

LE LAACHER, UN SUPER VOLCAN QUI MENACE L'EUROPE ?

Compte rendu de l'excursion géologique de la Commission de volcanisme de la SAGA dans l'Eifel, effectuée du vendredi 30 septembre au lundi 3 octobre 2016, par l'« équipe du Wingerstbergwand » composée de Francis Nouyrigat, Hélène Pouchelle, Jackie André, et Daniel Levert qui en a assuré la rédaction.



Figure 1. Les membres participants (en tenue de travail !) à l'excursion de la Commission de volcanisme de la SAGA, conduite par Dominique Rossier (à l'arrière-centre).

Le site du *Daily Mail* évoquait sérieusement il y a quelques années cette menace planant sur l'Europe et que redouteraient les volcanologues. Cette annonce journalistique infondée a cependant été reprise de nombreuses fois par d'autres journaux réputés. Les géologues savent que la dernière éruption de ce volcan à l'emplacement du *Laacher See*, situé à moins de dix kilomètres de Cologne, a eu lieu il y a 13 000 ans et a été à l'origine de dégâts considérables en Europe.

Cependant, le groupe de la Commission de volcanisme de la SAGA (figure 1), sous la conduite de Dominique Rossier, et guidé par Wolfgang Kostka, garde moniteur du Geopark de l'Eifel oriental, s'est rendue sur place sans aucune inquiétude mais avec une volonté farouche de mieux comprendre ce que fut

l'éruption du volcan Laacher en étudiant les produits de son éruption accumulés dans son proche voisinage sur des dizaines de mètres d'épaisseur.

Les strates de ses cendres ont été magnifiquement mises en évidence par l'exploitation d'une grande carrière dans cette téphra (1) qui a laissé deux murs monumentaux disposés orthogonalement, l'un de 120 m de long et l'autre de plus de 300 m de long dont la hauteur atteint plus de 30 m par endroit, c'est le **Wingertsbergwand** (figure 2).

Ces murs sont aujourd'hui un spot mondial pour l'étude des émissions pliniennes car nous allons voir que le Laacher exprima un puissant volcanisme phréato-plinien, il n'y a pas si longtemps, au cœur même de l'Europe.

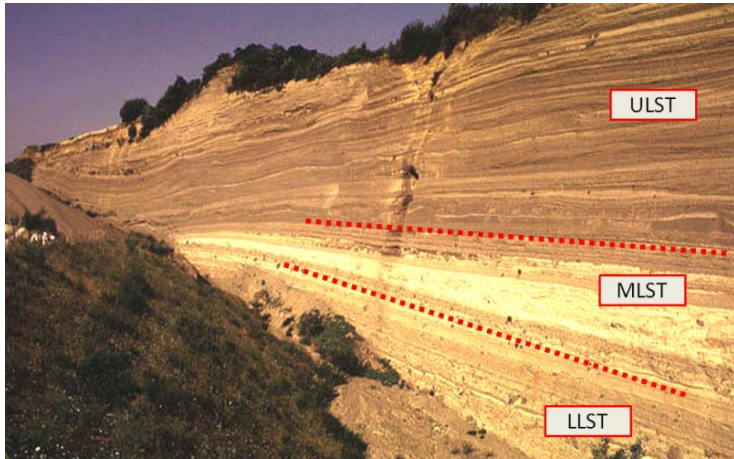


Figure 2. Le mur B de la téphra du Wingertsbergwand et ses subdivisions nécessaires à l'étude du volcanisme du Laacher. Photo ancienne de Paul van den Bogaard (1995).

La Commission de volcanisme de la SAGA, outre le Laacher dont nous parlons ici, a aussi visité différents volcans de l'Eifel oriental et occidental, en bordure de la Rhénanie. Cette région mal connue en France, et dont les paysages sont très différents, mérite pourtant d'être rapprochée du Massif central à plusieurs titres.

L'ensemble constitue en effet au niveau mondial un exceptionnel exemple d'émissions volcaniques intra-plaques parmi les mieux étudiées. Son volcanisme a été déclenché par la collision alpine : il est donc relativement récent. Les émissions volcaniques ont de plus été très nombreuses, les dernières ne datant que de 20 000 à 10 000 ans. Il s'agit donc bien de volcanisme quaternaire simplement endormi et non définitivement éteint.

Les études en cours sur les mécanismes géologiques qui en sont à l'origine rapprochent encore plus l'ensemble de la région de l'Eifel de l'ensemble de la région de la Chaîne des Puys, en Auvergne. Elles ont abouti à la mise en évidence de zones supérieures de la croûte terrestre anormalement chaudes et très semblables mais cependant géographiquement totalement distinctes de la Chaîne des Puys, ce qui exclut la possibilité classique d'un point chaud provenant du manteau profond.

Les paysages de l'Eifel présentent en conséquence de nombreuses et importantes zones de téphra, dépôts de projections stromboliennes ou pliniennes, particulièrement bien mises en valeur par l'exploitation de carrières et la préservation de leurs multiples fronts de taille.

Les observations de ces surprenants fronts d'exploitation de carrières aux strates bigarrées, véritable mémoire du déroulement des diverses éruptions dans leur voisinage, a donc constitué la part majeure du temps de nos visites. Ce fut évidemment particulièrement le cas de la carrière dans la téphra du Laacher au lieu dit *Wingertsbergwand* qui est présentée ici.

Situation géographique

Notre « spot » géologique du *Wingertsbergwand* se situe (figure 3) à environ 8 km du Rhin et à 10 km de Coblenche. La trace la plus visible de l'éruption du Laacher est aujourd'hui un lac, le *Laacher See* (lac de Laach) qui marque sans ambiguïté le centre éruptif du volcan. C'est un lac peu profond, de 53 m au plus, et grossièrement ovoïde d'axes voisins de 2,25 km et 1,50 km, pour une superficie de 3,33 km².

Notre zone d'étude du *Wingertsbergwand* est distante de 1 500 m de ce lac, et nous nous posons déjà certaines questions : pourquoi une forme grossièrement ovoïde ? Pourquoi si peu de profondeur ? Ce lac se loge-t-il dans un maar, une caldeira... ou autre chose ?

Nous avons l'intime conviction que notre mur du *Wingertsbergwand*, certes assez rébarbatif de prime abord, ne restera pas muet et qu'il nous racontera la vie de ce volcan ! Mais c'est à nous de faire l'effort d'observer, d'analyser et bien entendu de nous appuyer sur les études d'éminents géologues, tels notamment les professeurs Hans-Ulrich Schmincke et Paul Van Den Bogaard.



Figure 3. Situation du mur du Wingertsbergwand, près du Laacher See, non loin du Rhin et des villes de Coblenche et de Mendig. (Google earth).

