



HAL
open science

Sédiments, téphras et pollens dans le Complexe de Soleilhac

Jean-Paul Raynal, Gérard Vernet, Marie-Madeleine Paquereau, Geneviève
Papy

► **To cite this version:**

Jean-Paul Raynal, Gérard Vernet, Marie-Madeleine Paquereau, Geneviève Papy. Sédiments, téphras et pollens dans le Complexe de Soleilhac. Tephtras, chronology, archaeology, ss la dir. de E. Juvigné et J.P. Raynal, Les dossiers de l'Archéo-Logis n°1, 2001, Goudet, France. pp.191-209. halshs-00004103

HAL Id: halshs-00004103

<https://shs.hal.science/halshs-00004103>

Submitted on 12 Jul 2005

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.

Juillet 2001

TEPHRAS

chronologie
chronology

archéologie
archeology

sous la direction de E. Juvigné et J.-P. Raynal

édité avec le concours de la région Auvergne et du Conseil Général de Haute-Loire

les dossiers de l'Archéo-Logis n°1

CDERAD éditeur - 43150 Goudet

Sédiments, tephras et pollens dans le complexe de Solheilac (Blanzac, Haute-Loire)

Sediments, tephras and pollens in the Soleilhac Complex (Blanzac, Haute-Loire)

Jean-Paul Raynal¹ et Gérard Vernet² avec la collaboration de Marie-Madeleine Paquereau³ et Geneviève Papy¹

Résumé : au cours du Pléistocène moyen, le paléolac de maar de Soleilhac et sa bordure ont été le siège d'une sédimentation détritique commandée par les alternances climatiques et entrecoupée d'arrivées téphriques exotiques résultant de l'activité plinienne des Monts Dore ou d'éruptions phréatomagmatiques locales, pour certaines remaniées. La partie sommitale des dépôts du Complexe de Soleilhac, qui contient les niveaux archéologiques, montre la transition d'une période tempérée majeure à une phase glaciaire très sévère, sans indice d'activité volcanique locale.

Mots-clés : Pléistocène moyen, Velay, maar, lac, tephras ponceux, tephras basaltiques, interglaciaire, glaciaire.

Abstract: Middle Pleistocene climatic variations and volcanism, both plinian eruptions of the Monts Dore and local phreatomagmatic activity, have controlled the sedimentation in the maar paleo-lake of Soleilhac and on its margin. Top of the sequence, named Soleilhac Complex, contains archaeological layers and reveals a climatic evolution from a major interglacial phase to a glacial period.

Keywords: Middle Pleistocene, Velay, maar, lake, pumice, basaltic tephras, interglacial, glacial.

Soleilhac (ou Solilhac) est le nom d'une ferme de la commune de Blanzac située à sept kilomètres au Nord - Nord-Ouest du Puy en Velay (Haute-Loire). Elle occupe le fond d'une vaste dépression semi-circulaire dominée à l'Est par le volcan Tarsoux et le plateau de Rachac, ouverte à l'Ouest sur le Chalon, affluent de rive gauche de la Loire (figure 1).

Les dépôts quaternaires affleurants sont fossilifères (Robert, 1829) et F. Robert, A. Aymard et M. Tournaire les considéraient comme le résultat d'éruptions boueuses (*in* Boule, 1892, p. 211). M. Julien (1886) y voyait des moraines. M. Boule pensait à «une sorte de lac produit par un barrage basaltique» dans lequel les «produits de désagregation des plateaux environnants ont formé de petits cônes de déjection à l'entrée de tous les ravins» (1892, p. 212) ; plus récemment, P. Bout (1960) reprenait l'hypothèse de M. BOULE et attribuait l'origine du barrage à la coulée de Rochelimagne. Sans approuver totalement P. Bout, E. Bonifay donnait ensuite une interprétation dynamique et paléoclimatique des dépôts : il attribuait les brèches de base à une formation cryonivale et considérait le reste de la série comme lacustre, à l'exception des termes sommitaux témoins d'une activité volcanique ré-



Figure 1 : carte de localisation.

1. Université de Bordeaux 1, Institut de Préhistoire et de Géologie du Quaternaire, UMR 5808 et GDR 1122 CNRS, Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex, France.

2. 7 rue du Mont Mouchet, 63320 Chadeuf, Association pour les Fouilles Archéologiques Nationales (AFAN), UMR 6042 et GDR 1122 CNRS.

3. Université de Bordeaux 1, Institut du Quaternaire, URA 133 CNRS - Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex, France.

cente (Bonifay et Tiercelin, 1977). L'existence d'un maar à Soleilhac fut ensuite proposée (Mergoil *et al.*, 1979). Elle permettait d'expliquer la genèse de dépôts lacustres d'extension limitée et la micro-tectonique mise en évidence lors des fouilles. Les sondages profonds effectués depuis ont confirmé et compliqué cette conception (Bonifay et Mergoil, 1988) qui permet de rendre compte de la morphologie actuelle, de la totalité des faciès observés ainsi que de leur disposition.

On rappelle ci-après brièvement les principales caractéristiques de la sédimentation dans un lac de maar (Raynal, 1987) et on procède à la description des différentes unités du point de vue sédimentologique, téphrique et du contenu pollinique.

1. Evolution d'un lac de maar

Les explosions phréatomagmatiques de type maar créent des cratères circulaires à flancs abrupts, bordés d'un croissant - voire d'un anneau - de pyroclastites et propices au développement de plans d'eau lacustres. Leur formation et leur durée de vie dépendent de l'alimentation en eau, de la sédimentation détritique et de la présence d'exutoire(s). Si les deux premiers facteurs sont largement dépendants des paléoclimats et commandent les processus de comblement, le jeu des exutoires reste en grande partie aléatoire (érosion régressive, tectonique...)

On distingue trois étapes dans la vie d'un lac de maar (Raynal *et al.*, 1984) :

- phase pro-lacustre : montée du plan d'eau jusqu'à son maximum et début du comblement progressif de la dépression,
- phase pléni-lacustre : plan d'eau au maximum, possibilité de création d'exutoire(s), poursuite du comblement,
- phase tardi-lacustre : le comblement s'achève, le plan d'eau peut rester à sa cote maximum ou s'abaisser progressivement : on assiste à l'érosion des dépôts antérieurs avec possible étagement de plages ; l'assèchement progressif peut être suivi de la formation de tourbière. La plupart des lacs actuels du Velay (Bouchet, Issarlès, Saint-Front...) sont en phase pléni-lacustre ou tardi-lacustre ; nombreux sont ceux ayant évolué en tourbières (La Sauvetat, Landos, Limagne, Chaudeyrolles...).

De la périphérie du lac à son centre, trois zones sont le siège de processus sédimentaires et diagénétiques synchrones :

- le cœur de lac, où prédomine une sédimentation calme (silts, sablons, tephra en retombée directe, argiles, carbonates...) plus ou moins organogène, entrecoupée de turbidites, parfois de passées de graviers. La structure est le plus souvent rythmique,
- l'anneau détritique, ou banquette périphérique (Bout, 1970) ou prisme littoral (Bonifay et Truze, 1984a et b), est le siège d'une sédimentation généralement plus grossière. Il se raccorde avec la zone de cœur de lac par un talus plus ou moins abrupt et présente généralement une structure progradante de type «deltaïque». Les projections de maar constituent la source principale d'alimentation en matériaux détritiques et la morphologie du croissant de pyroclastites commande une disposition dissymétrique de

l'anneau qui peut être compensée ou exagérée par les apports d'affluents.

- le péri-lac : la sédimentation présente ici un caractère plus spasmodique, dépôts d'affluents et/ou de versant (alluvions, éboulis, colluvions, produits de gélifluxions...) alternant avec le développement de profils pédologiques ; elle s'interface avec l'anneau détritique par un système de plages.

Dans le cas idéal d'un lac de maar sans affluent et dont les projections constituent le seul bassin versant, la quasi-totalité des éléments du remplissage, excepté les apports éoliens, existent dans l'anneau de pyroclastites : l'interprétation des faciès en termes de climatologie se doit alors d'être nuancée. Les éruptions phréatomagmatiques se produisent cependant dans des situations topographiques variées qui compliquent souvent la nature du bassin versant et la sédimentation est celle d'un lac ordinaire.

2. Le Complexe de Soleilhac

En accord avec les règles formelles de la lithostratigraphie (Salvador, 1994), les dépôts étudiés sont provisoirement dénommés *Complexe de Soleilhac*. En son sein, la notation de détail retenue n'a pas de signification séquentielle dynamique mais respecte la description archéologique et la nomenclature des publications précédentes.

Les dépôts se sont mis en place dans l'anneau détritique pendant la fin de la phase pléni-lacustre et la phase tardi-lacustre, à l'interface entre le domaine lacustre et le péri-lac (Raynal, 1987). Seules les grandes lignes de la lithostratigraphie générale du gisement seront rappelées ici et on s'attachera plus particulièrement à la description des faciès de l'anneau détritique et des atterrissements sus-jacents. Six ensembles majeurs ont été définis, notés F à A, du plus ancien au plus récent (E. Bonifay *et al.*, 1976) :

- 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», commencent 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.

Cette succession a été largement précisée depuis en divers secteurs par des sondages à la pelle mécanique et des forages.

Les sondages carottés S1 et S2 de 1983 ont en particulier révélé que plusieurs panneaux de brèche de maar (F) viennent s'intercaler dans E et entre D et E et une interpréta-

tion du système volcano-sédimentaire faisant intervenir deux structures de type maar emboîtées a alors été proposée (Bonifay et Mergoil, 1988).

Une retombée ponceuse directe a en outre été identifiée dans le sondage S1 (Teulade, 1985, 1988, 1989) ; cette téphra a été corrélée avec les «ponces supérieures du Sancy» (Cantagrel et Baubron, 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 récemment confirmé par un âge TL de $0,52 \pm 0,04$ M.a. obtenu par application de la thermoluminescence du pic rouge du quartz (Pilleyre, 1991).

La tranchée sud et le sondage sud-est de 1980 ont permis une approche *de visu* des ensembles D à A. La numérotation des ensembles utilisée ci-après est celle utilisée lors des campagnes de terrain (1978-1980) et n'a pas été actualisée : quelques divergences avec la notation de E. Bonifay subsistent en particulier pour les ensembles A et B. La succession suivante a été établie (figure 2) :

- Ensemble D : «sables roux» à passées argileuses vers le bas, puissance reconnue 2,50 m, sommet généralement oxydé.

- Ensemble C : sables gris, 0,50 m, nombreux lits d'oxydes à la base.

- Ensemble B avec de la base au sommet :

- sapropel B7, 0,20 m de puissance moyenne, présentant dans le sondage sud-est de nombreux fuseaux de sables gris et passant vers le Sud à une argile brune ; vers l'Ouest, B7 surmonte C mais les contacts pourraient également laisser envisager un passage latéral de B7 à C,
- sables jaunes à passées sapropéliques, B6, 0,60 m. Les grains de la fraction grossière sont très roulés et on note la présence de fragments de brèche de maar,
- lit argileux sapropélique B5, 0,05 m,
- sables B4, 0,50 m. La fraction grossière est assez peu roulée et comporte de très nombreux quartz et éléments du socle sub-anguleux dans la classe des granules,
- sables B3, 0,70 m. La fraction grossière présente les mêmes caractères qu'en B4,
- sapropel B2, 0,20 m, montrant de nombreuses déformations (figures de charge) et des indices de glissement en masse vers le Sud-Est,
- sables limono-argileux B1, 1,00 m. La fraction grossière est peu roulée et on note de très nombreux éléments du socle dans toutes les classes.

- Ensemble A avec de la base au sommet :

- «convoi de blocs» basaltiques A2, puissance 1,30 m, avec une semelle de sédiments argileux en grande partie d'origine oligocène sur 0,30 m,
- colluvions A'1, 0,80 m, fraction grossière riche en fragments de basalte (lave et scories) accompagnés d'éléments du socle, peu émoussés à anguleux. Ces colluvions passent vers le Nord (coupe est) à des dépôts plus fins vraisemblablement lacustres,
- colluvions grossières A1, 1,40 m. La fraction grossière est très abondante au sommet, peu ou pas émoussée, toujours dominée par les produits basaltiques mais on note la présence d'éléments du socle parfois volumineux,

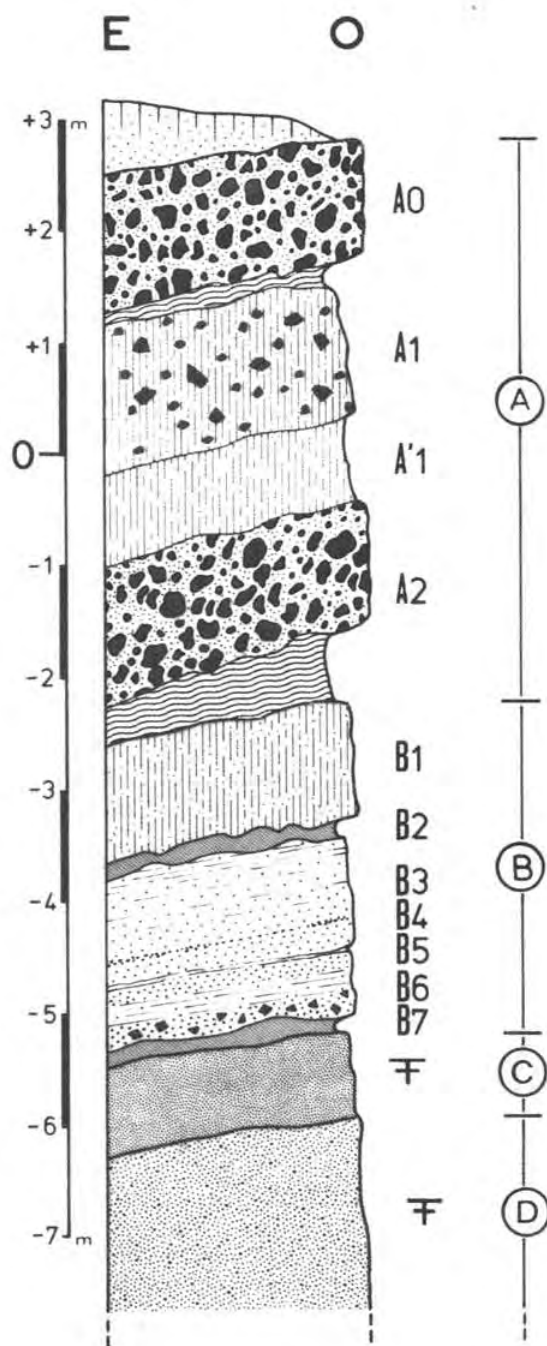


Figure 2 : Log synthétique de la partie supérieure du Complexe de Soleilhac établi dans la tranchée sud et le sondage sud-est en 1980 (levé J.P. Raynal).

