de fragments anguleux centimétriques de trachytes, témoins distaux de l'explosion d'un dôme. Ils sont présents sous forme de retombée (fall) dans des colluvions ou à la base des terres noires de Limagne, mais également dans des faciès de coulées (flow) pyroclastiques trachytiques près de la faille bordière occidentale de la Limagne et ses faciès de remaniement jusque en Limagne (secteur de Cébazat/Gerzat).

Le faciès de retombée (fall) de CF7 a été mise en évidence dans une séquence sédimentaire contenant un niveau archéologique mésolithique (vers $8\,630 \pm 400$ ans) dans la banlieue est de Clermont-Ferrand, au lieu-dit « *Les Paturaux* » (Saintot *et al.*, 2004). Ce campement d'âge mésolithique (culture sauveterrienne) (Figure 78) a été le siège d'une pluie de petits fragments de trachyte à la suite à l'explosion du cratère Kilian. Plus intéressante encore est la découverte en 2002 d'un site mésolithique (Figure 79) également affecté par le téphra CF7 sur le plateau des Dômes à seulement quatre kilomètres à l'ouest de la Chaîne des Puys (site de « *Les Prés Longs* » à Pulvérières ; Colonge *et al.*, 2005).

Au cours du Boréal, la Limagne occidentale a enregistré deux épisodes éruptifs trachytiques violents de la Chaîne des Puys (Formation de Marsat et CF7). Dans ces deux cas, il a été possible d'identifier des dépôts résultant de coulées pyroclastiques en position distale ou de coulées boueuses en plus du faciès de retombée (fall) issue de la dispersion des panache éruptifs. Ces phénomènes (flow et lahar) sont beaucoup plus dévastateurs qu'une retombée de cendres ou un épanchement de lave. Dans le cas de la Formation de Marsat, un phénomène (écoulements torrentiels de type lahar secondaire) catastrophique, visant à rétablir le drainage dans la vallée, accentue encore le caractère dévastateur de l'éruption du Puy Chopine. Ces éruptions ont eu lieu alors que l'homme était présent et chaque fois des campements préhistoriques ont été atteints : destruction par la coulée boueuse dans le cas du site de Marsat ou simple saupoudrage par CF7 dans le cas du site « *Des Paturaux* ». La mise en évidence du Téphra Z sur une coupe du site des « *Quatre Routes* » à Clermont-Ferrand enrichit la téphrostratigraphie de la cuvette clermontoise d'un nouveau cas de coulée pyroclastique (flow) qui « déborde » dans le bassin de Clermont par un ravin entaillant l'abrupte de la faille bordière occidentale du graben limagnais.

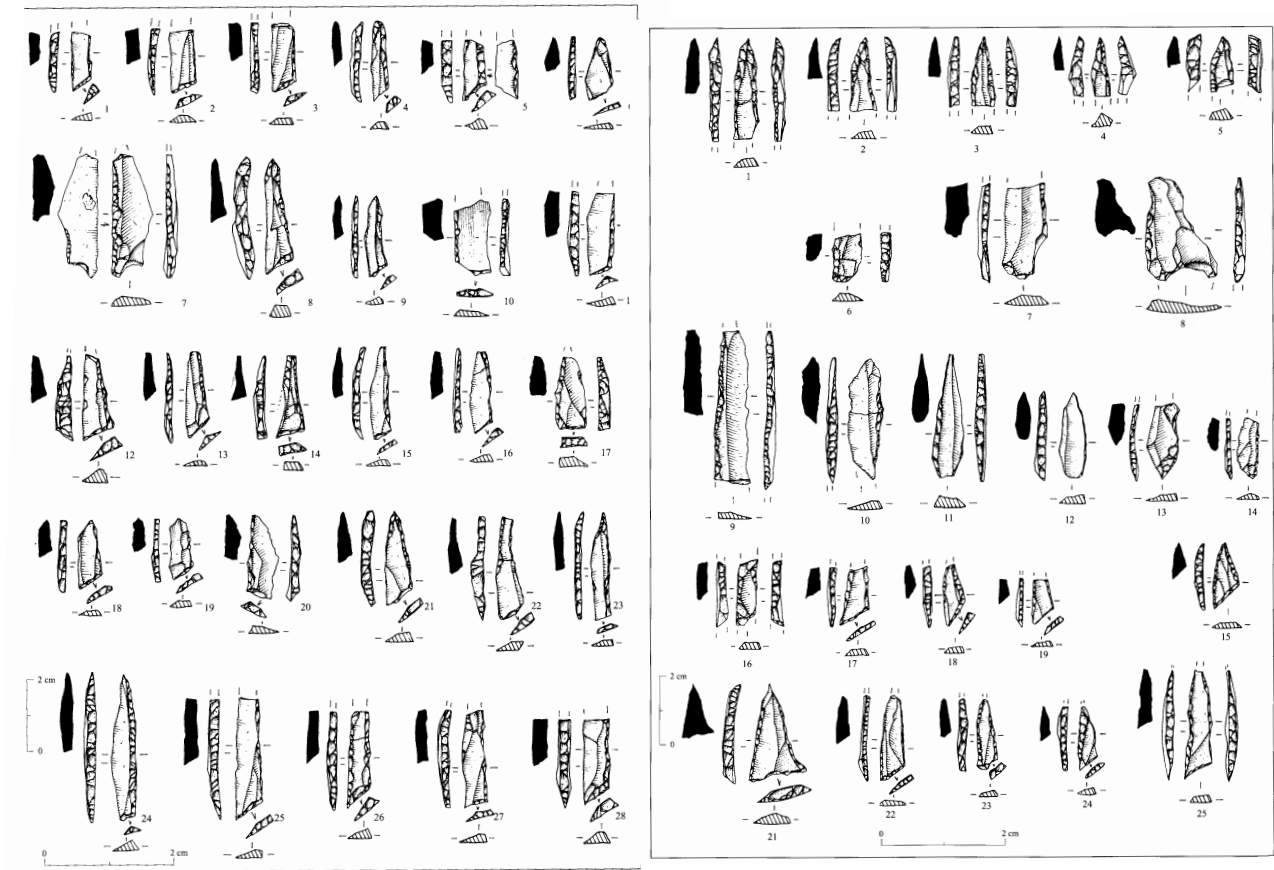


Figure 78 : Industrie lithique du site « Les Paturaux » à Clermont-Ferrand. Armatures microlithiques caractéristiques de la culture sauveterrienne (dessins Ph. Alix).

La mise en évidence de sites archéologiques recouverts par des produits pyroclastiques en Auvergne montre également la possibilité de l'existence d'un « Pompéi préhistorique auvergnat » ; en effet, les recouvrements pyroclastiques sont des dépôts qui permettent une très bonne fossilisation !

2.8.3 - Références :

Blais S., Maury R., Brousse R. (1971) - Contribution à l'estimation des vitesses de creusement des cours d'eau au flanc des coulées basaltiques. *Travaux de l'Institut de Géographie*, XVIII, Faculté des Lettres de Clermont-Ferrand, p. 3-15.

Boivin P., Besson J.-C., Briot D., Camus G., Goër de Herve A. de, Gourgaud A., Labazuy P., Larouzière F.-D. de, Livet M., Mergoil J., Maillier D., Morel J.-M., Vernet G., Vincent P. M. (2004a) - *Carte Volcanologique de la Chaîne des Puys Massif Central Français au 1/25 000*. 4^{ème} édition, Éditée et réalisée par le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, Château de Montlosier, Randanne, 63970 Aydat, 120X90 cm.