Contexte géologique

Ce volcanisme régional résulte d'un contrecoup de l'orogénèse alpine (figure 4) débutée il y a 60 millions d'années (Ma). L'ouverture et le comblement des grands rifts européens associés à l'orogénèse n'a commencé qu'au début de l'Oligocène, vers – 33 Ma. Ensuite ces grandes plaines sédimentaires : graben de Limagne, graben du Rhin, fossé d'Eiger, en Bohême, ont généralement été bordées au début de l'Oligocène, il y a 23 Ma, par un volcanisme intra-plaque quasi simultané qui s'est positionné sur les horsts. Au milieu du Pléistocène, il y a un million d'années, le horst du massif rhénan s'est soulevé à nouveau, ce qui

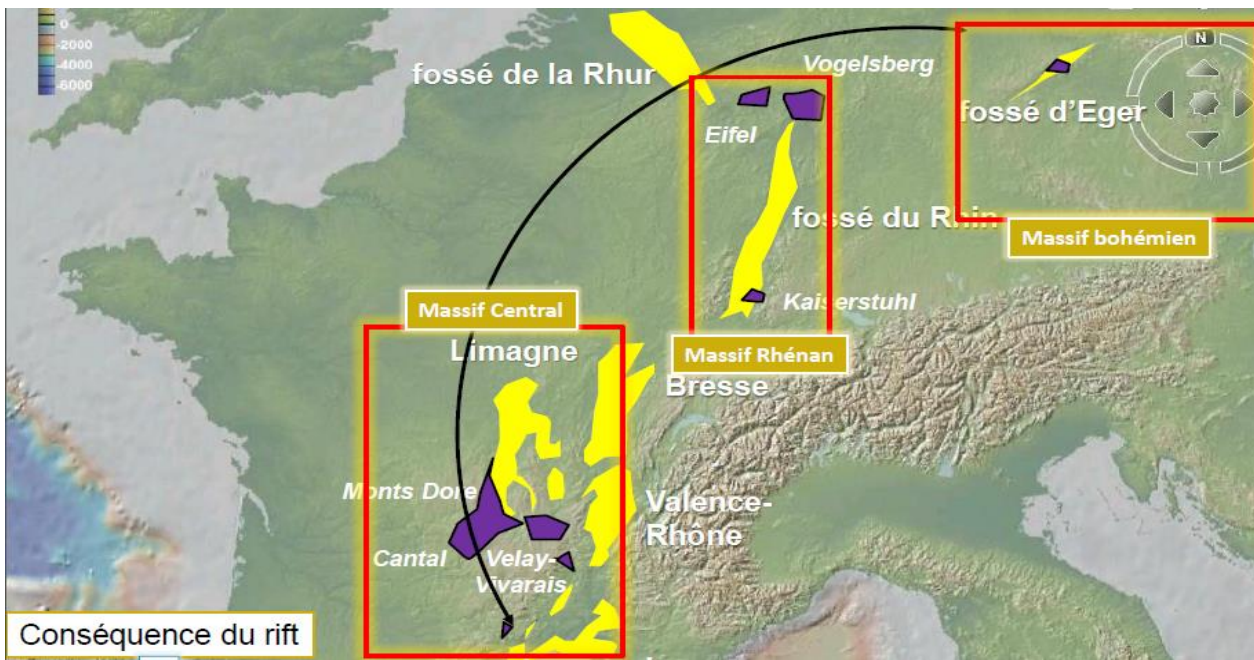


Figure 4. Orogenèse alpine et ses conséquences : rifting, grabens comblés de sédiments et horsts volcaniques.

a déclenché le volcanisme de l'Eifel ; cette activité n'est qu'en veille aujourd'hui et seul le tempo géologique nous laisse croire que l'activité volcanique a pris fin.

L'orogène alpin, dans sa formation qui perdure, a entraîné l'ouverture des grabens avec pour conséquence une réduction d'épaisseur de la croûte terrestre et de la lithosphère, ce qui a causé la remontée tant mécanique que diapirique de l'asthénosphère. La poussée de l'asthénosphère lithosphérique a ainsi relevé la croûte terrestre amincie qui s'est faillée en offrant un cheminement possible pour des magmas volcaniques stockés généralement au niveau du Moho, à l'interface de la croûte et de l'asthénosphère lithosphérique. Ces magmas à l'origine basaltiques, en traversant la croûte terrestre, subissent une différenciation chimique par cristallisation fractionnée et prennent ainsi des compositions et des propriétés diversifiées.

Comprendre l'éruption du Laacher : examen de la pétrologie de la téphra dans le faciès de Mendig

Pour comprendre l'éruption du Laacher, nous avons sous nos yeux la téphra du volcan dans le faciès de Mendig, au lieu dit *Wingertsbergwand*, et nous avons observé ces deux « grands livres » qui racontent l'histoire de l'activité volcanique : le mur A et le mur B (figures 5).

La lecture des pages de ces grands livres ne nous est pas aisée car nous regardons ce livre par la tranche, nous voyons donc l'empilement des pages et non pas les pages elles-mêmes !



Figures 5. Vues partielles des mur A et mur B. Le mur A montre les dépôts d'écoulement des cendres volcaniques circulant de la gauche vers la droite. Le mur B montre ces mêmes dépôts s'écoulant vers l'observateur. On remarque des figures complexes que dessinent les strates, ou lamines, qui composent ces dépôts de produits volcaniques. (Photos D. Levert).

En approchant du mur A, et en regardant les roches qui le composent, nous avons vite compris que les produits volcaniques étaient essentiellement composés de lave phonolitique extrêmement fragmentée ou au mieux sous forme de lapillis et ponce phonolitiques (figures 6). Ceci était pour nous un indice net d'éruption violente d'un magma très évolué.



Figures 6. Mur A : vue partielle de l'imposante tephra, en haut, et ses lamines de cendres et de lapillis, ci-dessus.

Les prélèvements effectués sur le mur A

Nous avons prélevé et examiné, dans et au pied du mur A, des échantillons pétrologiques qui sont autant d'indices très utiles.

(Voir les résultats de l'examen de cette douzaine de prélèvements en page 10).

Figures 7. Inventaire de nos prélèvements examinés sur lesquels s'appuie ce rapport.





Prélèvement A : lapilli de phonolite sombre chargée de phénocristaux (bouillie). À la loupe, on distingue notamment les phénocristaux de sanidine qui sont la signature d'un magma très évolué, et des cristaux de biotite. Nous n'avons pas trouvé de cristaux d'haüyne bien qu'elle soit connue dans ces conditions.

Prélèvement B : haüyne feldspathoïde du Laacher, typique des magmas différenciés hyper alcalins (Na et K), du volcanisme intra-plaque. La photo a été prise par l'un d'entre nous au musée géologique de Mendig (base de la photo : 2 cm).

Prélèvement C : lapilli très sombre de basanite laissant voir des phénocristaux d'olivine et de pyroxène.

Prélèvement D : recherche de haüyne, variété gemme, par des minéralogistes suisses, dans les strates de lapilli à bouillie de phénocristaux.

Prélèvement E : lapilli de basanite secondaire altérée (couleur rouille d'oxydation du fer) laissant voir des phénocristaux d'olivine et de pyroxène.

Prélèvement F : lapilli de ponce phonolitique très vésiculée par la libération des gaz H₂O et CO₂.

Prélèvement G : lapilli compact et dur de fragments soudés de phonolite, inclusions de fines brèches d'ardoise (ignimbrite soudée).

Prélèvement H : cendres cimentées (présence d'eau ?) de phonolite (ignimbrite non soudée ?).