- «convoi de blocs» basaltiques A0, 1,40 m, avec sur 0,20 m une semelle de matériaux argileux en grande partie d'origine oligocène .

Ces dépôts sont surmontés de colluvions récentes qui portent le sol actuel. Le pendage général à partir de l'ensemble C varie de dix à vingt degrés vers le Sud-Est.

Des déformations souples et cassantes ont été observées dans les dépôts :

- le sommet de l'ensemble D montre des plications qui ont été interprétées comme pouvant résulter d'un mécanisme de solifluxion (Bonifay *et al.*, 1976) mais pourraient également traduire un phénomène de *slumping* ou représenter des figures de charge.

- l'ensemble C et l'ensemble B (B3 à B6) présentent des déformations en poches et festons dont l'origine (cryogénique ?) devra être confirmée par une étude micromorphologique ultérieure. Les déformations des unités B2 et B7 peuvent être la conséquence de glissements en masse et certaines sont des figures de charge.

- le sommet de l'ensemble D et l'ensemble C sont parcourus de micro-failles subverticales orientées Nord-Est - Sud-Ouest, de rejet décimétrique (Bonifay *et al.*, *op. cit.*); elles résultent très vraisemblablement de tassements au sein des diatrèmes, postérieurement au dépôt de l'ensemble C contenant l'occupation humaine et antérieurement à la mise en place de l'ensemble B (figure 3).

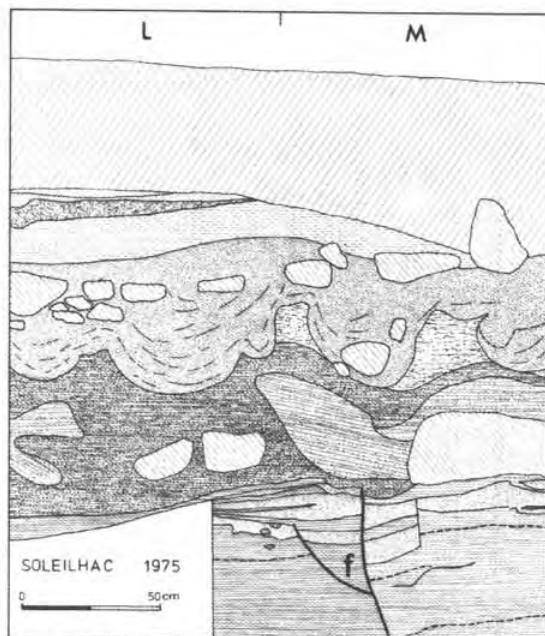


Figure 3 : déformations souples et cassantes dans les ensembles D et C de Soleilhac-centre d'après un levé de E. Bonifay (1975).

3. Résultats analytiques

Suite à un échantillonnage mené de 1978 à 1981 par l'un d'entre nous (J.P.R.) sur les coupes sud et sud-est du site et dans la tranchée nord, il a été procédé à une analyse sédimentologique classique, à l'examen d'échantillons orientés en lame mince et à l'analyse des palynoflores (M.M.P.). En 1995, il a été procédé (J.P.R. et G.V.) à l'échantillonnage des carottes des sondages S1 et S2 et à leur étude sédimentologique, microfaciologique et téphrologique partielle.

Les spectres polliniques ont été établis après traitement des échantillons à l'Institut du Quaternaire de l'Université de Bordeaux 1 par les méthodes classiques d'attaques acides et de concentration à l'aide de liqueurs denses. Les compositions granulométriques ont été établies sur la fraction fine (<2mm) du sédiment par tamisage mécanique, méthode densimétrique et par microgranulométrie laser (Malvern 2600) à l'Institut de Préhistoire et de géologie du Quaternaire de l'Université de Bordeaux 1. Les paramètres et indices granulométriques sont pour la plupart présentés en unités phi (Φ) (Inman, 1952). La nature des minéraux argileux a été établie par diffractométrie X à l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine de l'Université

de Bordeaux 1 et à l'Institut de géodynamique de l'Université de Bordeaux 3. Les microfaciès ont été décrits à partir de lames minces de grand format réalisées à l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon et à l'Institut de Préhistoire et de Géologie du Quaternaire de l'Université de Bordeaux 1, après imprégnation d'échantillons orientés par la méthode de Guilloré (1985).

Les résultats concernant le site de Soleilhac-centre et la sonde S2 sont présentés par ensemble, du plus ancien au plus récent; ceux concernant le sondage S1 sont exposés séparément. Les données analytiques sont résumées dans les tableaux 1 et 2.

3.1. Ensemble E

3.1.1. Sédiments

Les échantillons 45a à 45v prélevés dans la carotte S2 entre 46,00 et 54,40 mètres de profondeur permettent une bonne caractérisation de cet ensemble (tableau 1, figure 4).

Les dépôts sont de texture silto-sablo-argileuse ($Md_{\phi} = 8,05$ à $5,20$), le plus souvent bien classés ($\sigma_{\phi} = 0,80$ à $1,95$), à sablo-silto-argileuse ($Md_{\phi} = 2,65$ à $3,95$) avec un assez mauvais classement ($\sigma_{\phi} = 2,42$ à $3,05$).

Le niveau 45u, échantillonné entre 53,65 et 53,75 m, révèle en lame mince, dans une matrice argileuse, la présence de fragments arrondis de basalte à olivine, de fragments anguleux de granite à biotite, de «galets mous» de sédiment sableux et de sapropel. Les scories noires sont rares et de taille millimétrique.

Les échantillons 40b à 42, prélevés entre 34,10 et 35,70 m, mais séparés des précédents par un panneau de tuff-ring, appartiennent sans doute également à l'ensemble D: leur composition granulométrique est identique (tableau 1, figures 5, 6 et 9).

3.1.2. Téphras remaniés

Le niveau 45e du sondage S2, échantillonné entre 47,30 et 47,40 m de profondeur, présente en lame mince des scories noires (35 %) et des xénoclastes de basalte à olivine (15 %) et de socle (granite à biotite et minéraux libres du socle) (50 %), dans une matrice argileuse. Il s'agit d'une retombée basaltique remaniée, de texture sablo-silto-argileuse, à médiocre classement ($Md_{\phi} = 4,25$, $\sigma_{\phi} = 3,39$). Il en est de même pour le niveau 45g ($Md_{\phi} = 2,65$, $\sigma_{\phi} = 3,05$) (figure 6).

Le niveau 45u, échantillonné entre 52,50 et 52,60 m, est également un téphra basaltique remanié. En lame mince, on note, dans une matrice argileuse, la présence d'un petit bloc de basalte à olivine (long 45 mm), de «galets mous» de sédiment sableux, de scories noires fraîches (diamètre maximum = 15 mm), de fragments arrondis de basalte à olivine et de fragments anguleux de granite à biotite.

3.1.3. Faciès de tuff-ring

Les dépôts de l'ensemble E dans le sondage S2 sont surmontés par un ensemble de niveaux de tuff-ring qui présentent des caractéristiques bien particulières.

Le niveau 44 montre en lame mince des scories noires et des xénoclastes de basalte à olivine et de granite à biotite.

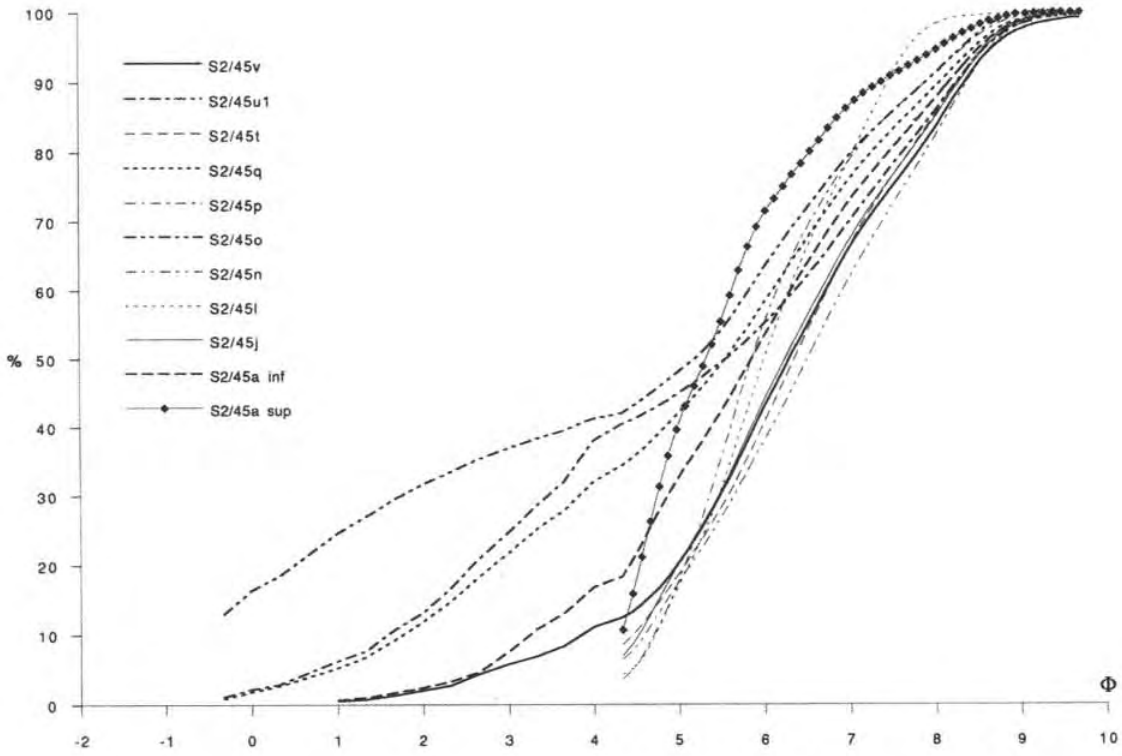


Figure 4 : granulométrie globale des niveaux 45a à 45 v du sondage S2.

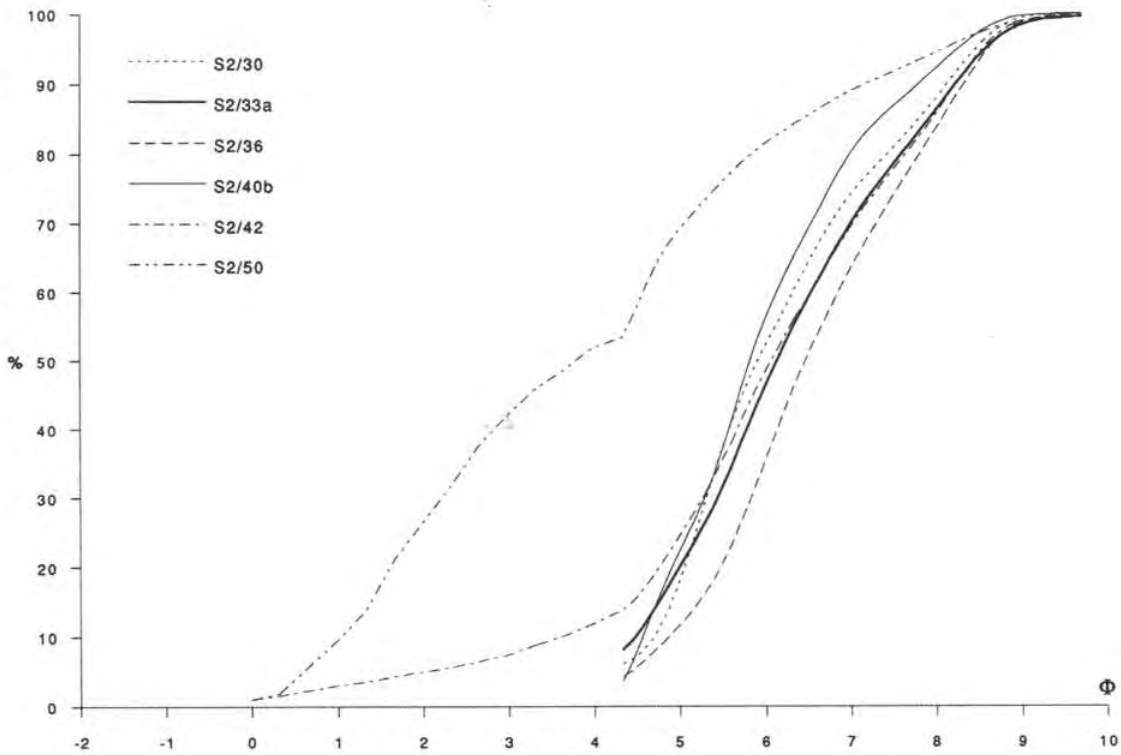


Figure 5 : granulométrie globale des niveaux 30, 33a, 36, 40b, 42 et 50 du sondage S2.

La proportion des xénoclastes est importante (plus de 50 %). L'un d'entre eux (basalte à olivine) atteint la taille de 28 mm. Certains grains présentent une fine couche de produits cendreuse sur leurs bords pouvant représenter un

stade initial d'accrétion, structure en pseudo-sable fréquente dans des dépôts d'éruptions phréatomagmatiques (Moore et Peck, 1962 ; Walker, 1971 ; Fisher et Schmincke, 1984 ; Cas et Wright, 1992 ; Vernet *et al.*, 1997).