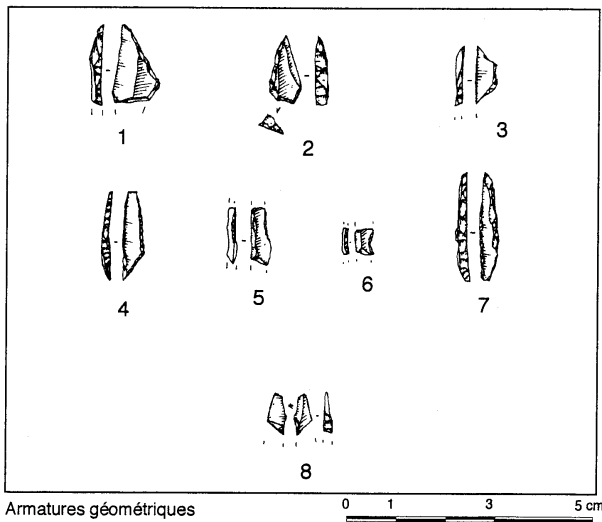
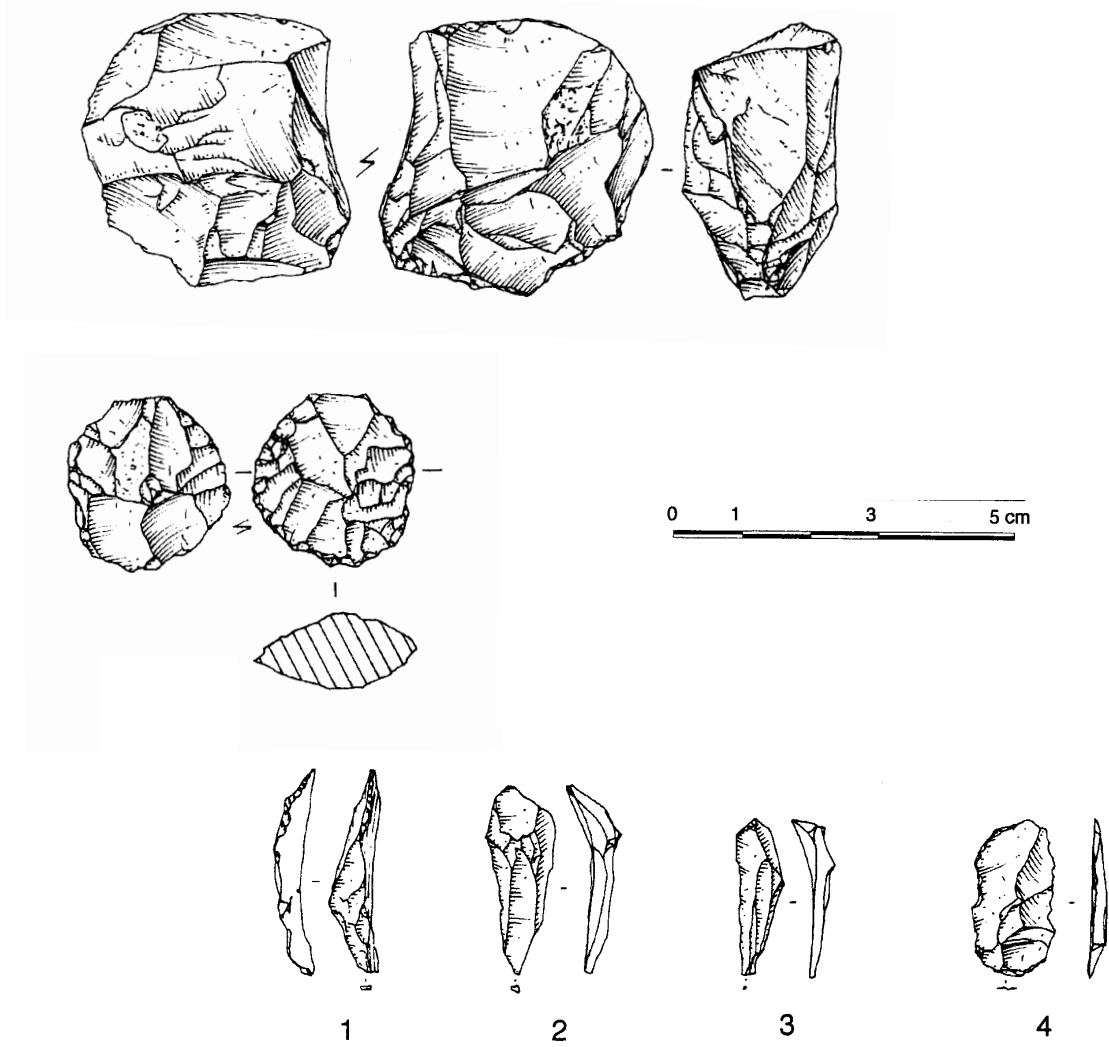


Figure 79 : Industrie lithique du site « *Les Prés Longs* » à Pulvérières. Armatures géométriques, débitage lamellaire et nuclei (dessins Ph. Alix).

Boivin P., Besson J.-C., Briot D., Camus G., Goër de Herve A. de, Gourgaud A., Labazuy P., Larouzière F.-D. de, Livet M., Mergoïl J., Maillier D., Morel J.-M., Vernet G., Vincent P. M. (2004b) – *Volcanologie de la Chaîne des Puys Massif Central Français*. 4^{ème} édition, Éditée par le Parc Naturel Régional des Volcans d’Auvergne, Château de Montlosier, Randanne, 63970 Aydat, (avec la participation de Jannot S. et Raynal J.-P.), 180 p.

Bourdelle Y. (1979) - L’Abri Durif à Enval (Vic-le-Comte, Puy-de-Dôme). Etude préliminaire du Magdalénien final du fond de l’abri. *Gallia Préhistoire*, 22, 1, p. 87-111.

Colonge D., Pasty J.-F., Seris D., Bastard V., Dunkler J., Vernet G. (2005) - A 89, section 8, Le Sancy - Combronde, INRAP, Rapport de diagnostic-évaluation, 2 tomes, 203 p.

Daugas J.-P., Raynal J.-P. (1979) - Remarques sur le milieu physique et le peuplement humain en Auvergne à la fin des temps glaciaires. in *La fin des temps glaciaire en Europe*, CNRS Ed., Paris (1979), t. 2, p. 545-562.

Daugas J.-P., Raynal J.-P. (1989) - Quelques étapes du peuplement du Massif central français dans leur contexte paléoclimatique et paléogéographique. in H. Laville - *Variations de paléomilieux et peuplement préhistorique*, CNRS Ed., 1989, *Cahiers du Quaternaire*, n°13, p. 67-95.

Daugas J.-P., Raynal J.-P. (1991a) - L’homme et les volcans : mésolithisation et néolithisation dans le Massif central français. in *113^e Congr. nat. Soc. sav., 1988, Strasbourg, Mésolithique et Néolithique*, 1991, p. 127-146.

Daugas J.-P., Raynal J.-P. (1991b) - Les chasseurs de la préhistoire face aux dangers du volcanisme. in *La dépêche du parc, Bull. d’information du parc naturel régional des volcans d’Auvergne, supplément scientifique*, n° 5, juin 1991, p. 4-5.

Goër de Herve A., Camus G., Miallier D., Sanzelle S., Falguères C., Fain J., Montret M., Pilleyre Th. (1993) - Le puy de Gravenoire et ses coulées, dans l’agglomération de Clermont-Ferrand (Massif central français) : un modèle inhabituel d’avalanche de débris, déclenchée par une éruption strombolienne en climat périglaciaire. *Bulletin de la Société géologique de France*, 164, n° 6, 1993, p. 783-793.