Prélèvement I : Wolfgang Kostka nous montre, au pied du mur B, un bloc taillé d'ignimbrite soudée de phonolite.

Prélèvement J : détail de l'ignimbrite soudée ; on note des micros brèches de schiste dévonien (ardoise), de basalte et d'argile fritté, dans une matrice compacte phonolitique.

Prélèvement K : xénolite balistique de schiste arraché au socle dévonien local (ardoise).

Prélèvement L : xénolite balistique de roche métamorphique du socle (gneiss).

Que pouvons-nous conclure de ces premières observations pétrologiques ?

Les différentes phases d'éruption ont été d'une extrême violence, au point de briser finement les roches du socle (figure 7, prélèvements K et L) et de fragmenter le magma en fines particules pâteuses très chaudes qui, en retombant, ont formé des ignimbrites soudées (figure 7, prélèvements G, I et J) essentiellement phonolitiques et des lapillis phonolitiques non vésiculés (figure 7, prélèvement H).

Certaines fractions du magma n'ont pas complètement fragmenté et nous les retrouvons sous forme de ponces phonolitiques résultant de la libération des gaz contenus (figure 7, prélèvement F).

Ce qui avait attiré de prime abord notre attention, et qu'il s'avère important de noter, est le dégradé des gris des strates de dépôts particulièrement bien visible sur la figure 2. Ce dégradé traduit un changement séquentiel et progressif dans la composition chimique de la lave émise. Les géologues allemands ont été en mesure de définir des groupes de lamines correspondant à des périodes éruptives de natures différentes. Ces groupes de lamines ont été désignés **LLST** pour *Lower Laacher See Tephra*, **MLST** pour *Medium Laacher See Tephra*, et **ULST** pour *Upper Laacher See Tephra* :

- les **LLST** ont été émis les premiers et se retrouvent en partie basse du mur (*Lower*) ;
- les **MLST** ont été émis ensuite et se retrouvent en sandwich au milieu (*Medium*) ;
- les **ULST** ont été émis les derniers et se retrouvent donc en partie haute du mur (*Upper*).

Nous avons aussi noté que les ULST sont bien plus sombres que les LLST. Cette variation de gris traduit donc bien la variation de la composition chimique qui s'était établi dans la chambre magmatique et que nos prélèvements semblaient bien nous indiquer. La lave sombre primaire, un basalte ou une basanite, a connu une cristallisation fractionnée progressive, avec formation des cristaux ferromagnésiens qui captent le fer et le magnésium sous forme de cristaux d'olivine et de pyroxène.

Le magma s'enrichi en silice et s'acidifie (figure 8). Le magma est alors de plus en plus clair et il est devenu un magma phonolitique plus visqueux que le basalte d'origine (figure 9).

LST STAGE		LLST	LLST	MLST	MLST	MLST
Sample No		1002	1017	1034	1044	1050
Stratigraphic stage		LLSTa	LLSTf	Stage II	Stage VII	stage X
SiO ₂	wt%	56.64	58.48	59.52	59.72	59.62
TiO ₂	wt%	0.12	0.17	0.28	0.48	0.61
Al ₂ O ₃	wt%	20.93	21.59	20.60	20.05	19.84
Fe ₂ O ₃	wt%	1.87	1.36	1.55	1.77	1.76
FeO	wt%	0.49	0.39	0.62	0.98	1.14
MnO	wt%	0.53	0.09	0.22	0.19	0.14
MgO	wt%	0.23	0.12	0.19	0.32	0.44
CaO	wt%	1.15	0.89	1.45	1.88	2.38
Na ₂ O	wt%	12.18	11.11	8.90	7.62	6.72
K ₂ O	wt%	5.83	5.76	6.62	6.89	7.23

Figure 8. Quelques analyses des LLST et MLST qui montrent la tendance à l'enrichissement en SiO₄ de la lave en raison de la cristallisation fractionnée des ferromagnésiens.

La cristallisation fractionnée a laissé dans le magma le sodium (Na) et le potassium (K) ce qui est favorable à la formation des feldspathoïdes. La composition chimique de cette lave différenciée, ainsi estimée, permet de la positionner dans le domaine des téphrites-basanites du diagramme QAPF de Streckeis. Ceci est confirmé par l'observation dans nos lapillis de la présence d'un feldspathoïde : l'haüyne, d'un beau bleu cobalt (figure 7, prélèvement B).

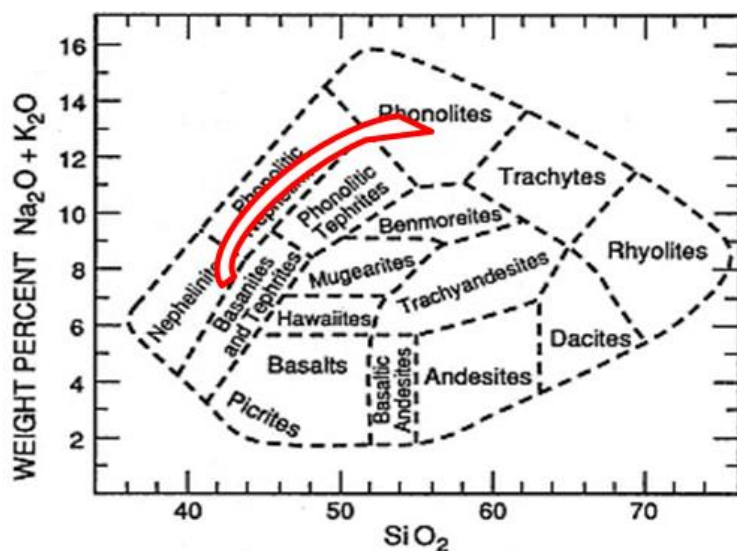


Figure 9. Évolution progressive vers la phonolite, dans le diagramme TAS, des groupes de lames LLST, MLST et ULST en raison de leur chimisme.

Cette variation de gris que l'on observe bien dans le mur B correspond à la variation chimique du magma. Lors de la vidange de la chambre magmatique, sont sortis en premier des magmas différenciés phonolitiques clairs du haut de la chambre (LLST), puis des magmas intermédiaires (MLST), et enfin des magmas faiblement différenciés sombres du fond de la chambre (ULST). Les lapillis résultant de ces magmas ULST contiennent d'ailleurs souvent une bouillie de cristaux (figure 7, prélèvement A) qui avaient décanté principalement au fond de la chambre. Ceci nous permet de confirmer que la chambre magmatique du Laacher était bien chimiquement zonée.

Nous avons aussi trouvé un petit bloc de basanite secondaire (figure 7, prélèvement E) car il a englobé d'abondants phénocristaux provenant nécessairement des cristaux de décantation de fond de chambre consécutifs à la cristallisation fractionnée dans la basanite primaire. Cette bouillie particulière dans la basanite secondaire n'est pas impensable, d'après Hans-Ulrich Schmincke, qui admet qu'à la fin de la vidange de la chambre magmatique des arrivées « fraîches » de basanite secondaire ont participé aux émissions finales de lave.