Stratigraphie				Granulométrie des fines			Paramètres d'inman (1952)				
Sondage	Ensemble	Unité	Prof. éch. m	% sables	% silts	% argiles	Φ16	Φ64	Φ50	σΦ	αΦ
S1	A	23	8,30/8,35	79,87	18,92	1,21	-0,10	4,85	0,13	2,48	1,87
S1	Lacustre	31	15,10/15,15	1,83	74,52	23,65	5,60	8,35	7,00	1,38	5,05
S1	Lacustre	33	15,74/15,80	69,70	26,30	4,00	-0,15	5,80	1,45	2,98	1,41
S1	Lacustre	35	16,80/16,82	9,00	80,04	10,96	4,70	7,70	6,13	1,50	4,18
S1	Lacustre	39	19,30/19,35	5,63	79,53	14,84	5,10	7,96	6,34	1,43	4,70
S1	Lacustre	40b	20,80/20,85	90,30		9,70	-0,25	2,65	0,76	1,45	1,13
S1	Lacustre	40b	20,85/20,95	93,10		6,90		1,85	0,27		
S1	Lacustre	41	21,15/21,20	4,87	77,86	17,27	5,20	8,15	6,60	1,48	4,58
S1	Lacustre	45	22,30/22,37	10,67	76,81	12,52	4,95	7,80	6,11	1,43	4,66
S1	Lacustre	46	22,40/22,42	89,36	10,03	0,61	0,40	3,00	1,57	1,30	1,41
S1	Lacustre	52	23,32/23,38	2,73	78,52	18,75	5,25	8,15	6,72	1,45	4,61
S1	Lacustre	59	25,50/25,53	66,10	30,40	3,50			2,00		
S2	A	2	0,84/0,88	50,57	44,82	4,61	0,25	6,45	3,95	3,10	0,89
S2	A	2	1,66/1,70	51,43	43,19	5,37	0,35	6,45	3,85	3,05	0,97
S2	A	6	3,85/3,90	65,80	31,68	2,52	0,10	5,60	2,48	2,75	1,17
S2	A	7	4,30/4,35	59,13	37,75	3,12	0,45	6,05	2,96	2,80	1,26
S2	A	8	4,85/4,90	56,73	39,55	3,71	0,95	6,25	3,45	2,65	1,42
S2	A	9	5,15/5,20	60,30	36,47	3,23	0,85	6,05	3,25	2,60	1,40
S2	A	10	6,60/6,65	64,63	32,85	2,52	0,45	5,60	2,76	2,58	1,28
S2	A	11	8,05/8,10	82,33	16,60	1,07	0,10	4,30	1,60	2,10	1,33
S2	A	12	9,15/9,20	72,70	24,74	2,56	0,10	5,35	2,05	2,63	1,30
S2	A	13	9,50/9,55	68,57	28,56	2,88	-0,06	5,70	2,40	2,88	1,13
S2	A	14	9,95/10,00	61,10	35,05	3,85	0,75	5,65	3,25	2,45	1,29
S2	A	15	10,25/10,30	73,77	23,94	2,29	0,25	5,15	1,85	2,45	1,45
S2	A	15bis	10,45/10,65	66,47	30,08	3,45	0,40	5,90	2,45	2,75	1,40
S2	A	21	17,20/17,30	73,78	24,16	2,06	0,58	5,15	2,30	2,29	1,50
S2	A	21	17,35/17,40	76,30	21,81	1,89	0,50	4,95	2,05	2,23	1,53
S2	B	28b	24,07/24,10	24,60	63,65	11,75	2,20	7,65	5,55	2,73	1,58
S2	B	29b	24,35/24,38	26,13	63,47	10,40	2,05	7,50	5,55	2,73	1,47
S2	B	29d	24,75/24,80	35,27	55,53	9,20	1,45	7,30	5,25	2,93	1,20
S2	B	30	25,55/25,60		88,21	11,79	4,95	7,75	5,90	1,40	4,86
S2	C?	31	26,10/26,20	75,40	22,25	2,35	0,55	5,35	1,85	2,40	1,69
S2	C?	33a	26,85/26,90		86,54	13,46	4,80	7,85	6,15	1,53	4,26
S2	D	33c	27,30/27,40	83,07	15,74	1,19	-0,21	4,40	0,90	2,31	1,43
S2	D	34	27,50/27,60	81,00	17,82	1,18	0,55	4,94	1,60	2,20	1,77
S2	D	34	28,20/28,25	80,17	18,84	0,99	1,87	4,70	2,84	1,42	2,64
S2	D	35	28,60/28,65	94,07	5,56	0,37	-0,02	2,48	1,13	1,25	1,06
S2	D	36	29,35/29,40		84,04	15,96	5,28	8,05	6,48	1,39	4,95
S2	D	37	29,78/29,82	94,87	4,84	0,29	0,68	2,56	1,60	0,94	1,74
S2	E?	40b	34,10/34,15		92,42	7,58	4,78	7,25	5,82	1,24	5,03
S2	E?	40c	34,45/34,50	35,63	57,60	6,77	2,78	7,10	5,15	2,16	2,19
S2	E?	40d	34,85/34,90	60,60	35,56	3,84	2,30	6,30	3,05	2,00	2,78
S2	E?	42	35,60/35,70	11,97	74,12	13,91	4,55	7,90	6,08	1,68	3,80
S2	E	45a	46,00/46,05		94,50	5,50	4,46	6,82	5,33	1,18	5,04
S2	E	45a	46,07/46,10	16,77	70,82	12,41	3,90	7,80	5,90	1,95	2,97
S2	E	45b	46,18/46,25	56,77	38,34	4,89	0,60	6,70	3,56	3,05	1,23
S2	E	45d	47,10/47,18	41,00	45,37	13,63	0,68	7,86	5,45	3,59	0,86
S2	E	45e	47,30/47,40	49,60	44,78	5,62	0,42	6,80	4,25	3,19	0,93
S2	E	45g	47,80/47,90	61,90	34,14	3,96	0,30	6,40	2,65	3,05	1,33
S2	E	45j	48,25/48,30		85,02	14,98	4,80	7,98	6,26	1,59	4,10
S2	E	45k	48,45/48,50	51,13	42,72	6,15	1,92	6,75	3,95	2,42	1,95
S2	E	45l	48,90/48,95		98,23	1,77	4,94	7,23	6,00	1,15	5,39
S2	E	45n	50,20/50,25		82,38	17,62	4,90	8,10	6,52	1,60	4,05
S2	E	45o	50,90/50,95	41,13	49,99	8,88	0,00	7,40	5,20	3,70	0,59
S2	E	45p	51,10/51,15		91,09	8,91	4,94	7,40	5,87	1,23	5,26
S2	E	45q	51,40/51,45	32,00	57,21	10,79	2,45	7,60	5,56	2,58	1,74
S2	E	45s	51,85/51,90	61,23	34,40	4,37	1,40	6,25	3,02	2,43	1,91
S2	E	45t	52,30/52,35		85,37	14,63	4,85	7,95	6,35	1,55	4,16
S2	E	45u/1	52,60/52,65	37,93	47,93	14,14	2,30	7,90	5,60	2,80	1,64
S2	E	45v	54,35/54,40	11,07	72,40	16,53	4,70	6,30	8,05	0,80	3,69
S2	Oligocène	50	66,60/66,65	51,97	42,64	5,39	1,45	6,30	3,80	2,43	1,63

Tableau 1.

Le niveau 38 possède des caractéristiques très proches. On retrouve en effet les mêmes scories noires et xénoclastes de basalte à olivine et de granite à biotite. La proportion des xénoclastes est importante (environ 50%). La matrice est grossière et souvent indurée. La structure en pseudo-sable est présente. Cette similitude de composition pose problème lors de l'interprétation de certains des niveaux considérés *a priori* comme des téphras.

Il est en effet normal que des produits d'éruptions phréatomagmatiques proches arrivant dans le lac de Soleilhac possèdent les mêmes caractéristiques que les produits du maar de Soleilhac : identité des produits ju-

véniles (scories noires peu vésiculées plus ou moins anguleuses), forte proportion de xénoclastes de nature identique (basalte à olivine et granite à biotite) et présence de grains à structure en pseudo-sable. Mais le démantèlement du tuff-ring de Soleilhac peut également aboutir à la sédimentation détritique locale de produits identiques.

L'impossibilité de distinguer les produits issus du tuff-ring du maar de Soleilhac de ceux pouvant provenir des explosions de maars voisins (ou tout du moins d'éruptions à caractère phréatomagmatique proches) impose donc la prudence lors de l'interprétation des niveaux téphriques rencontrés.

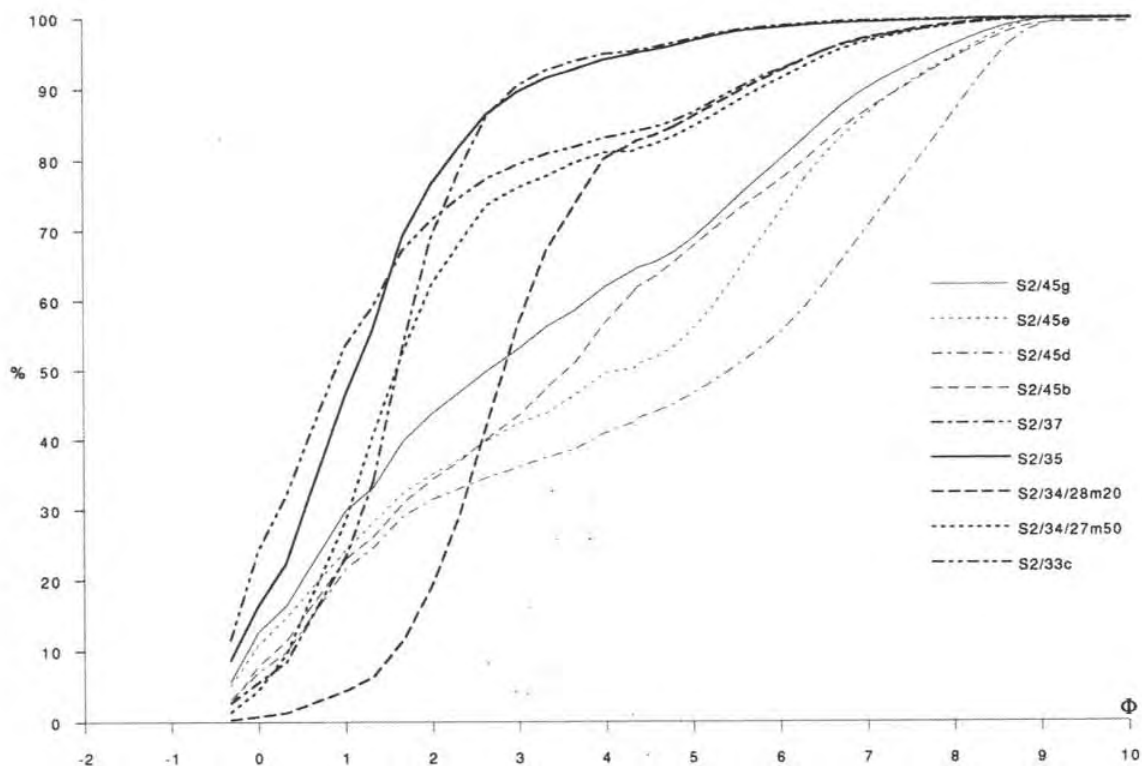


Figure 6 : granulométrie globale des niveaux 33c à 37 et 45b à du sondage S2.

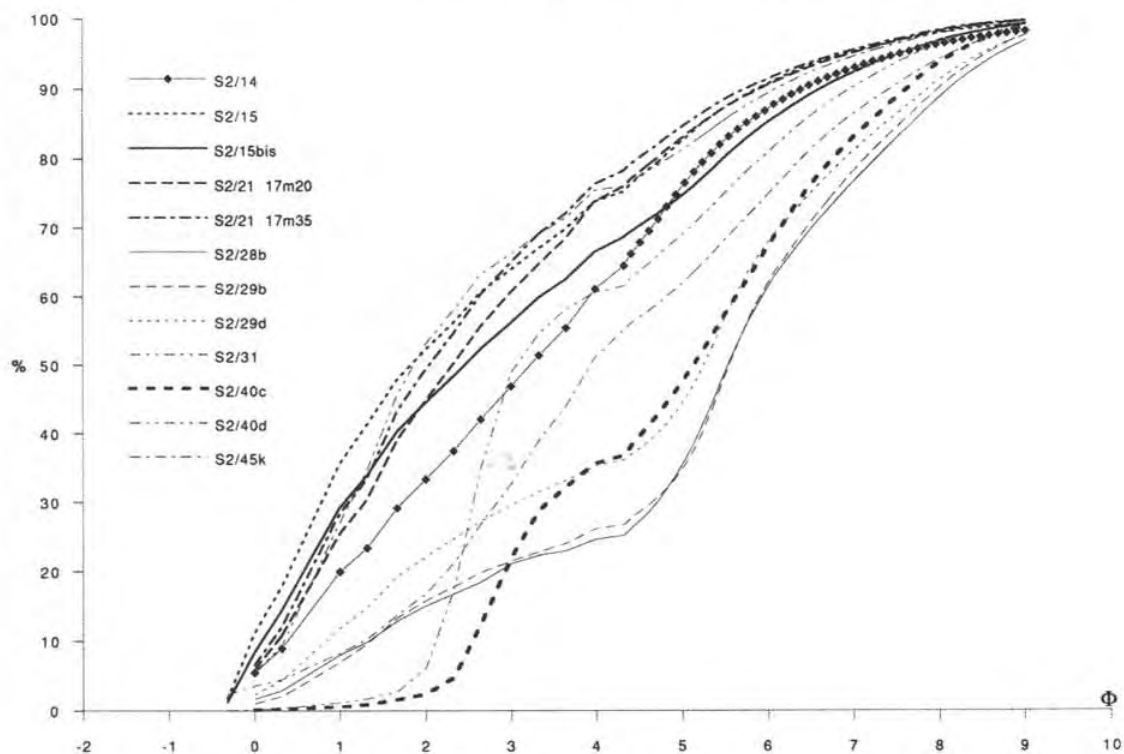


Figure 9 : granulométrie globale des niveaux 14 à 31 et 40c à 45k du sondage S2.

3.2. Ensemble D

3.2.1. Sédiments

Dans le sondage S2, les échantillons 33c à 37 prélevés entre 27,30 et 29,82 m au-dessus d'un panneau de tuffing permettent de caractériser cet ensemble (tableau 1).

Le niveau 34 (figure 6) montre en lame mince six microséquences successives à granoclassement inverse. Dans les sables fins de sommet de microséquence, on note la présence de grains anguleux de feldspath et de biotite. Soulignons ici l'absence totale de matériel d'origine volcanique.