Goër de Herve A. (1997) - *Volcans d’Auvergne la menace d’une éruption ?* Parc des Volcans d’Auvergne, Ouest-France Ed., 63 p.

Gourgaud A., Boivin P., Larouzière F.-D. de, Miallier D., Vernet G. (2008) - *La Chaîne des Puys*. APA - POUX Ed., Albi, 32 p.

Gourgaud A., Boivin P., Briot D., Livet M., Mergoïl J., Miallier D., Vernet G., Vincent P.-M. (2009) - *Planète Volcan, l’Auvergne pour comprendre le volcanisme*. Ed. Focus, CRDP d’Auvergne, 2009, 175 p. avec CD Rom.

Jeambrun M. (1987) - Le maar de Villars. Un réservoir d'eau aux portes de Clermont-Ferrand. *BRGM*, Aubière, octobre 1987, 87 AUV 023.

Livet M., Blavoux B., D'Arcy D., Mishellany A. (2000) - Capture et emmagasinement sous coulée au site volcanique de Beaunit (Puy-de-Dôme). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 330, 1, p. 47-52.

Pelletier H. (1964) - Erosion de la vallée de la Monne depuis les dernières éruptions de la Chaîne des Puys. *Ministère de l'Éducation Nationale*, p. 153-158.

Raynal J.-P., Daugas J.-P. (1984) - Volcanisme et occupation humaine préhistorique dans le Massif central français : quelques observations. in *Revue archéologique du Centre de la France*, t. 23, vol. 1, 1984, p. 7-20.

Raynal J.-P., Daugas J.-P. (1989) - Le peuplement paléolithique d'Auvergne. in *La Recherche*, n° 210, vol. 20, 1989, p. 690-691.

Raynal J.-P., Daugas J.-P. (1991) - L'homme et les volcans : occupation de l'espace régional à la fin des temps glaciaires dans le Massif central français. in *Le peuplement magdalénien. Paléogéographie physique et humaine*, Actes du colloque de Chancelade, CTHS Ed., 1991, p. 11-120.

Raynal J.-P., Sanzelle S. (1989) - Préhistoire en domaine volcanique exemple de la basse Auvergne. in *Le temps de la préhistoire*, Société Préhistorique Française et Archéologia Ed., tome 1, p. 128-129.

Raynal J.P., Vernet G., Fain J., Miallier D., Montret M., Pilleyre T., Sanzelle S., Daugas J.P. (1994) - Téphrostratigraphie et préhistoire des 160 derniers millénaires en Limagne d'Auvergne (Massif Central, France). *Bulletin de la Société préhistorique française*, t.91, n° 2, p. 149-157.

Raynal J.P., Vernet G., Vivent D. (1998) - Des Volcans et des Hommes depuis le dernier interglaciaire en Basse Auvergne (Massif Central France). *Il sistema Uomo-Ambiente tra Passato e Presente*, Secondo Seminario Internazionale, Ravello, Villa Rufolo, 3-6 giugno 1994, C.U.E.B.C. Ravello, EDIPUGLIA, Bari, 1998, p. 197-220.

Raynal J.-P., Vernet G., Daugas J.-P. (2003) - Evolution récente de la Limagne d'Auvergne (France) : impacts du volcanisme et aspects des peuplements humains au Tardiglaciaire et à l'Holocène. in *Climatic-environmental variations and impact on man in the circum-mediterranean area during the Holocene*, *Territorio storico ed ambiente 3*, a cura di Claude Albore Livadie e Franco Ortolani, Edizioni Edipuglia, Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali, Ravello, p. 461-475.

Sainto S., Pasty J.-F., Alix Ph., Ballut C., Fontana L., Georgon C., Macabéo G., Trefort J.-M., Vernet G., Wattez J. (2004) - Toponymie et fonctions des occupations pré et protohistoriques du site Les Patureaux à Clermont-Ferrand, Puy-de-Dôme. *Préhistoire du sud-ouest 2004-supplément n°9 : 5èmes rencontres méridionales de*

préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002, p. 43-84.

Vernet G., Raynal J.P. (1995a) - La téphra des Roches, marqueur du volcanisme contemporain de la fin du Magdalénien dans le Massif Central français. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 321, série IIa, p. 713-720.

Vernet G., Raynal J.P. (1995b) - Upper pleistocene tephrostratigraphy in Western Limagne (France) and implications for prehistory. *Royal Geological Society*.

Vernet G. (1998) – Un exemple d’impact du volcanisme sur l’évolution d’un réseau hydrographique : l’éruption du maar de Saint-Hippolyte en Limagne septentrionale (France). *QUATERNAIRE, Hommes et Volcans*, volume 9, n°1, 1998, p. 7-14.

Vernet G., Raynal J.-P. (2002) - Eruptions trachytiques de la Chaîne des Puys (France) et leur impact sur les environnements, *In Hommes et volcans : de l’éruption à l’objet*, XIVth Congress UISPP, Liège, ss la dir de RAYNAL J.P., ALBORE-LIVADIE C., PIPERNO M., Les Dossiers de l’Archéologie n° 2, CDERAD ed., Goudet, 2002, 49-56.

Vernet G. (2004a) - Les éruptions holocènes de la Chaîne des Puys et le peuplement mésolithique et néolithique ancien en Basse-Auvergne (Massif central, France). *Préhistoire du sud-ouest 2004-supplément n°9 : 5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002, p. 17-24.*

Vernet G. (2004b) - Le Néolithique ancien (épicaldial) et le Néolithique moyen ancien sur le site du Brézet à Clermont-Ferrand (Massif central, France). *Préhistoire du sud-ouest 2004-supplément n°9 : 5èmes rencontres méridionales de préhistoire récente, Auvergne et Midi, Actualité de la recherche, Clermont-Ferrand, 2002, p. 85-90.*

Vivend D., Vernet G. (2001) – Apport de la palynologie à l’étude des retombées volcaniques tardiglaciaires et holocènes de la Chaîne des Puys enregistrées en Limagne (France). *TEPHRAS chronologie et archéologie, Les dossiers de l’Archéo-Logis*, n°1, éditeur CDERAD, juillet 2001, pp. 255-262.

2.9 - Application de l’étude en lame mince de grand format aux produits pyroclastiques : recherche de microfaciès dans les produits du Pavin :

2.9.1 - L’historique de la mise en évidence de microfaciès par l’étude en lame mince de grand format :

Lors de ma formation de géologue du Quaternaire à l’Université de Bordeaux, j’ai été formé à la micromorphologie et à la fabrication de lames minces à partir de blocs orientés prélevés dans des sédiments meubles (Guilloré, 1985). Particulièrement utilisée sur les paléosols mais aussi sur les dépôts anthropiques des sites archéologiques ou encore des

dépôts affectés par le gel, elle n'avait pas été appliquée aux dépôts pyroclastiques par les volcanologues et les téphrostratigraphes. Dès les années 1980, dans le cadre de ma thèse (Vernet, 1992), le choix d'étudier les marqueurs du volcanisme régional dans les formations quaternaires de Limagne m'a conduit à appliquer cette technique d'étude aux dépôts pyroclastiques (téphras) que j'identifiais. Ces premières études recherchaient surtout des traits pédologiques (susceptibles de marquer un début de pédogenèse) ou des indices de remaniements (en particulier par le gel ou le ruissellement). Rapidement, l'intérêt de l'observation des dépôts pyroclastiques au microscope et à la binoculaire afin de rechercher des microstructures (ou des microfaciès) susceptibles de caractériser le dynamisme éruptif responsable de ce dépôt est apparu comme une partie incontournable de notre méthodologie d'étude (Vernet *et al.*, 1999a).