Par l'étude fine de la pétrologie de la tephra, Schmincke (2000) a pu réaliser le schéma interprétatif

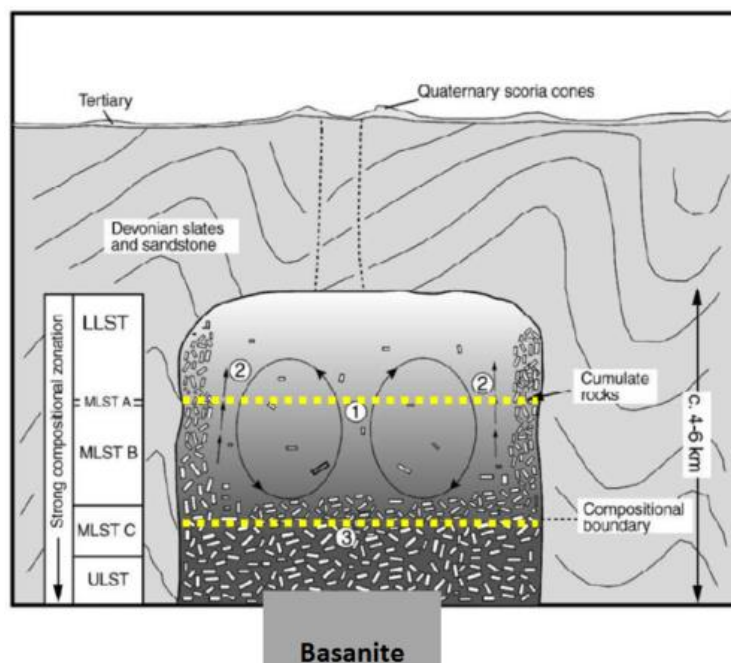


Figure 10. Schéma interprétatif de la chambre magmatique fortement zonée du Laacher avec, en haut, une phonolite claire évoluée (LLST) et, à la base, une phonolite moins évoluée sombre riche en phénocristaux (ULST). (D'après Hans-Ulrich Schmincke, 2000).

de la chambre magmatique et ainsi préciser l'origine des trois groupes de lames. Ces groupes ont été aussi subdivisés en sous-groupes dont les principaux sont indiqués en figure 10.

Résumons nos premières interprétations : nos observations de terrain nous ont permis de retrouver les aspects pétrologiques essentiels de la tephra conformément aux analyses de Schmincke et nous cernons bien maintenant les trois cycles éruptifs LLST, MLST et ULST qui se sont traduits par des groupes de lames chimiquement bien distincts : la nature essentiellement phonolitique de la lave qui était donc plutôt pâteuse, et sa fragmentation extrêmement poussée, caractérisent assurément un volcanisme de style plinien qui a certainement projeté ses émissions à des hauteurs pluri-décakilométriques, générant simultanément d'abondantes coulées pyroclastiques, déferlantes basales et retombées de ponces dans la région proximale, ainsi que des cendres fines en grande partie emportées par les vents stratosphériques sur de très longues distances. Ce sont bien les coulées pyroclastiques, déferlantes basales et retombée pliniennes, qui ont modelé les lames des trois groupes LLST, MLST et ULST.

Examen de la structure de la tephra

Ce qui nous a immédiatement interpellé est la grande diversité et la grande complexité de l'entremêlement des lames. Essayer de comprendre la structure de ce

mille-feuilles a de quoi faire perdre confiance en soi et le moral au plus passionné des géologues amateurs. Mais, renseignement pris, ce moment d'inquiétude est tout à fait normal car la téphrostratigraphie des écoulements pyroclastiques est bien un univers réservé aux spécialistes chevronnés ! Les publications sont nombreuses et lisibles facilement... par les initiés.

Cependant nous n'en resterons pas là !

Description des principales caractéristiques des lamines déposées

Nous avons pu positionner les trois groupes de lamines sur le front de taille. Passons en revue les points essentiels de ces trois groupes :

• Le LLST premier déposé (figure 11)

Ce sont des cendres et des lapillis de phonolite claire, ne contenant pas ou très peu de phénocristaux. Ce groupe, et lui seul, exhibe une quantité importante de xénolites décimétriques, notamment basaltiques, provenant d'anciennes coulées de lave du volcan Wingertsberg très proche et aussi comme nous l'avons déjà vu des blocs décimétriques d'ardoise dévonienne et des blocs de même taille de gneiss incontestablement arrachés au socle régional. Nous remarquons que la trace laissée dans les lamines déformées par ces blocs traduisent une trajectoire balistique. Ceci illustre bien un défonçage violent du socle ainsi que des coulées antérieures de basalte. Nous avons là les produits de la phase de débouillage de la cheminée du volcan à l'origine de la téphra et de la violente phase phréatomagmatique initiale qui a conduit à la formation d'un maar comme nous le verrons par la suite. Les dépôts du LLST composent essentiellement le diatrème de ce maar initial.

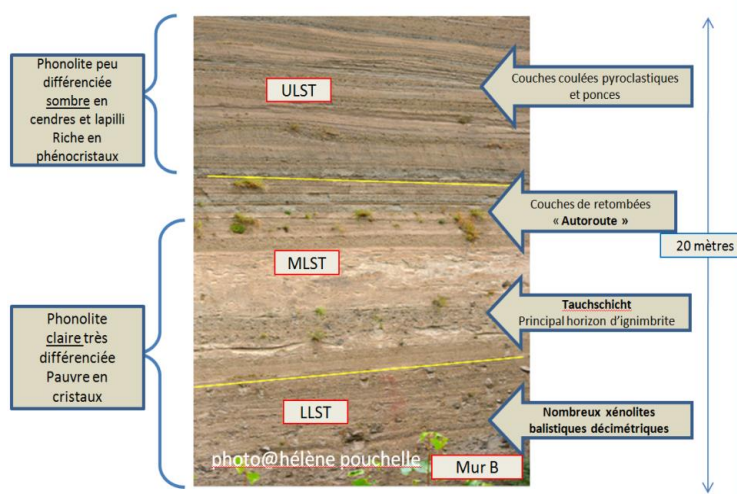


Figure 11. Principaux faciès présentés par le mur B.

• Le MLST apparaît brutalement (MLST-A) à la suite du LLST (figure 11).

Il s'agit d'une couche de fins dépôts de lapillis et de ponces, toujours pauvre en phénocristaux, qui contient deux ensembles remarquables appelés localement le *Tauchsicht* et « l'autoroute ». L'origine de ce changement brutal de la structure physico-chimique de la téphra est interprétée par Schmincke comme un changement d'organisation du cratère du volcan, ce que nous verrons plus loin.

Le *Tauchsicht* est constitué d'une couche métrique d'ignimbrite de phonolite qui correspond à des dépôts de déferlantes basales, on le retrouve en continuité à plus de dix kilomètres du centre volcanique. Cette ignimbrite résulte de la soudure totale ou partielle des fragments de magma à des températures supérieures à 550 °C. Ceci montre la violence et la dangerosité des coulées pyroclastiques à l'origine de ces dépôts.

« L'autoroute » présente un aspect visuel évoquant les chaussées d'autoroute séparées par un terre-plein central, en fait deux épaisseurs de ponce séparées par des lapillis. Elle est un repère pour les géologues qui situent ainsi plus aisément la position des lamines au-dessus et au-dessous, étudiées en des lieux distants.