Stratigraphie		Granulométrie				Paramètres et indices sédimentologiques													Minéraux argileux				
Unité	Ech	>2mm	Sables	Limons	Argiles	C5	P10	C16	Q1	Md	Q3	C84	P90	C95	Sk	So	EtF	S	I	K	Ch	Int	
D est	12	NA	91,63	2,94	5,42	1437	1156	986	772	468	226	143	80	1	0,79	1,84	2,28						
D sud	3	12,37	64,20	12,84	22,95	718	385	287	206	109	6	1	-	-	0,10	5,85	3,47						
D sud	2	38,84	88,19	6,20	5,59	1407	1075	796	643	316	135	79	47	10	0,86	2,18	1,91						
D sud	1	17,96	82,20	8,02	9,77	1437	1114	870	675	326	103	34	2	1	0,65	2,55	2,75						
D nord (lits argileux)	42 41 39 37																	46	37	17	-	-	-
																		39	41	20	-	-	-
																		54	29	17	-	-	-
																		52	32	16	-	-	-
C sud	8	10,57	71,43	14,18	14,38	1185	963	745	534	181	33	5	1	1	0,53	4,02	3,34	75	17	8	-	-	-
C sud	7	8,02	65,86	14,72	19,61	1141	860	667	473	121	13	1	-	-	0,41	6,03	3,88						
C sud	6	8,09	65,03	13,38	21,58	1171	878	655	409	117	11	1	-	-	0,32	6,09	3,87	66	23	11	-	-	-
C sud	5	6,52	62,26	16,32	21,40	1080	767	593	355	95	8	1	-	-	0,31	6,66	3,82						
C sud	4	7,21	65,13	14,98	19,87	1178	902	678	435	120	15	1	-	-	0,45	5,38	3,89						
C sud	3	6,25	66,33	14,18	19,48	1153	847	672	441	115	17	1	-	-	0,56	5,09	3,88	70	19	11	-	-	-
C sud	2	5,45	64,50	15,25	20,24	1067	771	615	380	102	12	1	-	-	0,43	5,62	3,83						
C sud	1	6,52	70,83	13,38	15,98	1151	881	689	476	157	31	2	1	-	0,59	3,91	3,64	79	8	13	-	-	-
C sud-est	6	25,63	87,63	5,35	7,01	15,28	1187	1002	759	391	167	94	38	1	0,82	2,13	2,45						
C sud-est	5	28,57	90,50	8,15	3,34	1553	1201	1021	773	409	194	121	64	9	0,89	1,99	1,89						
C sud-est	4	12,39	80,36	6,42	13,20	1374	1108	895	684	218	73	36	1	-	1,05	3,06	2,73						
C sud-est	3	13,76	90,63	2,14	7,22	1534	1213	1100	931	580	307	162	69	1	0,84	1,74	2,28						
C sud-est	2	5,77	73,09	7,49	19,40	1150	920	742	588	217	40	1	1	-	0,49	3,83	3,91						
C sud-est	1	4,03	65,93	7,22	6,84	1150	909	712	501	150	1	1	-	-	0,02	22,38	3,90						
B7 sud																		60	22	18	-	-	-
B6 sud	5	30,17	65,43	10,70	15,98	1576	1216	1042	783	309	2	1	-	-	0,01	19,78	4,10	78	15	7	-	-	-
B6 sud	4	22,41	49,70	14,72	23,86	1200	955	707	434	45	1	-	-	-	0,21	20,83	4,73						
B6 sud	3	24,73	76,00	12,57	35,57	1259	1038	792	632	289	63	12	1	-	0,47	3,16	3,06	73	15	12	-	-	-
B6 sud	2	24,99	73,46	12,57	11,42	1401	1124	923	669	313	38	3	1	-	0,55	2,64	2,85						
B6 sud	1	30,68	79,70	11,77	13,95	1442	1143	947	733	372	105	28	4	1	0,19	19,33	4,66	100	-	-	-	-	-
B3-4 sud	5	25,21	49,08	16,32	34,58	1087	776	617	374	44	1	-	-	-	0,19	19,33	4,66	73	19	8	-	-	-
B3-4 sud	4	15,75	39,93	20,60	39,45	968	696	495	267	8	1	-	-	-	4,17	16,34	4,56						
B3-4 sud	3	13,60	39,46	19,80	40,72	980	667	434	250	6	1	-	-	-	6,94	15,81	4,51	67	25	8	-	-	-
B3-4 sud	2	8,72	34,79	19,00	46,19	922	819	369	169	3	1	-	-	-	18,77	13,00	4,44						
B3-4 sud	1	7,04	40,26	17,66	42,06	875	601	396	243	5	1	-	-	-	-	-	-	62	21	17	-	-	-
B3-4 est	1	25,52	36,19	42,28	21,51	913	488	311	121	28	4	1	-	-	0,61	5,50	3,55	60	36	-	-	4	
B3-4 est	2	20,36	50,73	28,63	20,62	1221	796	483	295	55	5	1	-	-	0,48	7,68	3,77	38	45	6	-	11	
B3-4 est	3	20,22	38,23	31,85	29,91	1171	783	478	243	12	1	1	-	-	1,68	15,58	3,76	68	18	7	-	7	
B3-4 est	4	16,21	37,63	23,28	39,08	1155	776	480	243	5	1	-	-	-	9,71	15,58	4,59	62	19	8	-	11	
B2 est.	5	0,24	8,23	47,90	43,85	137	46	34	24	4	1	-	-	-	1,50	4,89	3,17	47	26	10	-	16	
B1 est	6	21,49	54,63	36,66	8,69	1269	941	627	329	65	13	5	2	1	1,01	5,03	3,29	40	44	8	-	8	
B1 est	7	0,63	2,56	28,90	98,52	23	11	6	3	1	1	-	-	-	3,00	1,73	2,15	70	14	7	-	9	
B1 est	8	20,81	47,96	40,41	11,61	1322	899	557	295	43	7	3	1	-	1,11	6,49	3,44	44	35	12	-	9	
B1 est	9	18,12	42,56	38,80	16,62	1213	886	557	331	23	3	1	-	-	1,87	10,50	3,82	22	66	-	-	12	
B1 est	10	24,68	44,13	40,68	15,18	1431	1032	682	349	26	4	2	1	-	2,06	9,34	3,68	38	38	14	-	10	
B1 est	11	6,35	41,66	31,04	27,28	1145	833	557	364	13	1	1	-	-	2,15	19,07	3,81	24	48	19	-	9	
B1 est	12	1,21	39,96	31,04	28,98	1022	701	438	250	10	1	1	-	-	2,49	15,81	3,70	35	45	12	-	8	
B1 sud-est	6	25,09	37,90	25,42	36,67	1153	802	508	274	7	1	-	-	-	5,59	16,55	3,78						
B1 sud-est	5	22,93	41,46	27,03	31,50	1228	902	634	340	10	1	-	-	-	3,39	18,43	3,67						
B1 sud-est	4	19,54	59,43	35,06	5,50	1187	824	521	277	161	7	4	2	1	2,28	16,64	3,79						
B1 sud-est	3	4,87	34,48	23,28	42,24	909	632	385	195	4	1	-	-	-	12,18	13,96	3,63						
A2 base est	13	0,00	6,10	43,89	50,00	77	37	25	12	1	1	-	-	-	12,00	3,46	2,93	70	13	7	-	10	
A2 base sud-est	3	0,00	33,73	37,47	28,79	200	119	101	80	23	1	1	-	-	0,15	8,94	2,81						
A2 base sud-est	2	0,00	29,96	38,00	32,02	217	110	87	66	16	1	-	-	-	0,25	8,12	2,78						
A'1 est	14	NA	37,13	45,23	17,63	1155	773	450	192	22	4	1	1	-	1,58	6,92	3,73	35	41	12	-	12	
A'1 sud-est	1	NA	47,70	28,63	23,66	1160	872	674	407	30	2	1	-	-	0,90	14,26	3,88						
A'1 sud-est	2	NA	58,73	24,62	18,64	1157	913	708	487	124	5	1	1	-	0,15	9,86	5,90	37	36	27	-	-	
A'1 sud-est	3	NA	54,50	27,63	17,66	1301	1056	88	598	93	5	1	1	-	0,34	10,93	3,97	30	47	23	-	-	
A1 sud-est	4	NA	61,96	21,67	16,35	1538	1193	1010	750	226	8	2	3	-	0,11	9,68	3,84	tr	tr	tr	-	-	-
A1 sud-est	5	NA	58,70	19,75	21,54	1200	994	776	610	149	9	1	-	-	0,24	8,23	3,94						
A1 sud-est	6	NA	62,53	19,27	16,19	1602	1231	1031	754	215	7	1	1	-	0,11	10,37	4,10						
A1 sud-est	7	NA	64,69	16,88	16,43	1856	1313	1097	827	271	8	1	1	-	0,90	10,16	4,13	tr	tr	-	-	-	
A1 sud-est	8	NA	63,96	21,14	14,88	1588	1224	1049	791	270	10	3	1	-	0,10	8,89	3,71	-					

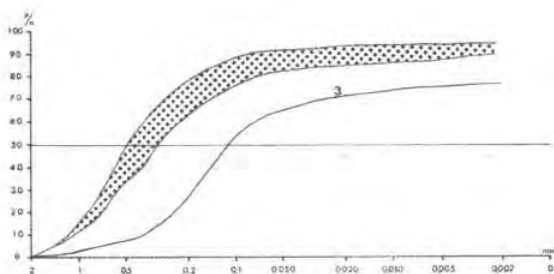


Figure 7 : granulométrie de la fraction fine de l'ensemble D, Soleilhac-centre, tranchée nord et coupe sud (3).

3.2.2. Téphras

Dans le sondage S2, les niveaux 37 et 33c présentent tous les caractères de retombées basaltiques directes.

A la base, le niveau 37 est composé de sables fins lités. Les grains anguleux sont en grande majorité du feldspath et des biotites. Certains lits de composition quasi-exclusivement sableuse très bien classés ($Md_{50} = 1,60$, $\sigma_{50} = 0,94$) contiennent des scories noires millimétriques anguleuses fraîches et des minéraux libres volcaniques (clinopyroxènes brun-vert) qui représentent des apports téphriques directs intercalés (figure 6, photo 1).

Le niveau 33c, de 4 cm de puissance, présente un granoclassement normal. Ses limites inférieure et supérieure sont nettes par rapport aux argiles qui l'encadrent. Dans une matrice argileuse on observe des scories (41 %), des fragments de lave (9 %) et des fragments de socle (50 %).

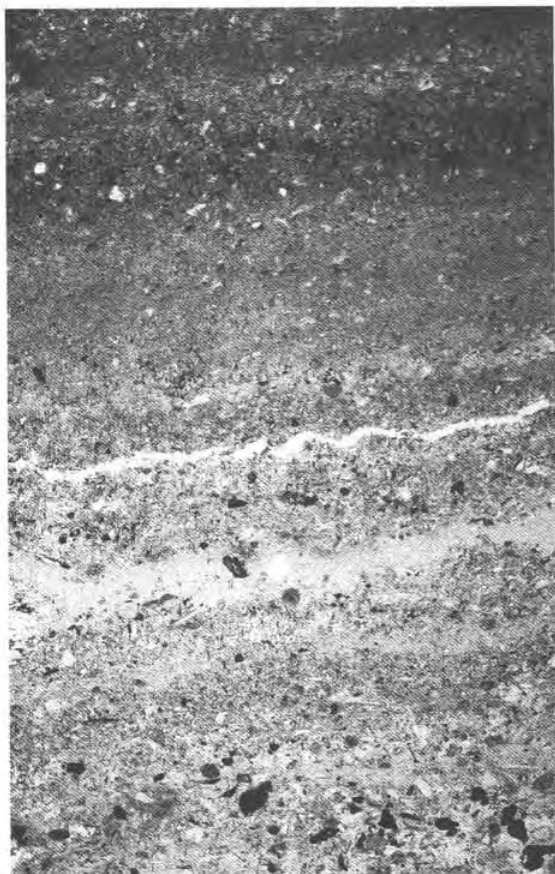


Photo 1 : micro-faciès des sédiments lacustres, éch. Sol S2/33C, LN, X 40. Microlitages marqués par l'alternance de niveaux fins et de niveaux plus grossiers.

Les scories adoptent des formes arrondies ou anguleuses. Elles sont «fraîches» et non roulées. Leur vésiculation est faible à moyenne. Dans une matrice vitreuse noire, on distingue des phénocristaux d'olivine et de clinopyroxène brun-vert (en moins grand nombre). Des microlithes («dates» de plagioclase) sont parfois visibles. Le diamètre maximum des trois plus grosses scories rencontrées dans la lame varie de 7 à 10 mm.

Certaines scories contiennent des xénoclastes de lave et de socle. Les fragments laviques, anguleux ou arrondis, de taille un peu inférieure à celle des scories, appartiennent à un basalte à phénocristaux d'olivine. Les fragments de socle sont représentés par des grains polycristallins (granite à biotite) anguleux et des minéraux libres (feldspath, quartz, biotite).

Ce niveau représente un apport de matériel pyroclastique provenant d'une éruption phréatomagmatique. Le granoclassement normal observé correspond à la décantation du matériel pyroclastique à travers une tranche d'eau. Certains grains présentent un fin revêtement de produits cendreux pouvant représenter un stade initial d'accrétion, structure en pseudo-sable fréquente dans les dépôts d'éruptions phréatomagmatiques.

3.2.3. Contenu pollinique

Il n'a été établi que dans les dépôts affleurants exploités par tranchées. La partie la plus inférieure a été observée et échantillonnée dans les lits argileux intercalés dans les sables traversés par le sondage nord de 1981 (figure 8, tableau 2).

Les échantillons 42 et 41 contiennent une flore nettement forestière. Les taux de boisement atteignent 72 et 70%. Les feuillus sont nombreux, surtout l'Aulne, le Noisetier et la Chênaie-mixte très notable (13-10%). Quelques pollens de Chêne vert sont présents. On note encore le Charme, le Hêtre, le Saule. Quelques pollens de Lierre et de Bourdaine sont rencontrés. Les conifères sont à peine supérieurs à l'ensemble des feuillus (nombreux Sapins, Pins et Epicéas secondaires). Les Graminées, les Cypéracées et les Hygrophiles (*Typha*, *Nymphaea*, *Juncus*) dominent la strate herbacée. Il faut noter d'assez nombreux pourcentages d'Ericales. Les Spores de Fougères des lieux humides et des sous-bois sont assez nombreuses. Ces échantillons semblent appartenir à un épisode proche ou terminal de l'optimum thermique d'un interglaciaire.

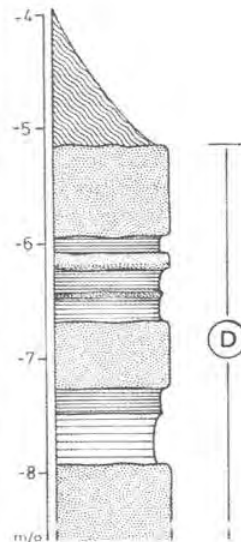


Figure 8 : log schématique, Soleilhac-centre, tranchée nord, 1981, ensemble D (levé J.P. Raynal).

Les échantillons 40 à 37 révèlent une régression progressive des feuillus thermophiles surtout la Chênaie et l'Aulne. Mais un cortège de feuillus reste cependant assez important. Dans l'échantillon 38 on note une pointe du Charme.

L'échantillon 39 montre un net développement du Noisetier. Le Hêtre est constamment présent en pourcentage notable (4-5%). L'ensemble des Conifères se développe surtout le Sapin et l'Épicéa. On arrive vers la fin de cette phase à une flore dominée par les forêts de Sapin et d'Épicéa avec secondairement le Pin accompagné de feuillus des sols frais et humides (Charme, Hêtre, Saule) et d'une population herbacée dominée par les Graminées, les Cy-péracées et les Hygrophiles. Les taux de boisement se maintiennent élevés (68-65%) témoignant de stades forestiers encore denses. Cette flore traduit un climat frais et très humide pouvant représenter la deuxième moitié d'un interglaciaire.

Les échantillons des dépôts à l'affleurement sur la coupe sud ont permis de compléter vers le haut ces observations palynologiques.