La première étude en lames mince de grand format a été réalisée sur le téphra CF3 et plus particulièrement sur sa partie basale. En effet, les observations de terrain montraient que la base de ce dépôt était toujours marquée par une lamine millimétrique, de couleur rouille et compacte. L'observation des lames minces a permis de subdiviser la base de CF3 en trois niveaux (Vernet, 1992) : un niveau (lamine rouge de base) à caractère phréatomagmatique très affirmé de type blast (Kieffer, 1984), un niveau granoclassé mixte phréatomagmatique et magmatique et un niveau principal magmatique (retombée de panache strombolien) (cf. chapitre 2.3.2). Cette première étude a donc démontré que l'on peut définir des microfaciès caractéristiques d'un certain type d'éruption (par exemple ici un microfaciès de blast) et reconstituer une « histoire » éruptive lisible à l'échelle microscopique (ici l'éruption débute par un blast puis évolue vers une éruption mixte magmatique et phréatomagmatique pour se terminer par une éruption magmatique avec émission d'un important panache). Dès 1994, ces premiers résultats significatifs de l'application de cette méthode d'étude aux pyroclastites sont présentés dans une publication portant sur la téphrostratigraphie de la Limagne d'Auvergne (Raynal *et al.*, 1994).

Ma participation à des missions d'étude en Italie (Bassin de Venosa/Monte Vulture ; Campanie/Monte Somma-Vesuvio et Campi Phlegrei) où j'ai dû étudier des dépôts pyroclastiques de différents types (retombée [fall], déferlantes [surge] et coulée pyroclastique [flow]) m'a conduit à rechercher systématiquement des microfaciès (ou des microstructures) qui pourraient contribuer à la distinction entre les différents types de dépôts pyroclastiques et ainsi devenir des critères diagnostiques. La mise au point de ces critères diagnostiques était particulièrement importante lorsque le dépôt étudié était en position franchement distale (à plusieurs dizaines de kilomètres). La présence ou l'absence de ces microfaciès pouvait également permettre de distinguer les dépôts « en place » des formations issues du remaniement de pyroclastites.

Dans le bassin de Venosa, j'ai mis en évidence des microstructures (structures d'accrétion et micro-litages). Dans des dépôts de déferlantes (surge), marqués par des faciès à lapilli accrétionnés et des tufs vésiculés (Formation de Piano Regio), les lames minces réalisées ont montré, à côté de vrais lapilli accrétionnés, des structures en pseudo-sables qui résultent d'un début d'accrétion d'une matrice finement pulvérisée (bouillie de fragments laviques, d'échardes vitreuses et de minéraux) souvent autour d'un « germe » central (clastes de laves, ponces, minéraux libres). J'ai donc qualifié cette microstructure de **Proto-Lapilli Accrétionnés (PLA)** (Vernet *et al.*, 1999b ; cf. chapitre 3.1.5). Comme pour les lapilli accrétionnés (Moore et Peck, 1962 ; Walker, 1971 ; Fischer et Schmincke, 1984 ; Cas

et Wright, 1992), nous proposons que nos PLA résultent de phénomènes d'accrétion dans les colonnes éruptives des éruptions phréatomagmatiques et qu'ils se retrouvent dans les déferlantes (surge) et les coulées pyroclastiques (flow). Ils sont aussi comparables aux « *ash aggregates* » signalés dans les « *surge* » de l'éruption du Vésuve dite des ponces d'Avellino (Mastrolorenzo *et al.*, 2006). Les détails de la formation et la structure des lapilli accrétionnés des « *surge* » des phases hydromagmatiques (phréatomagmatiques) des éruptions du Vésuve ont été particulièrement bien décrits par Sheridan et Wohletz (1983). Ces Proto-Lapilli Accrétionnés (PLA) sont associés à une seconde microstructure (ou microfaciès) qui a été qualifiée de **Micro-Litage à Doublé de lamines (une grasse/une maigre) (MLD)** (clastes dans matrice fine/ clastes sans matrice fine intergranulaire) ; la prise en compte des deux lamines formant alors un lit à granoclassement normal. Ce MLD n'est que la traduction à l'échelle microscopique du faciès lité caractéristique des dépôts de déferlantes (surge) des éruptions phréatomagmatiques (Fischer et Schmincke, 1984 ; Cas et Wright, 1992 ; Bourdier *et al.*, 1994 ; Gourgaud *et al.*, 2009). Dans les coulées pyroclastiques (flow) de la Formation de Piano Regio du bassin de Venosa, j'ai également mis en évidence des microstructures d'accrétion (Proto-Lapilli Accrétionnés) (Vernet *et al.*, 1999b ; cf. chapitre 3.1.6). Ce microfaciès (PLA) devient aussi caractéristique de dépôts de coulées pyroclastiques (flow). En revanche, ces microstructures d'accrétion tendent à s'estomper lorsque les coulées pyroclastiques évoluent vers des coulées boueuses en fin de parcours. Les dépôts de lahar n'ont pas fourni de PLA.

Les séquences téphrosédimentaires observées dans le secteur de Nohanent (Puy-de-Dôme) nous ont permis d'observer le téphra CF7 et le téphra Y. Sur ces sites d'observation, ces dépôts pyroclastiques présentaient un faciès particulier : niveau homogène, de couleur beige et constitués d'une matrice limoneuse emballant des fragments, plus ou moins anguleux, ponceux ou compacts, de trachyte blanc à gris. Ce faciès nous est apparu comme très semblable au faciès des coulées pyroclastiques étudiées dans le bassin de Venosa (cf. chapitre 3.1.6). Leur position montre clairement qu'il s'agit de formations concentrées dans des fonds de talweg au débouché de ravins entaillant l'abrupt de la faille bordière occidentale de la Limagne. Les lames minces réalisées sur ces deux dépôts pyroclastiques montrent des structures en pseudo-sables qui résultent d'un début d'accrétion (Proto-Lapilli Accrétionnés, PLA) (cf. chapitres 2.4.1.2 et 2.4.1.3 ; Vernet, Raynal, 2008). Sur le site de Nohanent-stade, le téphra Y n'est pas homogène ; la lame mince réalisée montre l'existence de plusieurs lamines. Une de ces lamines associe le microfaciès PLA au microfaciès MLD ce qui implique une composante « déferlante » (surge) dans le mode de dépôt du Téphra Y (cf. chapitre 2.4.1.3). La mise en évidence de ces microfaciès (PLA et MLD) implique que :

- Dans le secteur de Nohanent, CF7 ne correspond pas à une retombée (fall) mais bien à l'extrémité distale d'une coulée pyroclastique arrivée dans le bassin de Clermont à la faveur des ravins entaillant l'abrupt de la faille bordière de la Limagne.
- Pour le téphra Y, il s'agit aussi d'un faciès de coulée pyroclastique sur le site de Nohanent-lotissement. Sur le site de Nohanent-stade, le téphra Y n'est pas homogène et il présente une composante « retombée » (fall) (équivalent de CF5), une composante « coulée pyroclastique » (flow) et aussi une composante « déferlante » (surge).