• L'ULST contient les dépôts ultimes de l'éruption (figure 11).

Sa phonolite est peu évoluée mais, en contrepartie, elle a recueilli d'abondants phénocristaux de sanidine (figure 7, prélèvement A), décantés à partir des couches supérieures dans la chambre magmatique.

L'ULST est formé ici d'un empilement de plus 15 m de couches imbriquées de lapillis, cendres et ponces.

Mode d'écoulement des coulées pyroclastiques

Les coulées pyroclastiques, qui résultent de l'effondrement partiel des matériaux contenus dans la colonne plinienne qui s'élève puissamment, sont composées de cendres grossières et de lapillis ; elles s'écoulent à des vitesses de plusieurs centaines de kilomètres par heure, en creusant des vallées ou en suivant des paléo-vallées. Elles sont souvent accompagnées de déferlantes basales, appelées aussi nuées ardentes, composées de cendres fines très chaudes (de 200 à 800 °C) comparables à un aérosol et dont la vitesse est supersonique, ce qui lui fait franchir tous les reliefs bordant les vallées (figure 12). Les murs A et B du Wingertsbergwand contiennent les reliques de ces cataclysmes. Nous nous rappelons que le mur A est orienté dans le sens des écoulements pyroclastiques locaux et que le mur B lui est perpendiculaire.

La structure typique des dépôts de ces écoulements au Wingertsbergwand est caractérisée par le schéma de la figure 13 où Freundt et Schmincke distinguent les structures particulières des lamines selon la distance au cratère du Laacher : Proximale, Médiane et

Distale, l'organisation des dépôts dépendant donc de leur distance au centre d'émission et leur position amont/aval dans la vallée creusée par la coulée pyroclastique.

Dunes et antidunes, structures remarquables observées dans le mur A

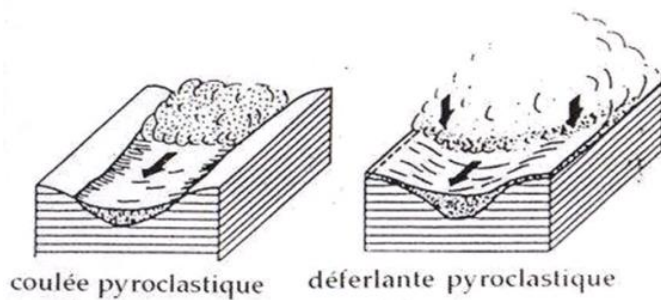
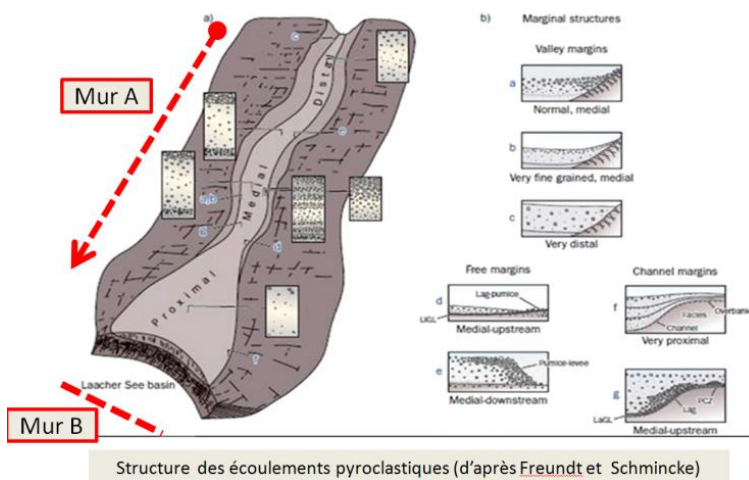


Figure 12. Coulée et déferlante (nuée ardente) pyroclastique.



Structure des écoulements pyroclastiques (d'après Freundt et Schmincke)

Figure 13. Organisation typique des dépôts formés par un écoulement pyroclastique, déduite de l'observation des lamines des téphras du Laacher.

Les flux pyroclastiques ont circulé selon l'orientation du mur A. Leurs écoulements sont laminaires à faible vitesse mais, à vitesse plus élevée, les cendres notamment forment, tout comme dans les déserts de sable, des dunes qui peuvent se déplacer avec le flux. Des ondes d'environ 15 m sont très visibles sur la photo ancienne (figure 14).

À vitesse encore plus élevée de l'écoulement (plusieurs centaines de kilomètres à l'heure), et en fonction de la taille des particules et de la densité du flux, le phénomène d'antidune peut apparaître.

Le phénomène d'antidune est caractérisé par le fait que, dans ses conditions de formation, l'antidune non seulement ne descend plus le courant mais elle remonte le courant car, en raison de la dynamique d'écoulement, les dépôts de particules sont plus abondants sur la face exposée au courant fort. Ce phénomène physique est couramment observable dans le sable lorsque l'eau de mer se retire d'une plage à marée descendante.

La figure 15 (page suivante) montre une antidune généralement reconnue comme telle sur le mur A. Cette antidune de cendres fines illustre la violence des déferlantes basales (nuées ardentes) en ce lieu lors de sa formation.



Figure 14. Photos du mur A, extraite de Vulkane der Eifel, par Hans-Ulrich Schmincke.
Les ondes d'écoulement des coulées pyroclastiques et des déferlantes basales (nuées ardentes) sont mises en évidence.
Ces ondes alternent avec des states de retombées pliniennes, principalement des ponces et des lapillis.

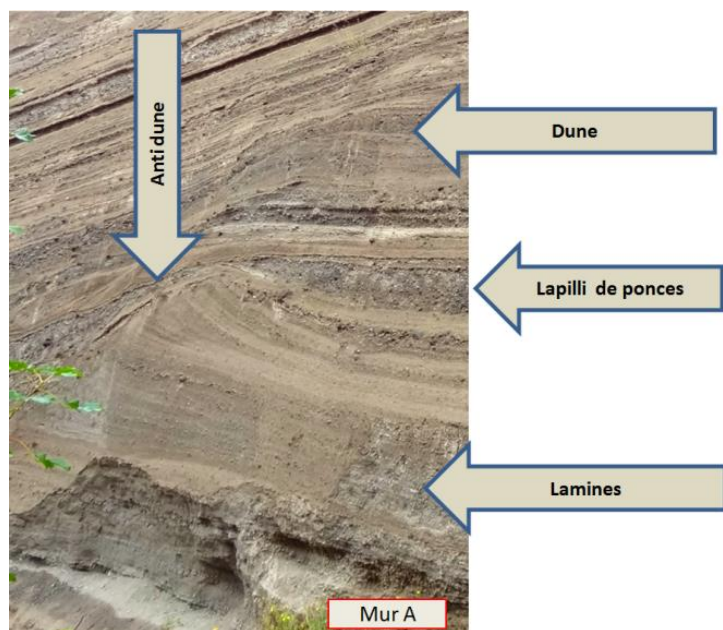


Figure 15. Antidune du mur A (base de la photo : 10 mètres).