Leur base ici apparente (argile verte) livre des spectres riches en pollens arboréens (53-45%). Les ensembles de Conifères sont importants, le Pin sylvestre est dominé le plus souvent par le Sapin et l'Épicéa. Les feuillus sont assez nombreux mais moins représentés que dans les échantillons de l'ensemble E. Il s'agit surtout du Noisetier et du Bouleau. La Chênaie et l'Aulne sont donc ici en régression. Il s'agit d'une phase de forte dominance des Conifères mais ces derniers commencent à s'éclaircir sous un climat frais et très humide. Les éléments arbustifs des bords des eaux (Saule) et les herbacées hygrophiles sont nombreux et dominent avec les Graminées. Les variations des courbes de différents Conifères et parfois de certains feuillus (Noisetier, Saule) indiquent des conditions assez instables de phases de transitions.

Par la suite, les Conifères sont en progression. Les feuillus peu nombreux sont surtout le Noisetier, le Bouleau, le Saule et moins nombreux ou rares le Chêne, l'Aulne et le Hêtre. Les herbacées sont dominées par les Graminées, les Cy-péracées encore nombreuses et secondairement des Hygrophiles et quelques Héliophiles (Composées, Urticacées). Les taux de boisement s'abaissent à 30%. Il faut noter un

début de développement du Pin sylvestre et parmi les feuillus celui du Noisetier et du Bouleau. Le climat semble se dégrader progressivement dans un contexte très humide.

On conclue donc pour l'ensemble D à une mise en place sous un paléo-climat de type interglaciaire à son optimum thermique, qui se dégrade progressivement vers un pôle frais et très humide.

3.3. Ensemble C

3.3.1. Sédiments

Dans le sondage S2, seuls les niveaux 31 à 33b (figures 5 et 9, tableau 1) pourraient représenter un équivalent latéral de C décrit à Soleilhac -centre.

À l'affleurement, ce sont des sables argilo-limoneux (coupe sud) à limono-argileux (coupe sud-est).

La fraction grossière, très émoussée et roulée, est discrète dans la coupe sud, plus abondante dans la coupe sud-est, et son importance décroît régulièrement de bas en haut du dépôt. Les éléments du socle sont abondants dans la classe des granules.

La fraction fine est très homogène dans la coupe sud (tableau 2), très mal classée à faiblement classée, le classement étant maximum du côté des grossiers. Elle est plus sableuse dans la coupe sud-est où les proportions de limons et d'argiles varient fortement, le classement - médiocre à bon - restant maximum du côté des grossiers. Les courbes cumulatives sont, pour la coupe sud, unimodales et proches de celles de l'ensemble D (figure 10). Pour la coupe est, elles sont bimodales à plurimodales. Le cortège argileux comporte des smectites dominantes, des illites et un mélange de kaolinite et de chlorite.

Les faciès appartiennent à l'anneau détritique dont ils constituent les termes de bordure (plage).

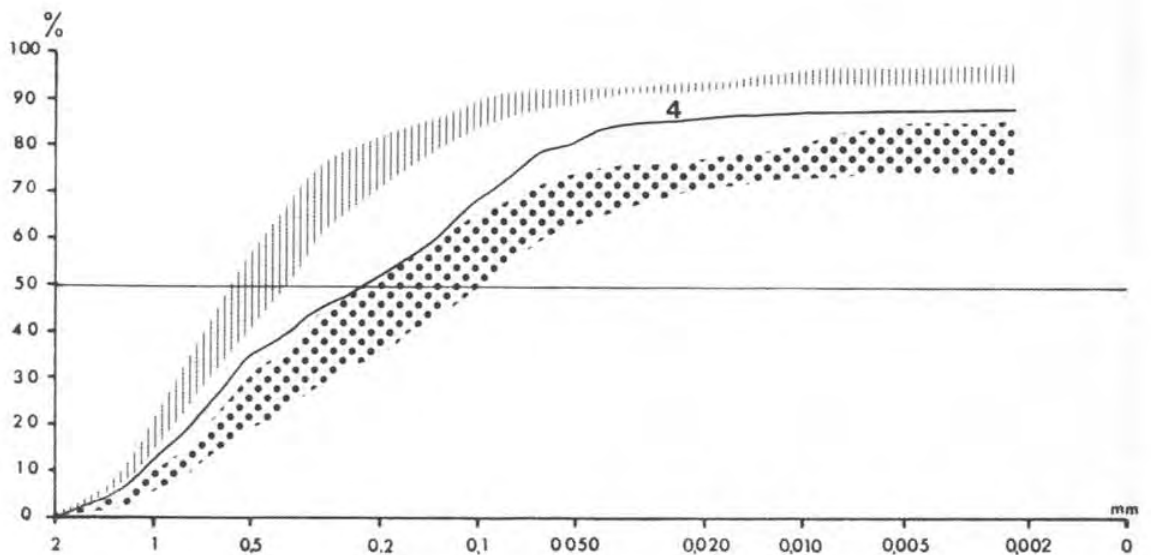


Figure 10 : enveloppes des courbes granulométriques de la fraction fine de l'ensemble C, Soleilhac-centre, coupes sud et sud-est.

3.3.2. Contenu pollinique

Les spectres indiquent un épisode doux et humide. Les Conifères nombreux montrent un développement assez net du Sapin. Les feuillus thermophiles se multiplient (Noisetier, Aulne, Saule, Chêne, Orme, Tilleul, Hêtre). Le Chêne et l'Aulne sont assez abondants. Les taux de boisement s'élèvent à 40 et 52 %. On rencontre de nombreuses Graminées, Cypéracées et Hygrophiles (*Typha*, *Juncus*) ainsi que quelques spores de fougères des lieux humides.

Ces ensembles correspondent à un stade de forêts de Conifères avec des groupes de feuillus sur les zones abritées et le long des cours d'eau. Ils évoquent un climat doux et très humide dans un contexte général frais à forte nébulosité pouvant encore appartenir à une période d'amélioration climatique de rang interglaciaire.

3.4. Ensemble B

3.4.1. Sédiments

Dans le sondage S2, les niveaux 28 b à 30 échantillonnés entre 24,07 et 25,60 m sont représentatifs de B (tableau 1, figures 5 et 9).

Le niveau 29 C, par exemple, présente dans une matrice argileuse marron foncé, des grains arrondis assez gros (maximum 15 mm) de basalte à olivine. Il n'y a pas de

scorie noire fraîche, mais des fragments anguleux de granite à biotite sont à signaler.

Dans les secteurs étudiés à l'affleurement et en tranchées, cet ensemble débute par le niveau B7, de texture limono-argileuse et très faiblement sableuse, très riche en smectites avec en moindres proportions des illites et un mélange de kaolinite et de chlorite (tableau 2).

L'unité B6 est riche en fraction grossière dans une matrice sableuse argilo-limoneuse généralement très mal à faiblement classée (excepté le sommet normalement classé) (figure 11). Dans la fraction argileuse, les smectites dominent un cortège composé également d'illites, de kaolinites et de chlorites; au sommet de l'unité, les smectites sont seules présentes.

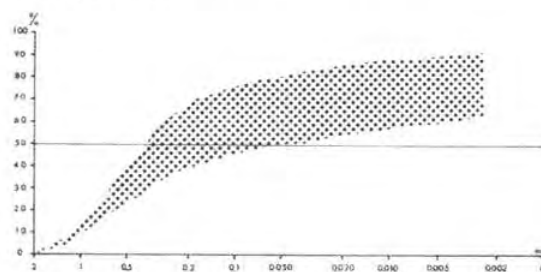


Figure 11 : enveloppes des courbes granulométriques de la fraction fine de l'unité B6, Soleilhac-centre, coupe sud.

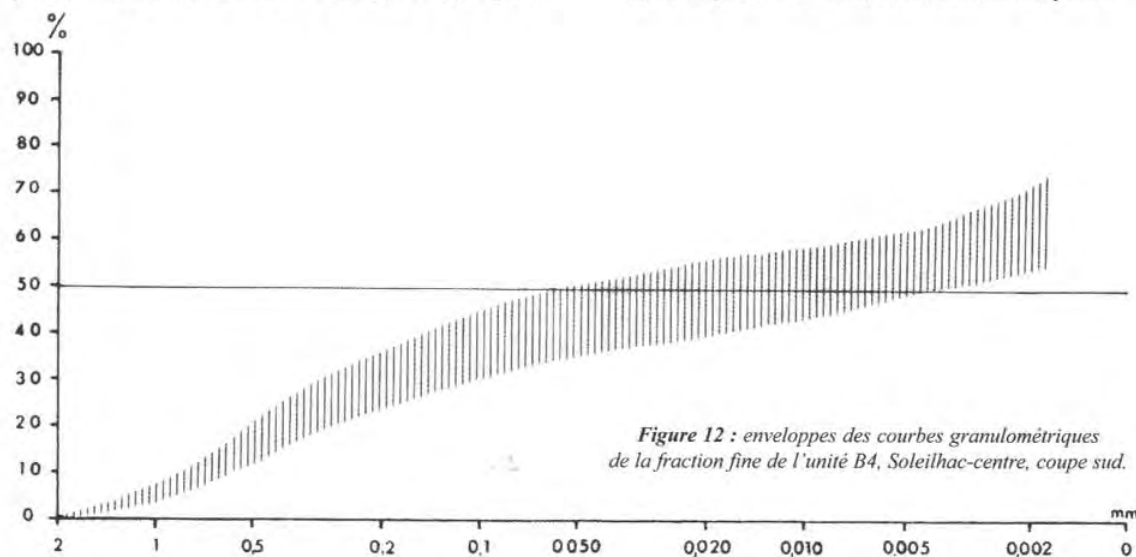


Figure 12 : enveloppes des courbes granulométriques de la fraction fine de l'unité B4, Soleilhac-centre, coupe sud.

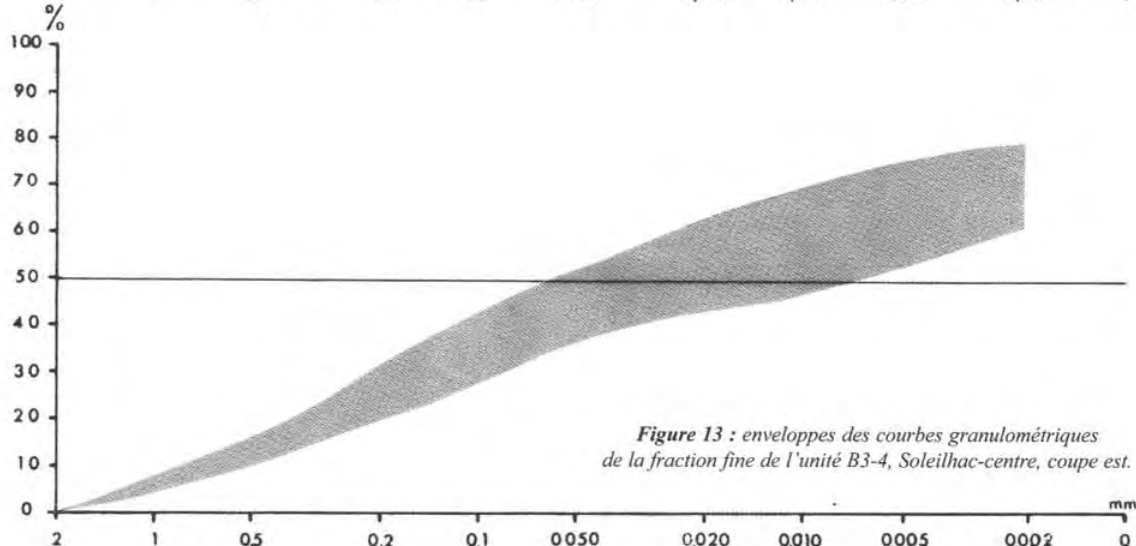
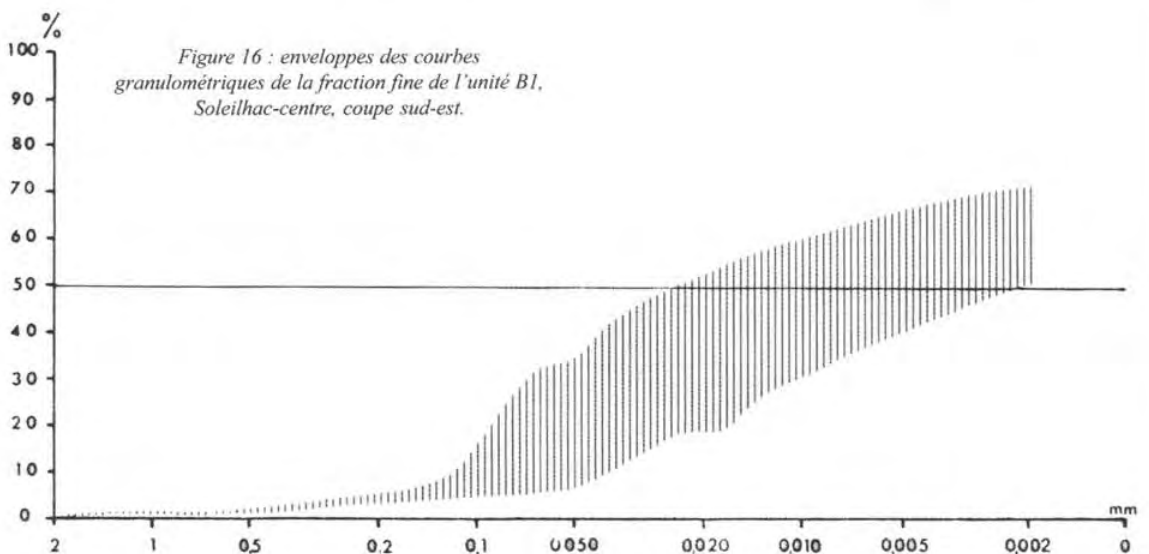
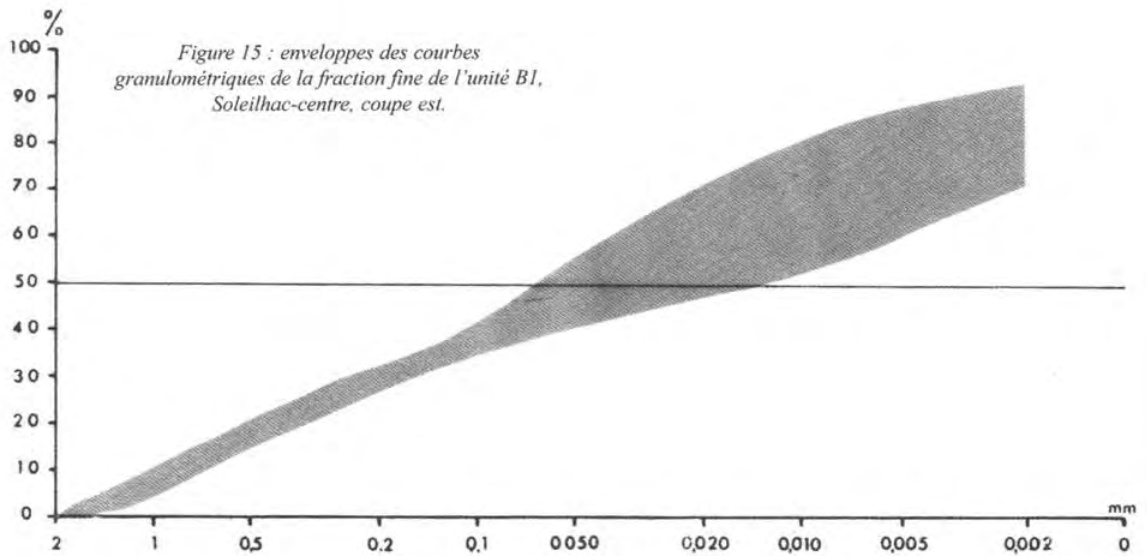
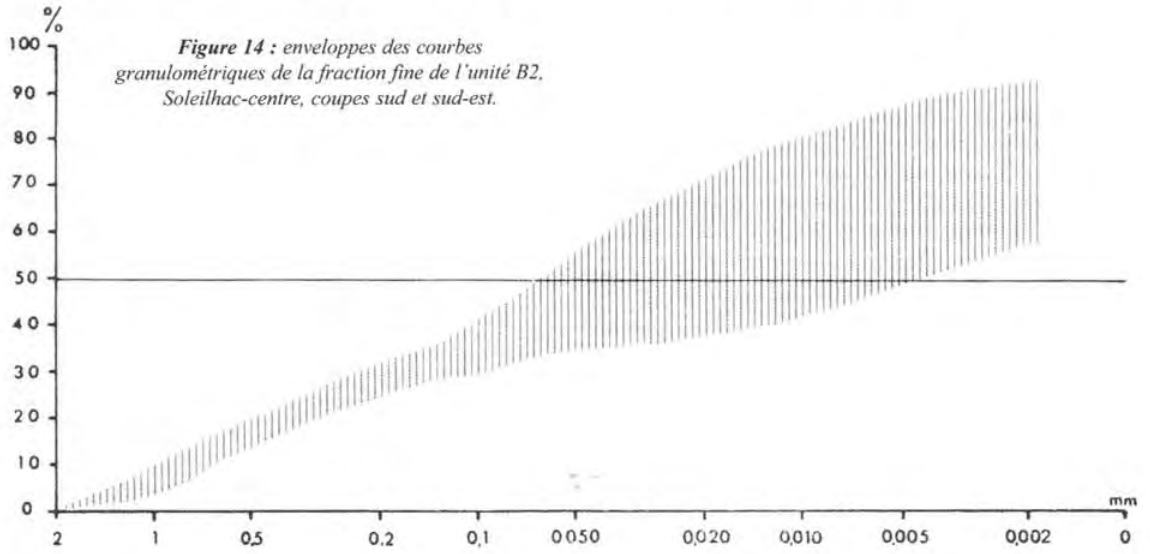