Afin de confirmer que nos deux microfaciès (PLA et MLD) correspondent bien à des éléments diagnostics pouvant servir à la reconnaissance des dépôts de coulée pyroclastique (flow) et de déferlante (surge), nous avons recherché des séquences où les dynamismes éruptifs responsables de leurs mises en place étaient parfaitement connus. La découverte et la fouille d'un site archéologique du Bronze ancien (site de Croce del Papa, Nola ; Albo-re-Livadie, 2002) directement affecté par les produits de l'éruption du Vésuve dite des ponces d'Avellino nous a permis de réaliser une étude en lames minces de grand format sur l'ensemble des dépôts distaux de cette éruption dont les différentes phases en terme de dynamisme éruptif sont parfaitement définies (Cioni *et al.*, 1999 ; Mastrolorenzo *et al.*, 2006). Les lames minces réalisées sur les niveaux correspondant à la phase phréatomagmatique, avec faciès de déferlantes (surge) et de coulées pyroclastiques (flow), ont montrées la présence de nos deux microfaciès, à savoir des structures en pseudo-sables qui résultent d'un début d'accrétion (*Proto-Lapilli Accrétionnés*, PLA) et en *Micro-Litage à Doublé de lamines* (MLD) (cf. chapitre 3.3.2). Ces microfaciès sont aussi associés avec un faciès de tuf vésiculé et avec des lapilli accrétionnés vrais. La matrice fine est constituée par une bouillie dans laquelle on note la présence d'échardes vitreuses et de minéraux libres broyés. On note également des échardes ponceuses et quelques ponces. **La reconnaissance des microfaciès PLA et MLD, dans les dépôts de la phase phréatomagmatique (surge et flow) de l'éruption du Vésuve, dite « des ponces d'Avellino », démontre que ces microfaciès peuvent dorénavant servir au diagnostic du type de dynamisme éruptif responsable de la mise en place de dépôts dans lesquels ces microstructures seraient exprimés.**

Lors de nos travaux sur la reconnaissance de l'ignimbrite campanienne en contexte archéologique à 150 km de Naples (golfe de Policastro) (Kieffer *et al.*, 2000 et 2001 ; cf. chapitre 3.2), nous avons mis en évidence des lapilli accrétionnés et le microfaciès PLA (Proto-Lapilli Accrétionnés) dans des produits co-ignimbritiques, en particulier sur l'affleurement de Castelcivita. Il s'agit ici de l'occurrence la plus distale (plus de 150 km du point d'émission !) de ce microfaciès associé à des dépôts d'un écoulement pyroclastique.

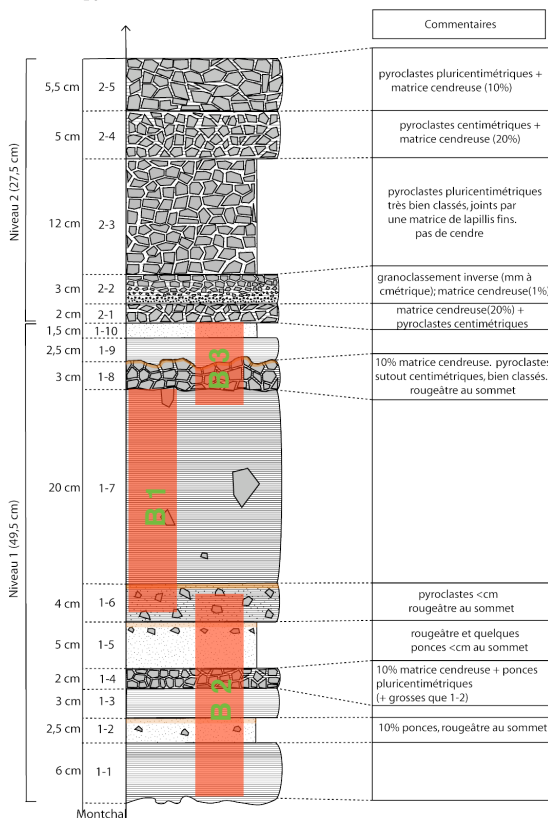
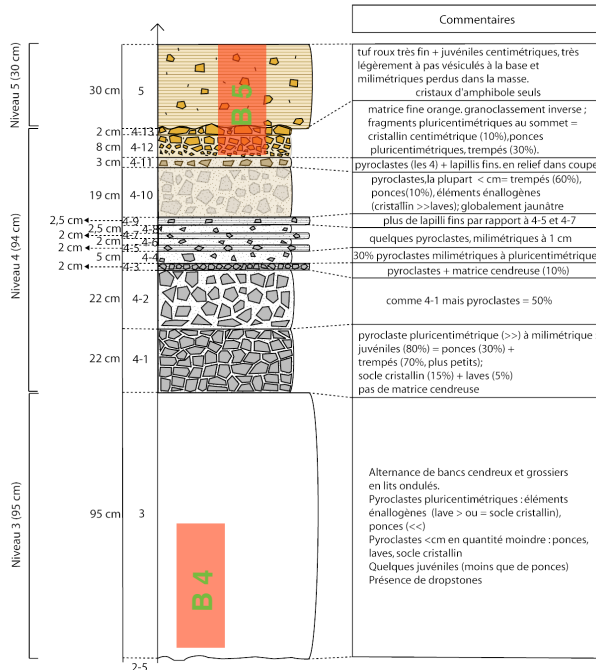
2.9.2 - Les produits du Pavin :

Dans le cadre d'une reprise de l'étude des dépôts pyroclastiques du Pavin, nous avons proposé de réaliser des lames minces de grand format sur les dépôts à granulométrie fine afin de rechercher nos microfaciès diagnostics. Par ailleurs, l'étude des dépôts par des méthodes classiques a fait l'objet d'un rapport de stage de Licence (Ferry, 2009). Le mécanisme de l'éruption du Pavin et la nature du magma juvénile sont bien établis (Bourdier, 1980). Le dynamisme global de l'éruption est phréatomagmatique (maar acide) avec cependant une possible phase magmatique plinienne. Le dynamisme explosif de type phréatomagmatique a produit des coulées pyroclastiques (flow) et des déferlantes (surge). Ces dépôts apparaissent comme de bons candidats pour la recherche des microfaciès PLA et MLD. Les échantillons étudiés proviennent de blocs (B1 à B5) prélevés sur la coupe de *Fraux de Préalat* (Figure 80) :

- Bloc B1 : niveau 1 (1.6 et 1.7),
- Bloc B2 : niveau 1 (1.6 à 1.1),
- Bloc B3 : niveau 1 (1.11 ? à 1.7),
- Bloc B4 : niveau 3 (base de 3),

- Bloc B5 : niveau 5 (à la base 4.12).

Figure 80 : Coupe des produits de l'éruption du Pavin sur le site de *Fraux de Préalat* (d'après P. Ferry) avec position des Blocs (B1 à B5).



Dans le niveau 1 (B1 et B2), nous avons observé au sein de la matrice des échardes vésiculées vitreuses et des échardes de type « corps en Y » (Figure 81). Sur la Figure 82, à côté d'échardes ponceuses, on remarque l'abondance d'éclats de minéraux libres. L'éruption du Pavane, de part sa forte explosivité, a produit un matériau finement broyé (échardes vitreuses et minéraux libres en éclats). Celui-ci est indispensable dans les processus d'accrétion (PLA) et aussi pour l'obtention de microlitages et de granoclasements (dans le microfaciès MLD).

La lame mince de grand format, réalisée dans le sommet du bloc B4 (soit la partie basale du niveau 3), a fourni un exemple remarquable du microfaciès MLD avec pour chaque lamine, le doublé LM (lit maigre) à la base et LG (lit gras au sommet) (Figure 83).

Les lames minces de grand format, réalisées dans les blocs B1 et B2 (soit dans plusieurs sous-niveaux du niveau 1), ont fourni de très nombreux exemples du microfaciès PLA (Figure 84). Ces proto-lapilli accrétionnés représentent les stades initiaux de l'accrétion (les lapilli accrétionnés sont les stades ultimes de cette même accrétion). Celle-ci se fait souvent autour d'un élément (minéral libre, microponce, échardes ponceuses) qui a comme fonction celle d'un « germe » (ou de « support » au dépôt de la première couche de matrice finement pulvérisée) (Figure 85). Ce début d'accrétion se produit dans le nuage turbulent des déferlantes (surge), en position plutôt distale par rapport au point éruptif, comme l'a montré Mastrolorenzo (Mastrolorenzo *et al.*, 2006) pour l'éruption du Vésuve dite « des ponces d'Avellino »

». Ce microfaciès PLA a également été retrouvé dans les dépôts d'une coulée pyroclastique issue du puy Chopine (Figure 86).