Autres structures remarquables observées dans le mur B

Vallées et leur comblement

Dans le mur B nous observons les coulées pyroclastiques et déferlantes cheminant vers nous. Les coulées pyroclastiques creusent des vallées sur leur cheminement et nous pouvons en voir l'ondulation résultante. Lorsque les écoulements deviennent transitoirement laminaires, les vallées (repère A) sont comblées par les cendres, ce qui forme un toit plat (repère B) bien visible sur la figure 16.

Granoclassement inverse

Il est aussi possible de mettre en évidence un granoclassement inverse des lapillis dans certaines strates : les particules les plus grosses et les plus massives se disposent curieusement dans la partie supérieure de la strate (repère C).

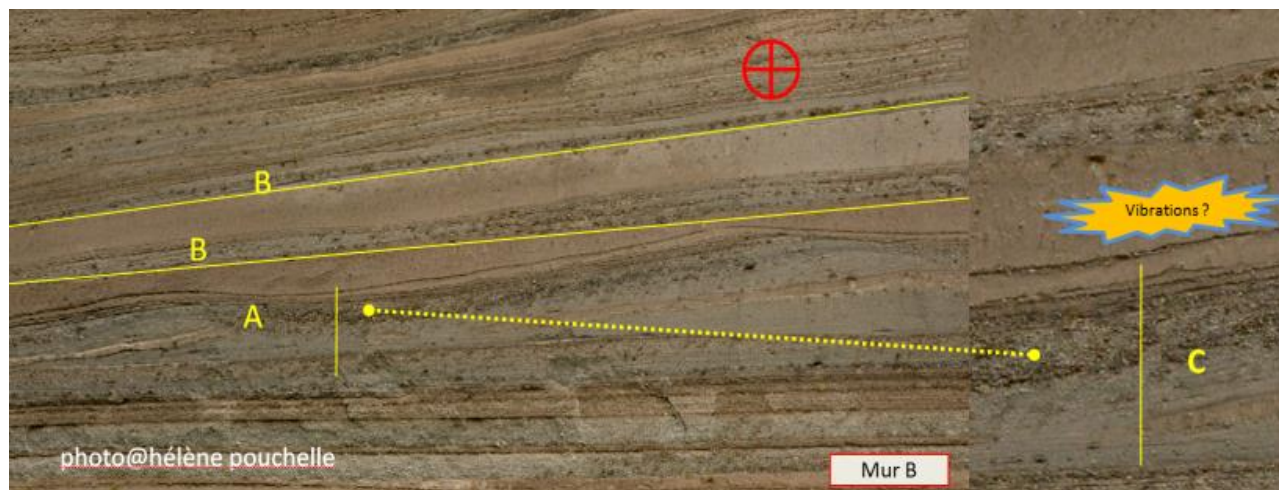


Figure 16. Ondulation (A) des dunes et comblement de leurs vallées par les retombées pliniennes formant alors un toit plat (B). On peut remarquer dans la strate repérée (C) un granoclassement inverse des cendres et lapillis. L'explication physique de ce granoclassement particulier fait toujours l'objet de débats, mais il pourrait être causé par les vibrations du volcan lors des puissantes explosions dans le cratère. (Naylor, 1980).

Ce phénomène constaté et étonnant n'est pas complètement clarifié ; Naylor, en 1980, l'explique par un tamisage dynamique créé par les vibrations du sol produites par la violence des explosions pliniennes.

L'« autoroute »

On remarque aussi le passage de « l'autoroute » en partie inférieure de la figure 17. La géométrie de l'autoroute n'a pas été perturbée par les coulées pyroclastiques car elle ne résulte pas de coulées mais de retombées pliniennes de lapillis et de ponce. Deux couches de retombées de lapillis et de ponce grises de taille moyenne (AB1 et AB2) sont séparées et

bordées par des dépôts de cendres de phonolite sombre à grains fins.

Ces nets contrastes traduisent à nouveau le fort zonage de la chambre magmatique et le passage d'un magma à l'autre. Les pulsations éruptives, d'intensité explosive très variable dynamiquement et qualitativement, s'inscrivent bien dans les caractéristiques des strates de ces dépôts.

Les couches immédiatement supérieures de retombées préservent l'autoroute d'un creusement ultérieur par les coulées pyroclastiques. Ces strates marquent la fin de l'activité paroxysmale de la phase intermédiaire MLST d'éruption phréato-plinienne et la transition vers ULST.



Figure 17. Vue rapprochée de « l'autoroute », d'épaisseur voisine de 80 centimètres, marque bien les à-coups d'émissions magmatiques de cette phase transitoire lors du passage des MLST clairs aux ULST sombres. Le faciès de cette « autoroute » est un repère régional visuel très pratique pour les géologues.

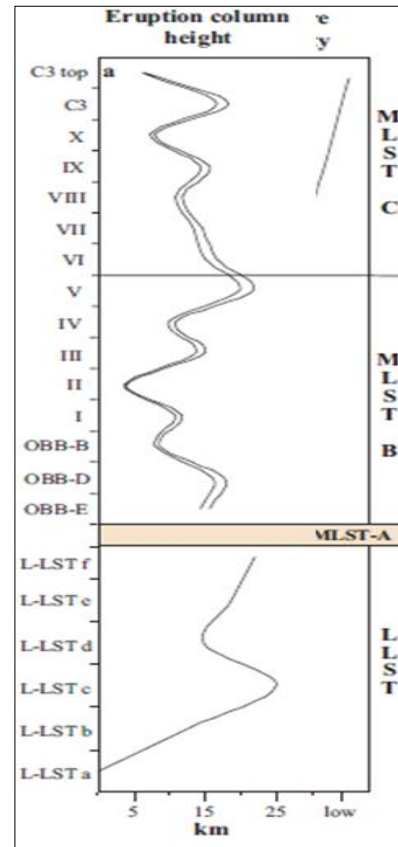
Caractéristiques de l'éruption

L'éruption du Laacher s'est produite entre 12 900 et 12 880 ans BP (Boogard, 1995 ; Hajdas *et al.*, 1995) et a produit environ 6 km³ de lave, soit environ l'équivalent de 16 km³ de tufs phonolitiques. Ce fut donc un évènement géologiquement récent et colossal en Europe. Il reste aujourd'hui une tephra quasi annulaire de volume relativement petit, de 90 à 240 mètres de hauteur, autour du centre éruptif occupé par un lac. Les études très nombreuses et très poussées conduites par de nombreux géologues ont permis, à l'aide de modélisation numérique (Harms, 1998), de retrouver les caractéristiques des éruptions à l'origine de cette tephra. Ainsi, le style éruptif du volcanisme phréato-plinien a pu être mieux défini.

Émissions volcaniques phréato-pliniennes

La zone du centre éruptif du Laacher est située dans une dépression géographique locale très humide, en cette époque de fin de glaciation du Würm et début du réchauffement climatique actuel. Lorsque le magma et les gaz se sont approchés de la surface, ils ont rencontré l'aquifère gorgé d'eau dans un environnement de débâcle glaciaire. Les très violentes explosions qui en ont résulté ont débouché la cheminée, ouverte en maar, en projetant alentour des cendres et brèches diverses du socle. Puis la chambre magmatique, située à environ 5 km de la surface (figures 18) et jusque-là bouchée, sous une pression d'environ 2 000 atmosphères, a libéré par une détente très violente vers l'atmosphère les couches supérieures de son magma évolué, ce qui a établi un style d'éruption mixte phréato-plinien.