Figure 13 : enveloppes des courbes granulométriques de la fraction fine de l'unité B3-4, Soleilhac-centre, coupe est.

Les unités B4-B3, étudiées sur les coupes sud et sud-est, montrent un granoclassement positif de la fraction grossière. La fraction fine est sablo argilo-limoneuse (coupe sud), très mal classée, sablo-limono-argileuse (coupe sud-est). Les courbes cumulatives sont unimodales à

plurimodales (figures 12 et 13). Le cortège des minéraux argileux est dominé par les smectites, devant les illites (parfois en assez forte proportion), les interstratifiés illite smectite, un peu de kaolinite et de chlorite.



L'unité B2 est de texture limono-argileuse, très peu sableuse dans laquelle la fraction grossière n'est représentée que par quelques granules. Le classement est très mauvais (figure 14). La fraction argileuse est dominée par les smectites, les illites, avec une moindre proportion d'interstratifiés illite-smectite et de kaolinite.

L'unité B1 a été étudiée sur les coupes est et sud-est. Dans les deux cas, elle montre un granoclassement positif : diminution progressive vers le haut de la fraction grossière et de la fraction sableuse, augmentation progressive de la fraction argileuse, relative importance et stabilité de la fraction limoneuse. On note dans la fraction grossière l'existence de galets mous d'argiles oligocènes. La fraction fine, sables limono-argileux sur la coupe est, argilo-limoneux sur la coupe sud-est, est généralement très mal classée (importance des limons). Les courbes cumulatives sont bimodales à trimodales (figures 15 et 16). Les cortèges minéralogiques sont dominés par les illites et les smectites et comportent en moindres proportions des interstratifiés illite smectite, des kaolinites et des chlorites.

De B6 à B1 on assiste à l'installation de conditions rhéxistasiques, de plus en plus fraîches et toujours très humides, provoquant des apports spasmodiques de matériaux mal classés en bordure de lac. Les couvertures pédologiques sont profondément érodées et le substratum oligocène partiellement mis à nu. Les figures de cryergie indiquent le franchissement d'un seuil thermique. A plusieurs reprises, la sédimentation lacustre fine reprend le pas sur les apports de versant (figure 17) mais il est difficile de dire s'il s'agit de petites remontées du plan d'eau (par surcroît de charge solide ou par excès d'apports acqueux) ou d'un enfoncement saccadé contrôlé par un tassement de l'anneau détritique ou encore des rejeux des failles du diatrême. Ces dépôts marquent par conséquent l'installation progressive d'une dégradation climatique majeure.

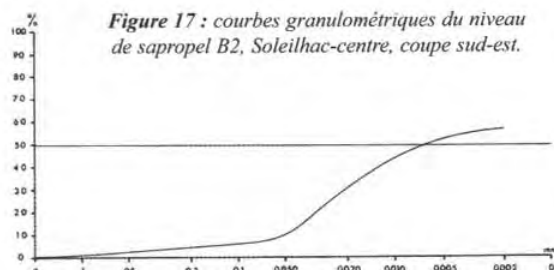


Figure 17 : courbes granulométriques du niveau de sapropel B2, Soleilhac-centre, coupe sud-est.

3.4.2 . Contenu pollinique

La première moitié de cet ensemble présente des spectres très semblables à ceux de l'ensemble C. Puis les conditions se dégradent peu à peu mais toujours dans un contexte humide. Les taux de boisement s'abaissent à 30 puis à 28%. Les Conifères deviennent dominants. Le Pin sylvestre concurrence peu à peu le Sapin. L'Épicéa reste secondaire. Les feuillus encore nombreux montrent la régression des éléments thermophiles (Chêne, Orme, Aulne) qui deviennent sporadiques. Les Graminées sont dominantes parmi les Herbacées, les Cypéracées restent nombreuses. Cet ensemble traduit une diminution des conditions thermiques mais l'humidité reste forte comme d'indiquent la présence de nombreuses Cypéracées et pollens de Saule.

3.5. Ensemble A

Il se subdivise en quatre unités principales : A2, A'1, A1 et A0. Certaines ont été étudiées sur les coupes Est et Sud-Est.

3.5.1. Sédiments

Dans le sondage S2, il est représenté par les unités 2 à 21 échantillonnées entre 0,84 et 17,40 m. Ses faciès et caractères sédimentologiques (tableau 1, figures 9 et 18) sont identiques à ceux décrits à l'affleurement.

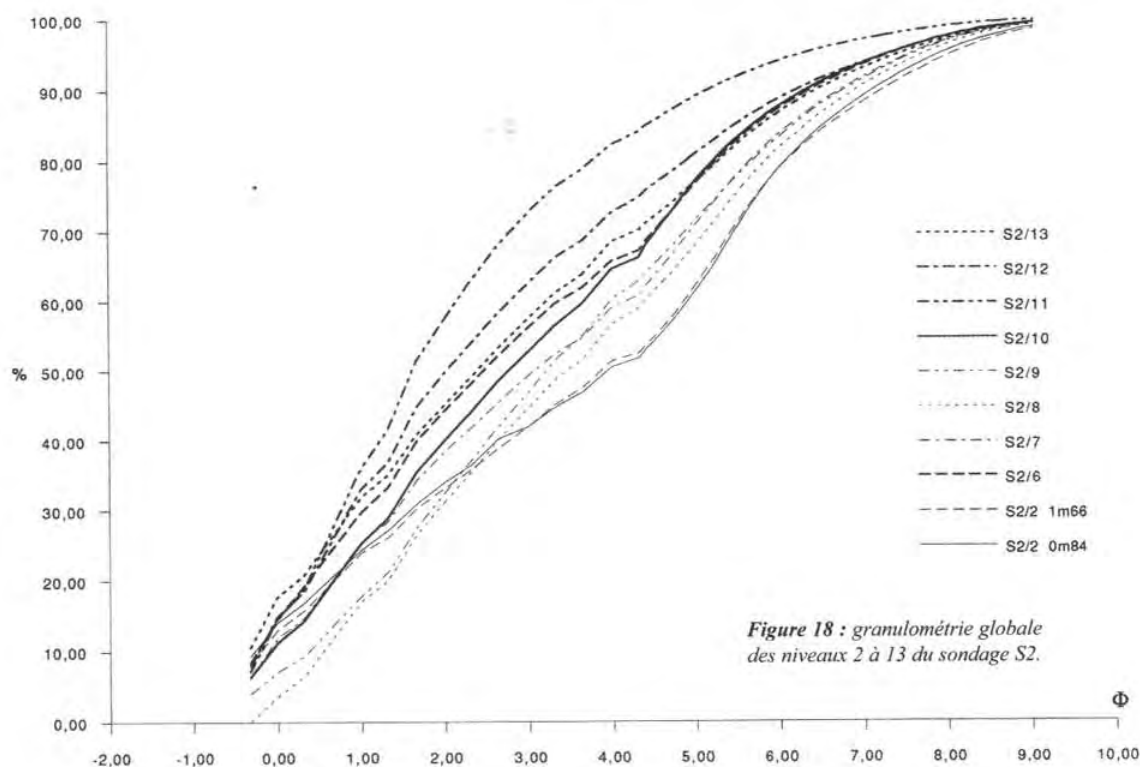


Figure 18 : granulométrie globale des niveaux 2 à 13 du sondage S2.

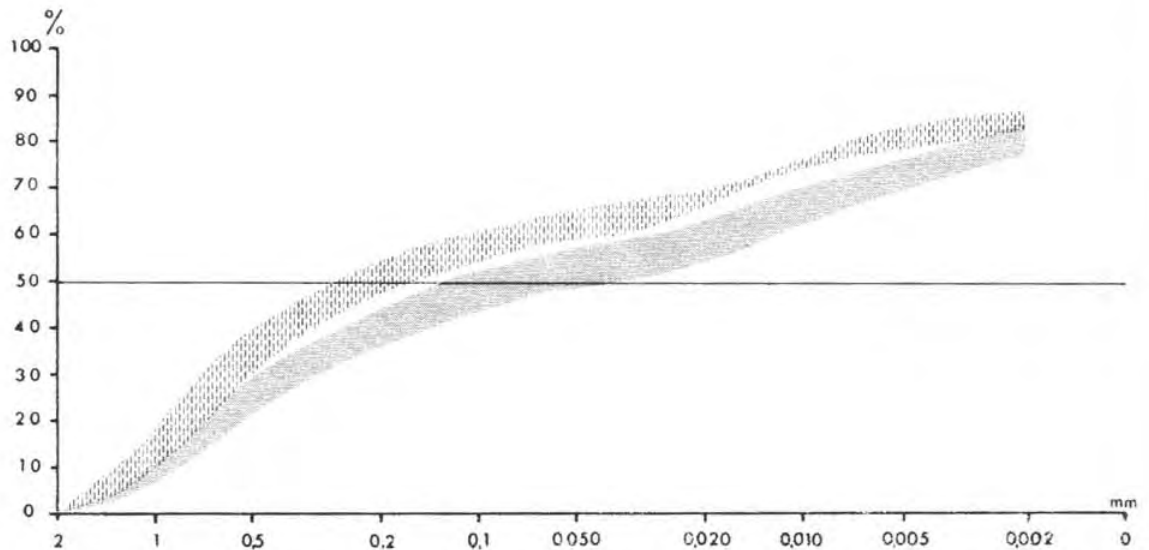


Figure 19 : enveloppes des courbes granulométriques de la fraction fine des ensembles A1 et A'1, Soleilhac-centre.

L'unité A2 est un convoi de blocs dont la «semelle» est constituée exclusivement de fraction fine, sédiments argilo-limoneux très faiblement sableux («argiles» oligocènes remaniées), limono-sablo-argileux et limono-argilo-sableux («argiles» oligocènes et sommet de B1 remaniés), très mal classés (tableau 2). Les courbes cumulatives sont bimodales. Les minéraux argileux sont essentiellement des smectites, un peu d'illite, de kaolinite et d'interstratifiés illite-smectite. Ce type de dépôt implique la mise en place de conditions rigoureuses de nature périglaciaire autorisant la destruction active des abrupts basaltiques environnants et l'établissement d'un pergélisol.

L'unité A'1 est constituée (coupe sud-est) de sables limono-argileux très mal classés. Vers le Nord (coupe est) elle est

limono-sablo-argileuse. Les courbes cumulatives sont à tendance plurimodale (figure 19). Les minéraux argileux appartiennent aux familles des smectites et des illites en proportions équivalentes ; on note également un mélange de kaolinite et de chlorite et la présence d'interstratifiés illite-smectite vers le Nord.

L'unité A1 est formée de sables généralement limono-argileux, parfois argilo-limoneux, très mal classés. Les courbes cumulatives sont plurimodales (figure 20). Le cortège des minéraux argileux est dominé par les illites et smectites, toutes peu abondantes et très mal cristallisées.