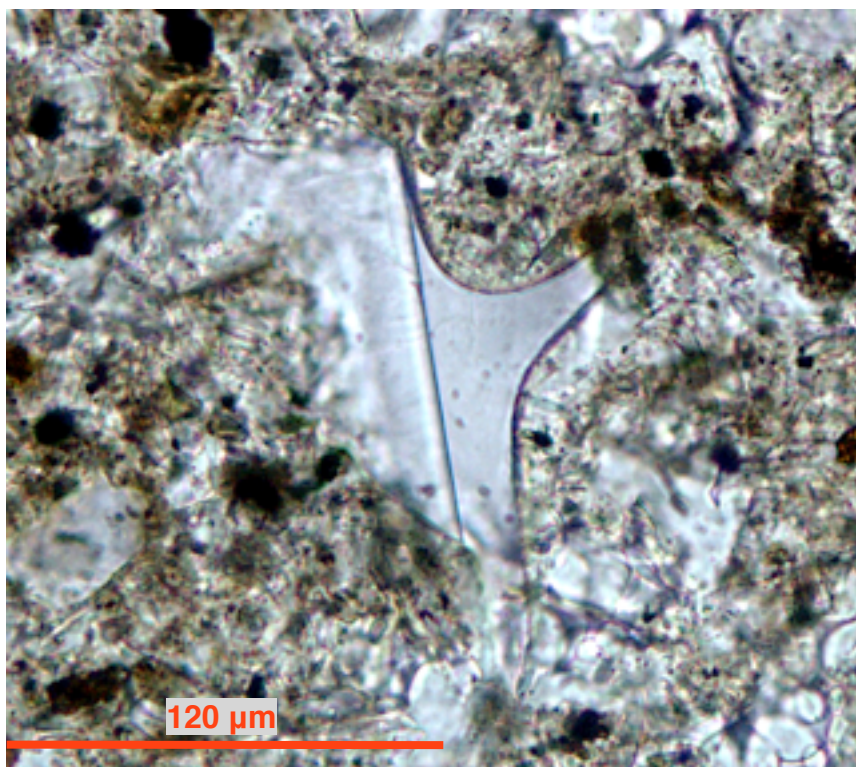


Figure 81 : Echarde vitreuse de type « corps en Y » (matrice fine du bloc B1).

La mise en évidence des deux microfaciès PLA et MLD dans les produits pyroclastiques du Pavin confirme que ceux-ci sont caractéristiques de dépôts résultant de déferlantes (surge) issues d'une phase éruptive à caractère phréatomagmatique. Ils peuvent être observés aussi bien dans des dépôts dont le magma juvénile est acide que lorsque celui-ci est basique. Enfin, il semble qu'ils soient plus fréquents en position distale lorsque le nuage turbulent perd en température ($T \leq 100^\circ$) et en vitesse ($v = 1$ à 10 m/s) et gagne en concentration de particules en suspension ($\geq 10\%$). La baisse de la température permet à l'eau d'être alors présente sous forme liquide. Cette eau permet la constitution d'une matrice « boueuse » (grâce aussi à la concentration en particules fines) qui s'accrétionne autour des éléments plus grossiers (microfaciès PLA et lapilli accrétionnés) et forme également les lits gras (LG) sommitaux des lamines du microfaciès MLD.



Figure 82 : Echarde poncée et minéraux libres fragmentés dans la matrice fine du bloc B3.

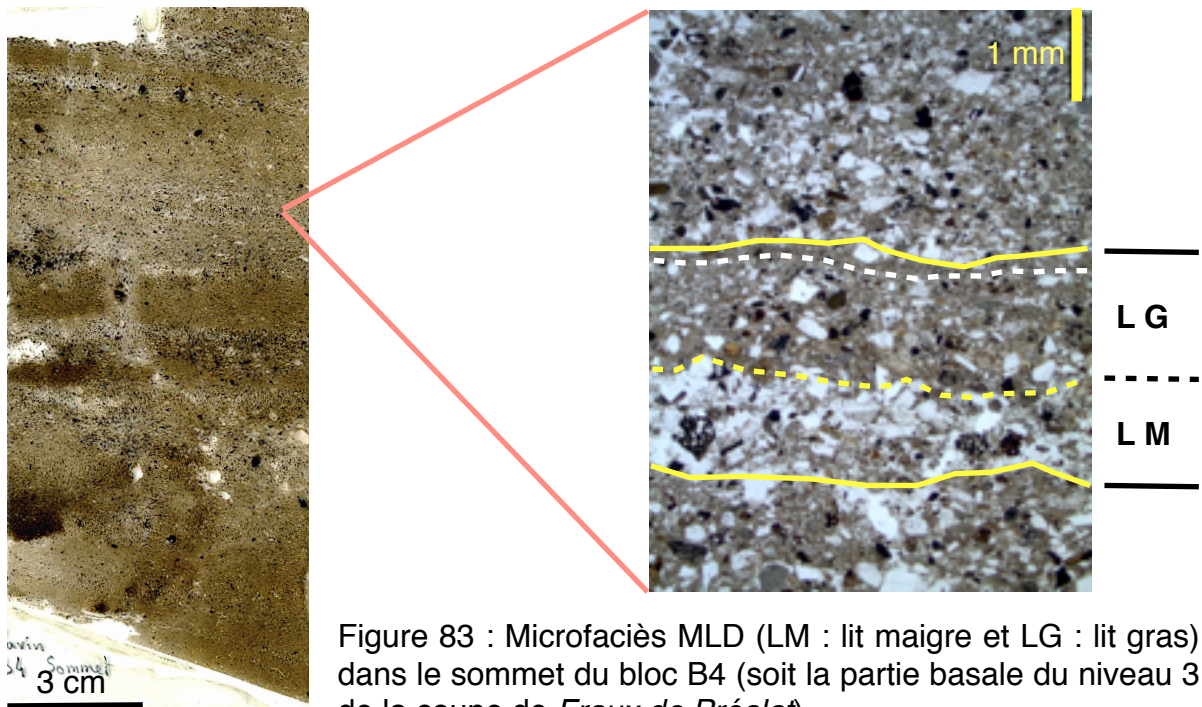


Figure 83 : Microfaciès MLD (LM : lit maigre et LG : lit gras) dans le sommet du bloc B4 (soit la partie basale du niveau 3 de la coupe de *Fraux de Préalat*).