La composante phréatique des éruptions du Laacher a été identifiée dans la tephra par les géologues et ceci du début à la fin des quelques semaines estimées qu'ont duré les éruptions. Il y a donc eu une permanence des arrivées abondantes d'eau dans un laps de temps relativement court. Le style explosif plinien est provoqué par la décompression brutale du magma contenu dans la chambre magmatique ; la décompression se poursuit ensuite dans la cheminée ce qui provoque aussi sa déshydratation (ici, l'équivalent de 4 à 5 % en masse de H₂O pour les magmas des LLST) et dégazage du CO₂.



Input parameters	Laacher See eruption
Inlet conduit diameter	30 m
Input velocity at conduit base	1 m/s
Conduit length	5500 m
Pre-eruptive water content	4.7 (LLST) to 4-5 wt% (MLST-B and C)
Phenocryst content	5-6 vol% (LLST) and 8-15 vol% (MLST B to C)

Figures 18. Résultat de la modélisation numérique de la hauteur de la colonne plinienne lors de l'émission des LLST et MLST à partir de paramètres extraits des publications des auteurs : Wörner and Schmincke (1984) ; Harms (1998) ; Berndt et al (2001) ; Harms et al (2003).

La très forte explosivité est ici encore renforcée à la sortie de cheminée par le phréatomagmatisme.

Le magma phonolitique fragmenté et les gaz ont formé en quelques heures la colonne plinienne dont la hauteur, déduite par modélisation à partir de l'étude de la téphra, aurait atteint environ 25 km. Les retombées ont formé les LLST dont les strates basales sont de faciès phréatomagmatique et contiennent des blocs décimétriques de socle et de basalte de coulées antérieures ; les strates supérieures se composent uniquement de retombées pliniennes phonolitiques composées de lapillis et ponces de taille inférieure à 5 cm. La modulation de la hauteur de la colonne plinienne a été estimée à différents stades (figure 18).

Peu après les dépôts de « l'autoroute », une phase essentiellement phréatomagmatique avec quelques bouffées pliniennes a émis les MLST-A, composés de cendres et de lapillis. Cette phase a été interprétée par Schmincke, en 2004, comme liée à un déplacement du conduit éruptif d'un kilomètre vers le nord.

Les autres strates des MLST résultent de l'oscillation de la colonne éruptive ainsi que de son effondrement répété qui sont à l'origine de retombées pliniennes massives d'ignimbrite non soudée et de coulées pyroclastiques.

Les ULST manifestent encore des signes de phréatomagmatisme. Ils se composent des dépôts de nuées ardentes chargées de brèches (figure 7, prélèvement G), des écoulements dunaires recouverts par des retombées de cendres et de lapillis.

Des questions

Y a-t-il une caldeira, à l'emplacement du lac, résultant de la vidange de la chambre magmatique ?

Le centre de la « caldeira » est à 2,30 km du Wingersbergwand. Aujourd'hui, cette « caldeira » mesure 2,25 km sur 1,50 km pour une profondeur faible, soit un volume d'environ 0,5 km³ ; Schmincke parle de caldeira. Mais d'autres auteurs comme Ulrich Schreiber, ou Gabriele Berberich, contestent l'existence d'une caldeira en faisant remarquer que le volume de magma émis, environ 6 km³, qui correspond à la vidange de la chambre, ne peut conduire à une aussi petite caldeira de 0,5 km³ de volume.

Un déplacement du conduit de cheminée d'un kilomètre vers le nord ?

Schmincke (2004) avait interprété l'apparition de la phase MLST-A, essentiellement phréatomagmatique, comme étant une conséquence du déplacement du conduit éruptif. De récentes études bathymétriques par

laser (LiDAR) (figure 19), en 2015, associées à la répartition des mofettes (2) semblent confirmer le déplacement du conduit d'émission. Des mofettes sèches ou humides (observées et photographiées, figure 20) balisent les « deux cratères » dont un qui semble plus actif, au nord de l'autre. Cependant, l'équipe d'Andreas Goepel, qui a réalisé l'étude LiDAR, note que la répartition circulaire des mofettes au nord pourrait résulter du masquage d'un conduit éruptif par du magma ; par contre, le gisement concentré de CO₂ et le relief en creux au sud leur semblent marquer un conduit de cheminée volcanique. Déplacement de la cheminée : oui, mais dans quel ordre ?

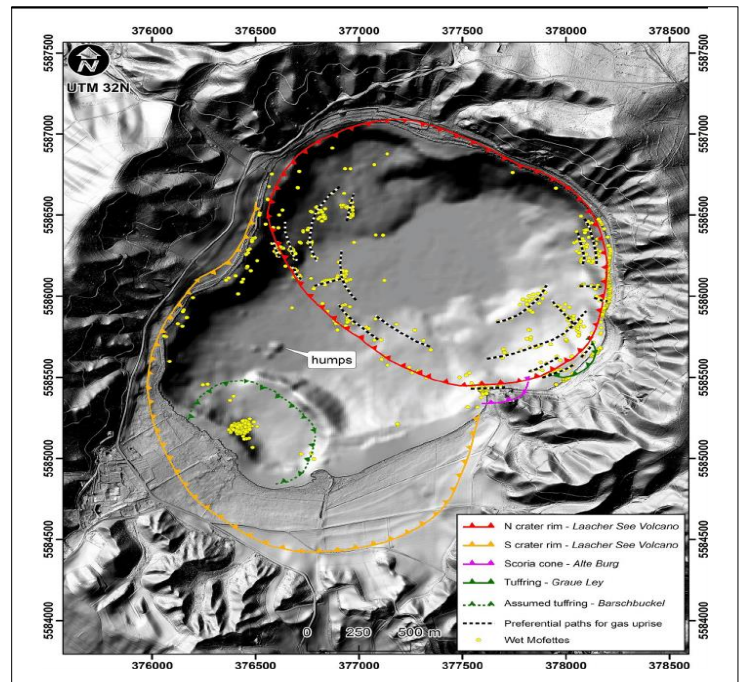


Figure 19. Relevés topographiques par laser LiDAR des fonds du Laacher See par Andreas Goepel, Martin Lonschinski, Lothar Viereck, Georg Büchel, Nina Kukowsk (2015).



Figure 20. Photo de mofettes.

Conséquences régionales de l'éruption plinienne

Les coulées pyroclastiques chaudes et denses, accompagnées des nuées ardentes (aérosols) très chaudes, se sont écoulées dans les vallées à des vitesses de plusieurs centaines de kilomètres à l'heure.

Leur chaleur a détruit la végétation, fondu les glaces, les neiges et favorisé des pluies ce qui a créé d'abondants lahars d'ignimbrite et de ponces qui se sont écoulés brutalement et massivement vers le Rhin.