Ces deux ensembles témoignent de conditions rhexistasiques postérieures à une amélioration climatique

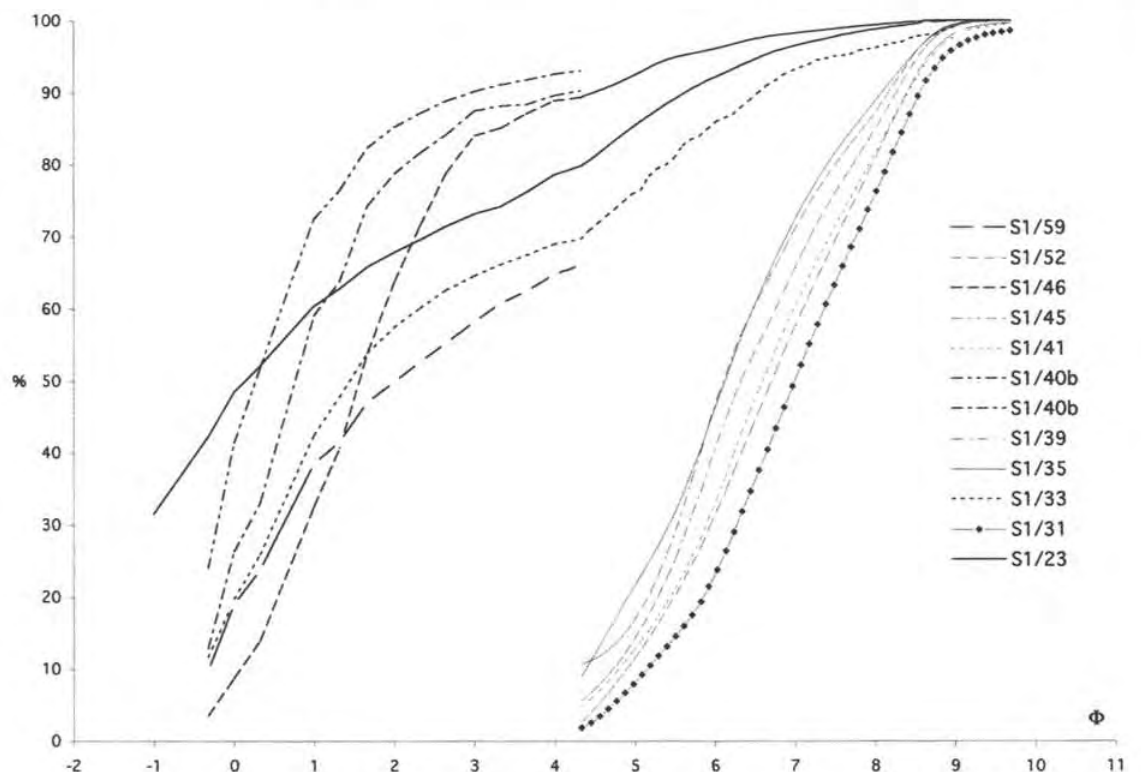


Figure 20 : granulométrie globale des niveaux 23 à 59 du sondage S1.

ayant permis la reconstitution des couvertures pédologiques (paléoandosols). Leur mise en place se fait par colluvionnement et remaniement des couches actives de gélisols saisonniers. La palynoflore indique un paléoclimat de plus en plus froid et relativement sec.

L'unité A0 est un nouveau convoi de blocs reposant sur une «semelle» de texture très fine. Il dénote le retour de conditions rigoureuses périglaciaires.

3.5.2. Contenu pollinique

Les spectres polliniques montrent une évolution vers des conditions de plus en plus froides et surtout beaucoup plus sèches. Les conditions amorcées dans l'ensemble B s'affirment.

Les taux de boisement diminuent nettement (20-22%). Le Pin sylvestre devient l'élément dominant de la flore arbustive avec le Sapin en pourcentages parfois assez notables (5-7%) et l'Epicéa toujours rare. Les feuillus ont presque tous disparu sauf quelques Bouleaux et sporadiquement Saule et Noisetier. La strate herbacée est dominée par les Graminées et les Composées (Artémisia, Tubuliflores, Cichoriées). Les autres types sont tous des Héliophiles (Urticacées, Chenopodiacées, Polygonacées, Crucifères). Il s'agit de la phase la plus froide et la plus sèche de la série. Cependant les conditions ne sont pas extrêmement sèches, aucun type steppique n'est présent sauf Artémisia. Ces flores traduisent l'extension des espaces déboisés et doivent correspondre à la première réelle manifestation d'une glaciation majeure du Pléistocène moyen.

3.5.3. Durée des phénomènes ?

Dans leur ensemble, les dépôts de l'ensemble A appartiennent à la phase tardi-lacustre et traduisent l'instauration de conditions pléni-glaciaires au sein desquelles deux péjorations attestées par la mise en place des convois de blocs encadrent une période moins rigoureuse. En l'absence de datation absolue, il reste difficile d'évaluer la durée de chacune des unités stratigraphiques étudiées, qu'elles expriment de courts moments dont l'enregistrement est localement privilégié ou qu'elles représentent les bilans sédimentaires de périodes très longues.

4. Le sondage S1

Si la partie supérieure des dépôts, jusqu'à 14,40 m de profondeur, représente l'ensemble A identifié à l'affleurement et dans le sondage S2, la partie sous-jacente des dépôts appartient peut être à un équivalent des ensembles D et E...

Entre 16,10 et 27,45m, plusieurs tephras basaltiques pourraient être rapprochés de ceux décrits dans l'ensemble D du sondage S2. Toutefois, la présence d'un téphra ponceux (Cf *supra*, Teulade *op. cit.*) (photos 2, 3 et 4), non enregistré dans le sondage S2, incite à la prudence.

Plusieurs niveaux de puissance variable représentent sans doute des apports pyroclastiques basaltiques provenant de l'environnement éruptif microrégional. Si on élimine les niveaux correspondant à des brèches plus ou moins résistantes, considérées comme des témoins de tuff-ring en place

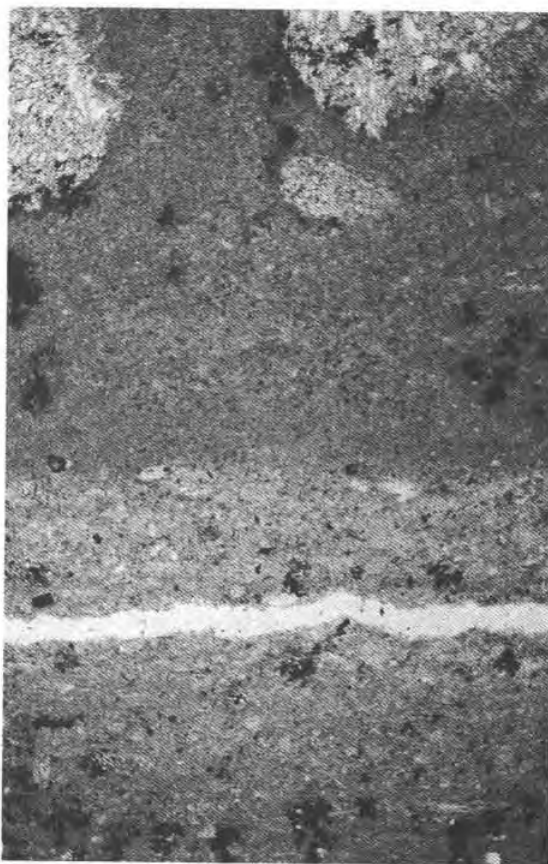


Photo 2 : tephra à magma acide de Soleilhac, éch. Sol S1/49, LN, x40. Accumulation d'échardes vitreuses à la base et niveau à ponces au sommet.

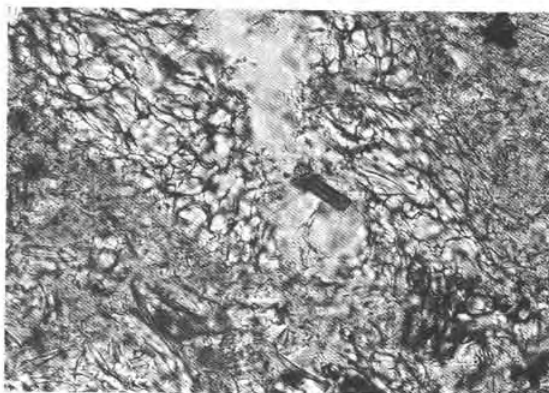


Photo 3 : tephra à magma acide de Soleilhac, éch. Sol S1/49, LN, X 80. Accumulation d'échardes vitreuses des différents types : corps en X, Y et Z, échardes plates, échardes ponceuses bulleuses et/ou fibreuses.

ou remaniés (par exemple les niveaux 21 et 38 du sondage S2), quatre niveaux au moins peuvent correspondre à des tephras basaltiques grossiers : 34, 44B et 57.

4.1. Le niveau 34

Il s'agit d'un niveau épais (0,30 m), étudié en totalité grâce à trois lames minces de grand format. La limite inférieure avec les argiles de 35 est nette, la limite supérieure avec les argiles de 33 est en revanche plus diffuse. Il commence à la base par une lamine sableuse (1 cm d'épaisseur) (photo 5) puis, après une passée millimétrique d'argile, présente une partie médiane grossière (peut-être séparée en deux par une nouvelle passée argileuse, mais cette partie de ca-

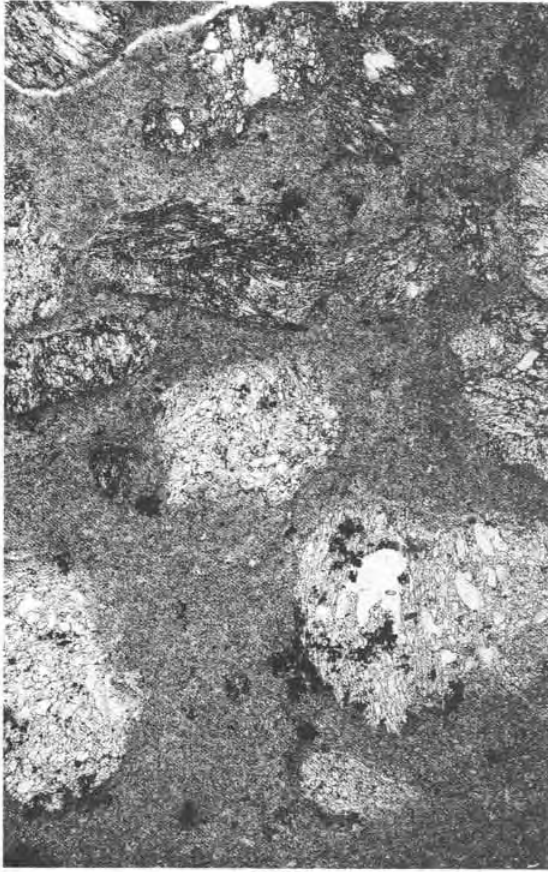


Photo 4 : téphra à magma acide de Soleilhac, éch. Sol 1/49, LN, X 40. Ponce isolée dans les sédiments lacustres fins lités au-dessus du niveau d'accumulation d'échardes vitreuses.

rotte est mal conservée) et une partie sommitale où l'on note une diminution de la taille des grains. Dans l'ensemble du niveau 34, la matrice est argileuse.

L'étude des grains de la partie médiane montre la présence de scories (69 %), de fragments de lave (10 %) et de fragments de socle et/ou de minéraux libres du socle (21 %).

Les scories adoptent des formes arrondies ou anguleuses. Elles sont « fraîches » et non roulées. Leur vésiculation est faible à moyenne (photo 6). Dans une matrice vitreuse noire, on distingue des phénocristaux d'olivine et, en moins grand nombre, de clinopyroxène brun-vert (photo 7). Des microlithes (lattes de plagioclase) sont parfois visibles. Le diamètre maximum des trois plus grosses scories rencontrées dans la lame est de 9 à 10 mm.

Les fragments laviques sont anguleux ou arrondis, de taille comparable à celle des scories. 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 fragments de basalte est contenu dans une scorie.

Les fragments du socle sont représentés par des grains polycristallins (granite à biotite) anguleux dont la taille peut atteindre 10 mm. On trouve également dans la matrice argileuse des minéraux libres (quartz, plagioclase, biotite...) de taille plus réduite. Signalons un grain de brèche pyroclastique.

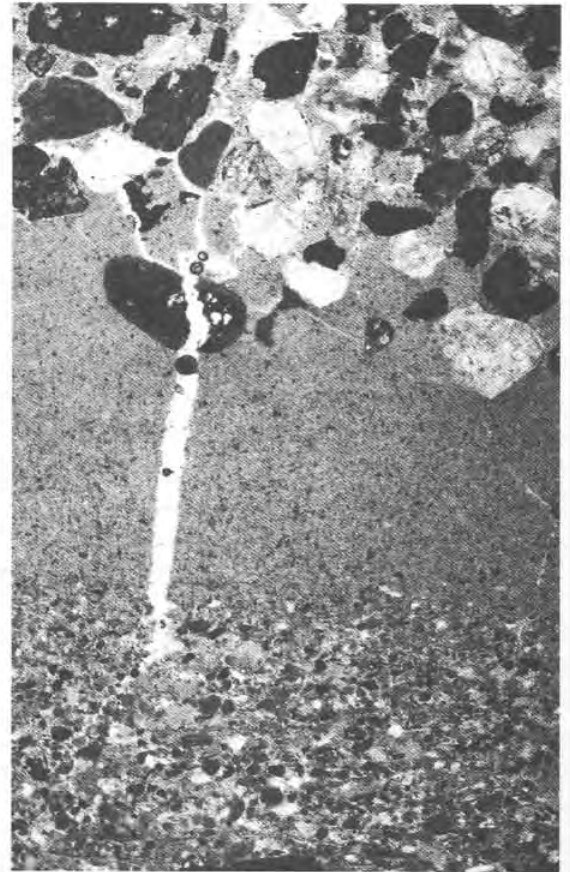


Photo 5 : base d'une retombée à magma basique, éch. Sol S1/34 (base), LN, X 40. Eléments pyroclastiques (scories compactes, minéraux libres, fragments de lave sombre et grains polycristallins) déposés dans un sédiment lacustre fin surmontant un niveau de granulométrie plus grossière dans lequel les éléments d'origine volcanique sont quasi-absents : cette lamine peut représenter un dépôt de blast, témoin d'une explosion phréatomagmatique initiale d'un édifice proche.

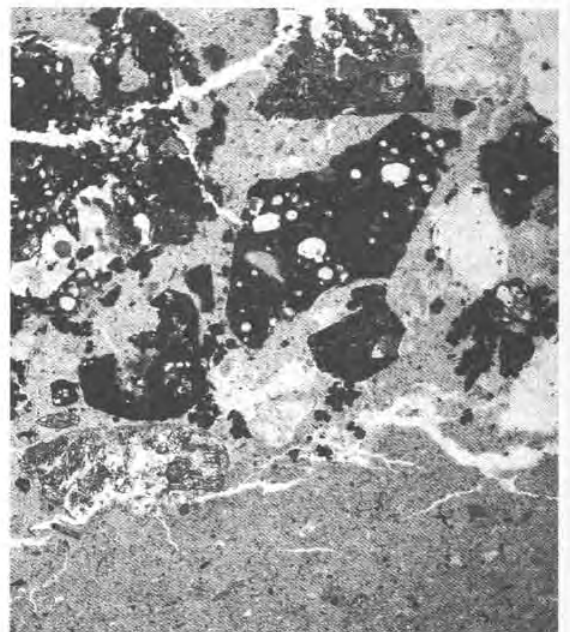


Photo 6 : les constituants des retombées à magma basique rencontrées dans le remplissage lacustre de Soleilhac, éch. Sol S1/34B, LN, 40. Scorie faiblement vésiculée.