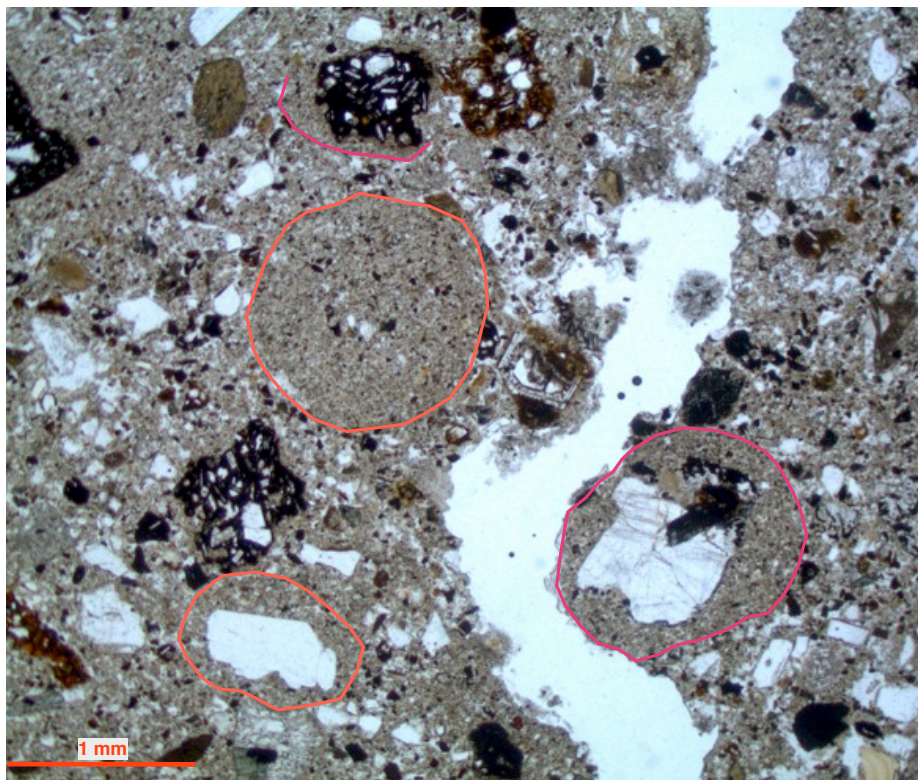


Figure 84 : Proto-Lapilli Accrétonnés (PLA) dans le bloc B2 (niveau 1 de la coupe de *Fraux de Préalat*).

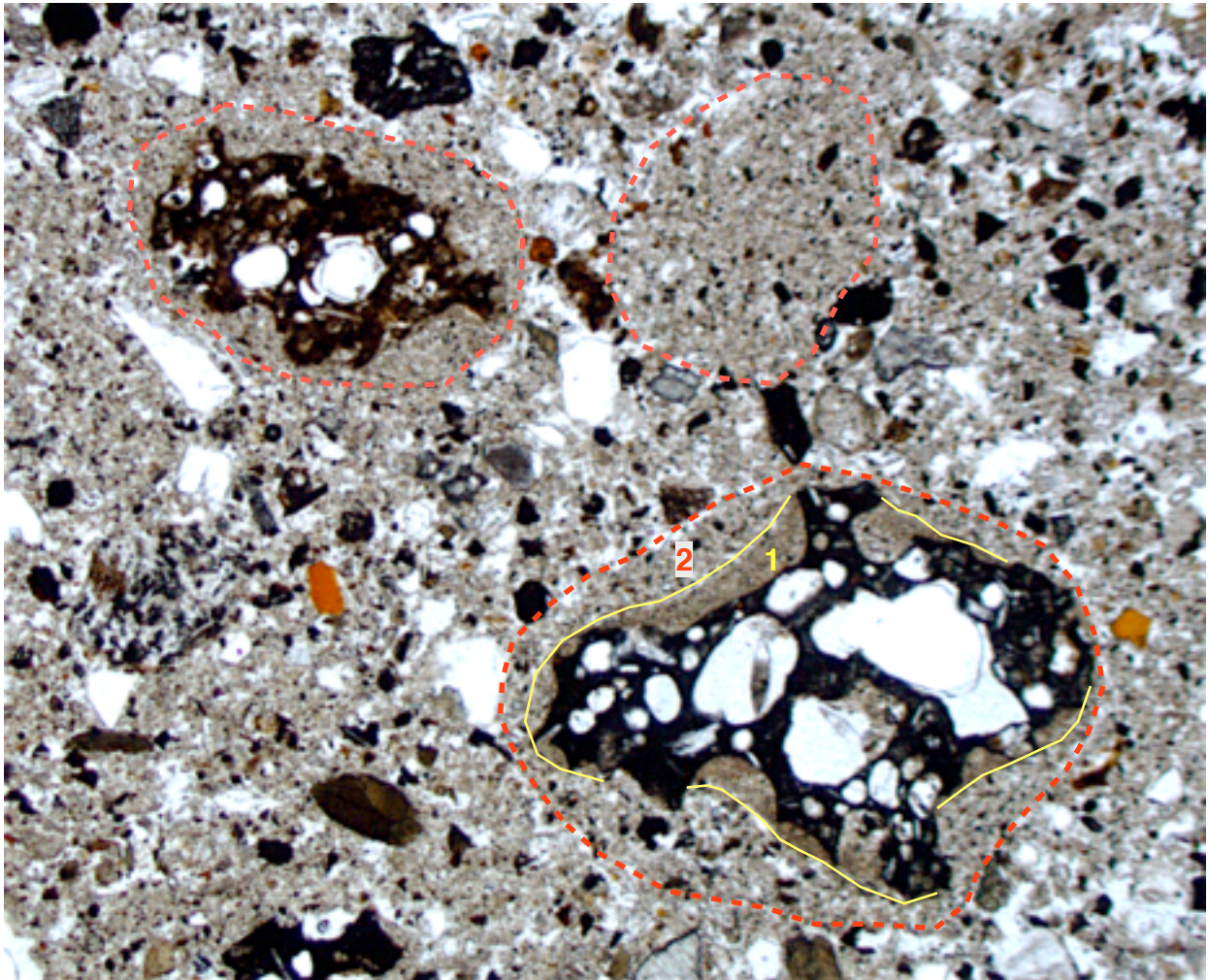


Figure 85 : Proto-Lapilli Accrétionnés (microfaciès PLA) (Bloc B2, niveau 1 de la coupe de *Fraux de Préalat*). Le PLA inférieur est constitué à partir d'un germe (claste vésiculé noir) avec deux niveaux d'accrétion (1 et 2) à matrice de granulométrie différente.

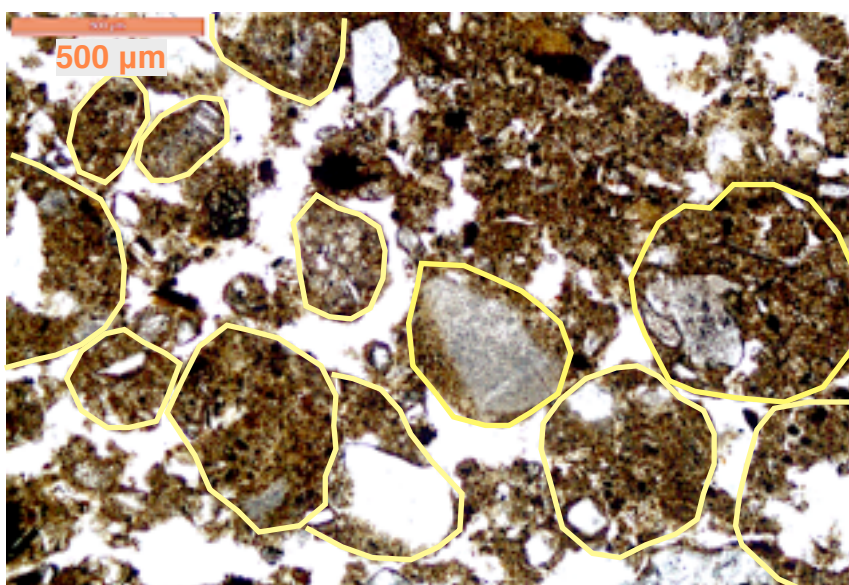
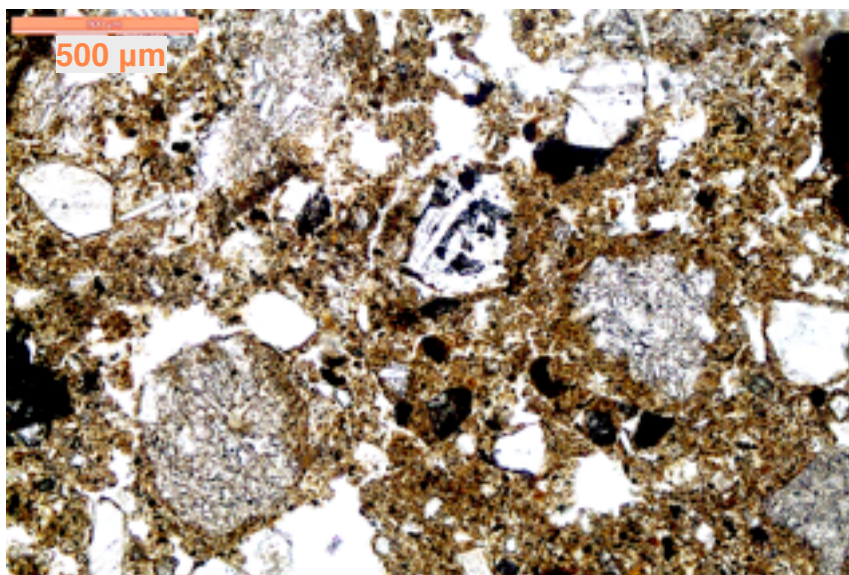