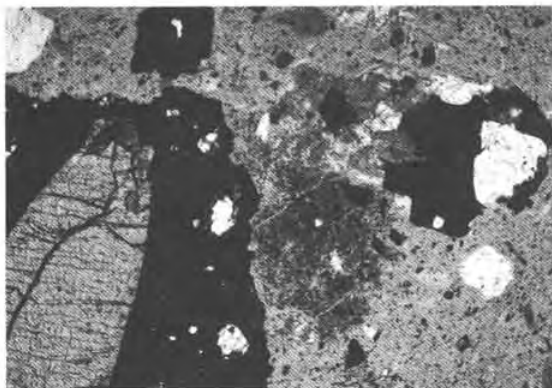


Photo 7 : les constituants des retombées à magma basique rencontrées dans le remplissage lacustre de Soleilhac, éch. Sol S1/34B, LN, X 20. Scorie compacte noire contenant un phénocrystal de clinopyroxène et grain polycristallin anguleux constitué de quartz, feldspath et biotite.

Ce niveau est le témoin d'une éruption à caractère phréatomagmatique qui s'est produite non loin du lac de maar de Soleilhac. Les scories présentes constituent la part de magma juvénile apporté lors de l'éruption alors que les autres fragments sont des xénoclastes. Leur forte proportion (33 %) et le caractère trempé de certaines scories (vésiculation faible, forme anguleuse) sont caractéristiques d'une phase phréatomagmatique. La lamine de base du niveau 34, caractérisée par des fragments de magma juvénile non vésiculés et aux formes anguleuses marquées, une proportion des xénoclastes plus importante et une granulométrie fine, serait le témoin d'une phase explosive initiale plus violente (blast).

4.2 - LE NIVEAU 44

Il s'agit d'un niveau homogène sableux donc l'épaisseur conservée sur la lame mince est de deux centimètres. Sa limite inférieure avec les silts argileux de 45 est nette, sa limite supérieure en revanche n'a pas pu être observée (manque lors de l'échantillonnage de la carotte).

Dans une matrice argileuse, on note la présence de scories (31 %), de fragments de lave (16 %) et de fragments de socle (52 %).

Les scories sont en tous points semblables à celles rencontrées dans le niveau 34. Le diamètre maximum des trois plus grosses scories rencontrées dans la lame est de 2,7 à 3 mm.

Les fragments laviques sont anguleux ou arrondis, de taille un peu inférieure à celle des scories. Il s'agit d'un basalte à phénocristaux d'olivine, identique à celui déjà décrit dans le niveau 34.

Les fragments du socle sont représentés par des grains polycristallins anguleux (granite à biotite). Les minéraux libres (feldspath, quartz, biotite) sont nombreux. On note également la présence d'une ponce fibreuse.

Ce niveau représente un apport de matériel pyroclastique lors d'une éruption phréatomagmatique. Cet apport est cependant légèrement remanié, comme le montre l'incorporation de ponces provenant des téphras 42 et/ou 49 qui encadrent le niveau étudié.

4.3. Le niveau 59

Il s'agit d'un niveau de 4,7 cm d'épaisseur présentant un net granoclassement normal. Sa limite inférieure est nette avec les silts de 60 alors que l'on observe à son sommet un passage progressif avec les silts de 58.

Dans une matrice argileuse, on note la présence de scories (49 %), de fragments de lave (15 %) et de fragments de socle (36 %).

Les scories adoptent des formes anguleuses. Elles sont « fraîches » et non roulées. Leur vésiculation est faible à moyenne. Dans une matrice vitreuse noire, on distingue des phénocristaux d'olivine et de clinopyroxène brun-vert. Le clinopyroxène est plus abondant que dans les autres niveaux. Le diamètre maximum des trois plus grosses scories rencontrées dans la lame est de 5 à 7 mm. Certaines contiennent des xénoclastes de socle.

Les fragments laviques sont anguleux ou arrondis, de taille légèrement inférieure à celle des scories (maximum 4 mm). Il s'agit d'une lave grise (basalte) constituée d'une pâte riche en microlithes (lattes de plagioclase, pyroxène, olivine et magnétite), à la vésiculation faible à nulle, contenant des phénocristaux d'olivine, de clinopyroxène brun-vert et d'amphibole brune.

Les fragments de socle sont représentés par des grains polycristallins (granite à biotite) anguleux pouvant atteindre des dimensions importantes (14 mm). Les minéraux libres (feldspath, quartz, biotite) sont nombreux.

Ce niveau représente un apport de matériel pyroclastique provenant d'une éruption phréatomagmatique. 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 de lave et gros fragments de socle) sédimentent en premier. Les fragments plus fins décantent moins vite et se retrouvent au sommet du niveau. 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. Certains grains portent un fin revêtement cendreuse représentant un stade initial d'accrétion. Cette structure en pseudo-sable (ou en stade initial de lapilli accrétionné armé) se rencontre fréquemment dans les dépôts d'éruptions phréatomagmatiques (déferlantes, coulées pyroclastiques et retombées).

5. Conclusions

Les formations de l'anneau détritique et du péri-lac de Soleilhac se sont déposées pendant les phases pléni et tardi-lacustres.

La sédimentation lacustre *sensu stricto* a enregistré des apports volcaniques lointains (ponces) ou locaux (principalement phréatomagmatiques basaltiques) et a été perturbée par des glissements de panneaux du diatrème du maar ainsi que par des apports en bordure de lac.

Dans la partie supérieure de l'anneau détritique, l'ensemble D livre des palynoflores qui évoquent la fin d'un optimum thermique (interglaciaire majeur) avec instauration

de conditions fraîches très humides. Le contenu pollinique de l'ensemble C indiquerait un retour à des conditions plus douces ; celui de l'ensemble B montre pour sa part une dégradation climatique progressive aboutissant à la première phase réellement sévère d'une glaciation exprimée par les dépôts de l'ensemble A.

On retiendra qu'au sein de conditions interglaciaires, une phase plus fraîche et très humide représente le signal de la dégradation climatique ; on observe ensuite l'installation de conditions de plus en plus fraîches et toujours très humides puis, après franchissement d'un seuil, l'instauration d'un pléni-glaciaire globalement froid et sec : cette évolution caractérise le début d'un stade glaciaire du Pléistocène moyen.

L'occupation humaine des bords du lac intervient pendant les conditions climatiques favorables enregistrées dans l'ensemble C. En l'absence de datation directe, les éléments d'appréciation divergents apportés tant par les fau-

nes que le paléomagnétisme et les téphras, ne permettent pas de proposer un âge précis pour cette séquence et interdisent tout essai de corrélation avec la chronologie isotopique.

Remerciements

à Christian Carruesco et Georges Calise pour les analyses d'argiles, Mosshine El Graoui pour la fabrication des lames minces des carottes, Marie-Agnès Courty et Geneviève Papy pour leur concours aux analyses granulométriques, Marianne Raynal pour les illustrations, Nicolas Fedoroff pour l'accueil à l'atelier de fabrication de lames minces de l'INA-Paris-Grignon. Les travaux de terrain et de laboratoire ont été financés par l'Institut de Préhistoire et de Géologie du Quaternaire de l'Université de Bordeaux I (URA 133 puis UMR 9933 CNRS), le Ministère de la Culture, la Région Aquitaine dans le cadre du projet *Espaces volcaniques préhistoriques* et le GDR 1122 CNRS *Hommes et Volcans avant l'Histoire*.

Références

- BARSCH D. 1996 - *Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments*. Springer Ed., 1996, Berlin, 331 p.
- BONIFAY E. 1980 - Circonscription d'Auvergne. Informations archéologiques. in *Gallia Préhistoire*, 1980, T. 23, fasc. 2, 1981, p. 337-358.
- BONIFAY E., BONIFAY M.F. 1983 - Le Paléolithique ancien en Velay et Auvergne : civilisations préhistoriques et milieu naturel. in *Les inédits de la Préhistoire auvergnate*, 1983, Clermont, Musée Bargoin, p. 91-104.
- BONIFAY E., BONIFAY M.F., PANATTONI R., TIERCELIN J.J. 1976 - Soleilhac Blanzac, Haute-Loire nouveau site préhistorique du début du Pléistocène moyen. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 1976, tome 73, Etudes et Travaux, p. 293-304.
- BONIFAY E., MERGOIL 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, p. 1561-1566.
- BONIFAY E., TIERCELIN J.J. 1977 - Existence d'une activité volcanique et tectonique au début du Pléistocène moyen dans le bassin du Puy Haute-Loire. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 1977, t. 284, série D, p. 2455-2457.
- BONIFAY E., TRUZE E. 1984a - Lacs et paléolacs du Velay Massif Central français. *10 è R.A.S.T.*, Bordeaux, 1984, S.G.F. Ed., p. 72.
- BONIFAY E., TRUZE E. 1984b - Structures et dynamique sédimentaire dans les lacs de maars : l'exemple du Velay Massif Central français. *5 è Congrès Européen de Sédimentologie*, Marseille, 1984, Résumés, p. 68-69.
- BOULE M. 1892 - *Description géologique du Velay*. Bulletin des services de la Carte Géologique de France et des topographies souterraines, 1892, vol. 4, n°28, 259 p.
- BOUT P. 1958 - Anciens deltas lacustres de la Haute-Loire et des départements proches. *Bulletin de la Société Académique du Puy et de la Haute-Loire*, 1958, t. XXXVII, p. 187-188.
- BOUT P. 1960 - *Le Villafranchien du Velay et du bassin hydrographique moyen et supérieur de l'Allier*. Thèse, Imprimerie Jeanne d'Arc, 1960, Le Puy-en-Velay.
- BOUT P. 1970 - Maars et cones de scories d'Auvergne et du Velay. *Revue d'Auvergne*, 170, t. 84, n°1, p. 29-42.
- Bout P. 1973 - *Les volcans du Velay*. Watel, 1973, Brioude, 287 p.
- BOUT P. 1978 - Problèmes du volcanisme en Auvergne et Velay. Watel, 1978, Brioude, 326 p.
- BOUT P., BROUSSE R. 1969 - *Livret-guide de l'excursion C 13 Auvergne-Velay*. Union Internationale pour l'Etude du Quaternaire, VIII Congrès INQUA, 1969, Paris, 87 p.
- BULLOCK P., FEDOROFF N., JONGERIUS A., STOOPS G., TURSINA T. 1985 - *Handbook for Soil Thin Section Description*. Waine Research Publications, 1985, Wolverhampton, 152 p.
- CANTAGREL J.M., BAUBRON J.C. 1983 - Chronologie des éruptions dans le massif volcanique des Monts Dore : implications volcanologiques. *Géologie de la France* 2 I, 1983, 1 2, 123-142.
- CAS R.A.F., WRIGHT J.V. 1992 - *Volcanic successions. Modern and ancient*. Chapman & Hall, 1992, London, 528 p.
- EVANS D.J.A. Ed. 1994 - *Cold Climate Landforms*. Wiley, Chichester, 1994, 526 p.
- FISCHER R.V., SCHMINCKE H.U. 1984 - *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag, 1984, Berlin, 472 p.
- FOURIS M., CANTAGREL J.M., MERGOIL J., POIDEVIN J.L. 1986 - Géochronologie absolue et faunes plio-quaternaires du Velay Massif Central, France. *11 è Réunion des Sciences de la Terre*, Clermont, 1986, Société Géologique de France Ed., p. 69.

- GUILLORE P. 1985 - *Méthode de fabrication mécanique et en série des lames minces*. Document ronéoté Institut National Agronomique Paris-Grignon, 1985, Département des sols, 22 p.
- HEIKEN G.H. 1972 - Morphology and petrography of volcanic ashes. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1972, 83, 1961-1988.
- INMAN D.L. 1952 - Measures for describing the size distribution of sediments. *J. Sed. Petrol.*, 1952, 22, 125-145.
- JULIEN M. 1886 - in *Annuaire du Club Alpin*, 1886, p. 602.
- LAJOIE J., STIX J. 1992 - Volcaniclastic Rocks. in *Walker and James Ed., Faciès Models: response to sea level change*, Geological Association of Canada, 1992, 101-118.
- 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 xenocrystic contamination. *Chem. Geol. Isot. geosci. Sect.*, 1987, 66, 61-71.
- LORENZ V. 1974 - Vesiculated tuffs and associated features. *Sedimentology*, 1974, 21, 273-291.
- MERGOIL J., BOIVIN P., CAMUS G., GOER DE HERVE A. De, GOURGAUD A., KIEFFER G., VINCENT P. 1979 - Le maar, site paléontologique privilégié en contexte volcanique. 7 è R.A.S.T., 1979, Lyon, Société Géologique de France éd., p. 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 T. 1991 - *Datation par thermoluminescence. Application à la chronologie des retombées volcaniques*. Thèse de l'Université de Clermont II, 1991, DU345, 164 p.
- RAYNAL J.P. 1987 - Evolution comparée de lacs de maars en Auvergne et en Velay France: datation et contribution à la connaissance des climats pléistocènes. *Documents du C.E.R.L.A.T.*, 1987, Mémoire N°1, 65-96.
- RAYNAL J.P., DAUGAS J.P., PAQUEREAU M.M., GUADELLI J.L., MARCHIANTI D., MIALLIER D., FAIN J., SANZELLE S. 1984 - Le maar de Saint-Hippolyte Puy-de-Dôme, France. Datation par thermoluminescence, flores et faunes fossiles, présence humaine, climatochronologie et dynamique du système paléolacustre. *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, 1984, vol. 50, fasc. 1-2-3-4, p. 97-114.
- READING H.G. 1986 - *Sedimentary environments and faciès*, Oxford, Blackwell Sci. Pub., 1986, 615 p.
- REINECK H.E., SINGH I.B. 1980- *Depositional Sedimentary Environments*. Springer Verlag Ed., 1980, Berlin, 551 p.
- 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 - *Étude téphrologique de formations lacustres de maars du Velay occidental*. DEA, Université d'Aix-Marseille II, 1985, 72 p.
- TEULADE A. 1988 - Les tephra 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.
- THOUVENY N. 1983 - *Étude paléomagnétique de formations du Plio-pléistocène et de l'Holocène du Massif central et de ses abords*. Thèse de troisième cycle, Université d'Aix-Marseille II, 1983, 132 p., 93 fig., 34 tabl.
- THOUVENY N., BONIFAY E. 1984 - New chronological data on European Plio-Pleistocene faunas and hominid occupation sites. *Nature*, 1984, 308, n° 5957, 355-358.
- 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 I, 1992, n° 724, 335 p.
- VERNET G., RAYNAL J.P., LEFEVRE D., KIEFFER G. 1999 - Téphras distales dans les dépôts du Pléistocène moyen de Venosa Basilicata, Italie. in *Notarchirico. Un sito del Pleistocene medio iniziale nel bacino di Venosa*, Ed. Osanna, Venosa, 207-233.
- WALKER R.G., JAMES N.P. 1992 - *Faciès Models: response to sea level change*. Geological Association of Canada Ed., 454 p.
- WALKER G.P.L. 1971 - Grainsize characteristics of pyroclastic deposits. *Journal of Geology*, 1971, 79, 696-714.