Figure 86 : Microfaciès PLA du niveau 5 (tranchée 8 à St Ours, Vulcania) correspondant à la quatrième nappe de recouvrement issue du puy Chopine (faciès proximal de coulée pyroclastique).

2.9.3 - Références :

Albore Livadie C. (2002) - Nola : la pompéi de la Préhistoire. Recherches en cours sur un site du Bronze ancien détruit par l'éruption des Ponces d'Avellino (3 500 B.P.). XIVe Congrès de l'UISPP, Liège, 2-8 septembre 2001, in *Hommes et volcans. De l'éruption à l'objet*, J.-P. Raynal, C. Albore Livadie, M. Piperno édit., Actes du symposium 15.2 organisé par la commission 31 de l'UISPP, *Les Dossiers de l'Archéo-Logis n°2*, Clermont-Ferrand, 2002, 57-65.

Bourdier J. L. (1980) - *Contribution à l'étude volcanologique de deux secteurs d'intérêt géochimique dans le Mont-Dore : le groupe holocène du Pavin et le massif du Sancy*. Thèse de 3ème cycle, U.E.R. de sciences exactes et naturelles de l'université de Clermont-Ferrand, 1ère partie, 180 p.

Bourdier J. L. avec la collaboration de Boivin P., Gourgaud A., Camus G., Vincent P. M., Lenat J. F. (1994) - Le Volcanisme. BRGM éd., *Manuels et Méthodes*, 25, 344 p.

Cas R.A.F., Wright J.V. (1992) - *Volcanic successions. Modern and ancient*. Chapman & Hall, London, 528 p.

Cioni R., Morandi D., Sbrana A., Sulpizio R (1999) - L'eruzione delle Pomoci di Avellino : aspetti stratigrafici e vulcanologici. in : *L'eruzione vesuviana delle « Pomoci di Avellino » e la facies di Palma Campania (Bronze antico)*, a cura di Claude Albore Livadie, Edizioni Edipuglia, Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali, Ravello, 61-82.

Ferry P. (2009) - *Etude du dynamisme et de la mise en place des dépôts du volcan Pavin*. Rapport de stage Licence, ENS Lyon, direction : P. Boivin et A. Gourgaud, 24 juillet 2009, 39 p.

Fischer R.V. et Schmincke H.U. (1984) - *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 472 p.

Gourgaud A., Boivin P., Briot D., Livet M., Mergoïl J., Miallier D., Vernet G. et Vincent P.-M. (2009) - *Planète Volcan, l'Auvergne pour comprendre le volcanisme*. Ed. Focus, CRDP d'Auvergne, 2009, 175 p. avec CD Rom.

Guilloré P., 1985 - *Méthode de fabrication mécanique et en série des lames minces*. doc. ronéo, Inst. Nat. Agron. Paris-Grignon, Dépt. des sols.

Kieffer G. (1984) - Les dépôts de « blast » de l'Etna (Sicile). in Jubilé H. PELLETIER, Rev. Sc. nat. d'Auvergne, vol. 50, fasc. 1.2.3.4., Clermont-Ferrand, 179-182.

Kieffer G., Vernet G., Raynal J.P. (2000) - Reconnaissance de l'ignimbrite campanienne près du golfe de Policastro (Italie), jusqu'à 150 km de sa zone d'émission. Implications volcanologiques et paléoenvironnementales. C. R. Acad. Sc. Paris, Sciences de la Terre et des planètes, 330 (2000), 105-110.

Kieffer G., Vernet G., Raynal J.P., Gambassini P., Ronchitelli A.M. (2001) - Reconnaissance de l'ignimbrite campanienne en contexte archéologique entre Salerno et

Policastro (Italie). *TEPHRAS chronologie et archéologie, Les dossiers de l'Archéologie*, n°1, éditeur CDERAD, juillet 2001, 153-158.

Mastrolorenzo G., Petrone P., Pappalardo L. and Sheridan M. F. (2006) - The Avellino 3780-yrs-B.P. catastrophe as a worst-case scenario for a future eruption at Vesuvius. *PNAS*, March 21, 2006, vol. 103, n° 12, 4366-4370.

Moore J.G., Peck D.L. (1962) - Accretionary lapilli in volcanic rocks of the Western United States. *Journal of Geology*, 70, 182-193.

Raynal J.P., Vernet G., Fain J., Miallier D., Montret M., Pilleyre T., Sanzelle S., Daugas J.P. (1994) - Téphrostratigraphie et préhistoire des 160 derniers millénaires en Limagne d'Auvergne (Massif Central, France). *Bulletin de la Société préhistorique française*, t.91, n° 2, 149-157.

Sheridan M. F., Wohletz K. H. (1983) - Origin of accretionary lapilli from Pompeii and Avellino deposits of Vesuvius. In : R. Gooley (Ed.), *Microbeam analysis-1983*, San Francisco Press, 35-38.

Vernet G. (1992) - *Message du volcanisme régional dans les formations quaternaires de Limagne occidentale (Massif central français). Minéraux denses et retombées*. Thèse de l'Université de Bordeaux 1, spécialité : Géologie du Quaternaire, n° 724, 335 p.

Vernet G., Raynal J.-P., Albore Livadie C. (1999a) - La téphra d'Ariano Irpino, un aspect distal de l'éruption plinienne des ponces d'Avellino (Campanie), in : *L'erizione vesuviana delle « Pomici di Avellino » e la facies di Palma Campania (Bronze antico)*, a cura di Claude Albore Livadie, Edizioni Edipuglia, Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali , Ravello, 119-124.

Vernet G., Raynal J.-P., Lefèvre D. et Kieffer G. (1999b) - Téphras distales dans les dépôts du Pléistocène moyen de Venosa. in : *Notarchirico . Un sito del Pleistocene medio iniziale nel bacino di Venosa*, a cura di Marcello Piperno, Edizioni Osanna, 1999, museo « L. Pigorini », 207- 233.

Vernet G., Raynal J.-P. (2008) – La formation de Marsat et le téphra CF7, Marqueurs distaux d'éruptions trachytiques violentes de la Chaîne des Puys au Boréal. *Quaternaire*, 19, (2), 2008, 97-106.

Walker G.P.L. (1971) - Grainsize characteristics of pyroclastic deposits. *Journal of Geology*, 79, 696-714.