Deux barrages d'ignimbrite et de ponces se sont formés successivement sur le Rhin. Un premier barrage s'est formé vers Coblenche avec les lahars des LLST (à 9 km). Le deuxième barrage plus important (lac de 80 km²) s'est formé en aval du premier, à Brohl, avec les MLST, puis les ULST-A et les ULST-B (à 8 km). La rupture du barrage de Brohl au début de la phase ULST-B a entraîné des inondations ravageuses dans la vallée du Rhin sur plus de 50 km.

Les vents stratosphériques présents au moment de chaque phase éruptive ont transporté les cendres à des centaines de kilomètres dans plusieurs directions et d'autant plus loin que leur granulométrie était fine (figure 21). L'économie et la vie des populations de ces zones ont été gravement altérées, des migrations ont été identifiées par les paléanthropologues.

Conclusion

Alors le Laacher, un super volcan qui menace l'Europe ?

Certainement pas dans les prochains millénaires, même si les mofettes du Laacher See libèrent toujours leur CO₂ en abondance, au point qu'une société industrielle de distribution de gaz y a installé ses captages de CO₂. La chambre magmatique du Laacher a été quasi vidée il y a 12 900 ans et les bouillies de cristaux que nous avons observées le prouvent. Il faudrait certainement des centaines de milliers, voire des millions d'années, pour recharger la chambre magmatique en basalte « frais » avant qu'il ne retrouve une éventuelle capacité d'activité éruptive.

Cependant ces champs volcaniques périalpins ne sont pas en sommeil car les Alpes s'élèvent toujours et les effets sur les massifs volcaniques restent identiques et gardent leur efficacité. Des éruptions volcaniques peuvent certainement encore se produire ailleurs dans ces champs périalpins, sans que nous puissions prévoir exactement où. Heureusement, les méthodes modernes de détection nous indiqueraient un risque éventuel d'apparition d'un nouveau volcan, mais aujourd'hui aucune probabilité n'est annoncée. Restons sereins.

Notes

(1) *Téphra* : ce nom féminin désigne, en un lieu, l'ensemble des dépôts volcaniques accumulés, autres que des laves. Les téphras désignent les retombées de cendres et de lapillis, en strates.

(2) Une mofette caractérise une émanation de gaz carbonique issue de la lave en refroidissement contenue dans le sous-sol.

Le Dictionnaire de géologie d'Alain Foucault la définit comme une fumerolle froide, d'une température inférieure à 100 °C.

Remerciements

Merci aux membres de la Commission de volcanisme de la SAGA qui ont passé un temps considérable à traduire des textes très techniques et complexes à partir de l'allemand ou de l'anglais, afin de nous faciliter la préparation de notre excursion en Eifel.

Un grand merci à notre guide allemand et spécialiste reconnu en volcanologie Wolfgang Kostka, de la *Deutsche volcanologische Gesellschaft*, à Mendig, qui nous a accompagnés en langue française, avec beaucoup de prévenance et de gentillesse.

Impossible d'oublier de remercier chaudement Dominique Rossier, animateur de la Commission de

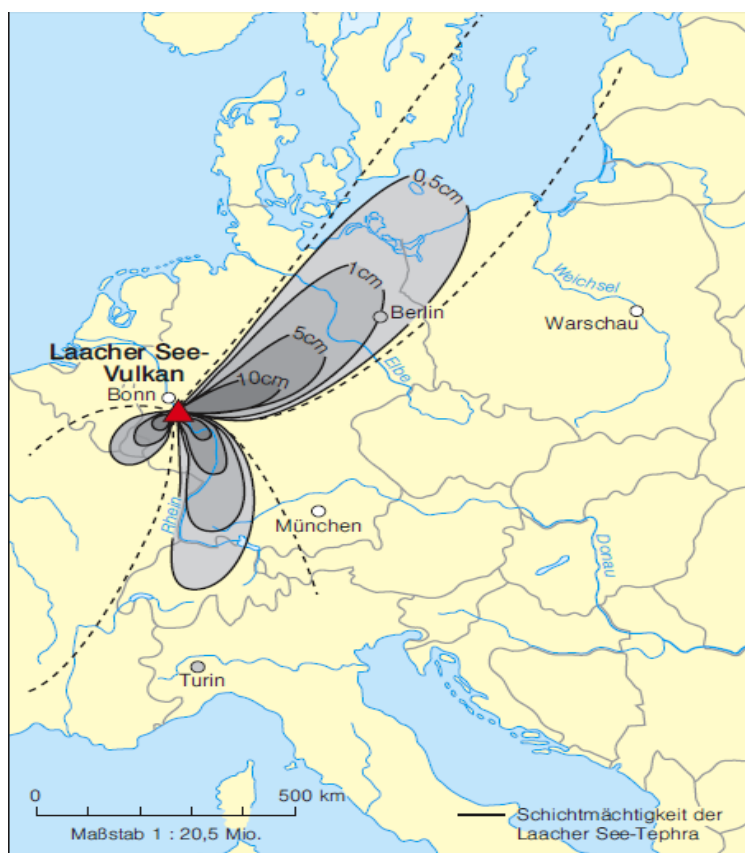


Figure 21. Diffusion des cendres volcaniques du Laacher en Europe. (H.-U. Schmincke, Leipzig, 2002).

volcanisme de la SAGA, pour le temps considérable et la patience qu'il accorde pour nous initier notamment ici à la volcanologie en rendant ces excursions amicales, passionnantes.

Bibliographie

- Extraits d'un compte rendu d'une visite de géologues (2016) : « *Quaternary Eifel volcanism* », communiqué par Wolfgang Koska.
- MEYER R., HERTOGEN J., THEIN J. (2007) – Volcanism of the Eifel, Germany.
- OVERMEEREN (van) R. (2014) – Vulkanisme en CO₂ in de Eifel Geologische (wandel) excursies.
- PEETERS G.-J. (2012) – Eruption dynamics of magmatic/phreatomagmatic eruptions of low-viscosity phonolitic magmas : case of the Laacher See eruption (Eifel, Germany).
- GOEPEL A., LONSCHINSKI M., VIERECK L., BÜCHEL G., KUKOWSKI N. (2014) – Volcano-tectonic structures and CO₂-degassing patterns in the Laacher See basin, Germany.
- JUVIGNÉ É. (1990) – La téphrostratigraphie et sa nomenclature de base en langue française. Annales de la société Géologique de Belgique.
- MICHAEL J., BRANNEY J. & KOKELAAR P. (2002) – Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites. Geological Society, memoir n° 27.

Et les sites suivants qui donnent de précieuses informations sur le volcanisme eifélien :

http://www.academia.edu/1192781/A_Laacher_See-eruption_supplement_to_Tephrobase_Investigating_distal_tephra_fallout_dynamics
<http://www.earth-of-fire.com/article-32807576.html>
http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2008.pintomartins_d&part=154404
<http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD0001/travaux/optsee/hym/11/dune.htm>
<http://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/volcanologie-laacher-see-volcan-allemand-214/page/5/>
<http://scienceblogs.com/eruptions/2010/02/08/laacher-see-the-caldara-in-the/>
<http://www.ougseurope.org/index.php?id=33>
<http://www.earth-of-fire.com/article-eifel-est-le-laacher-see-l-eruption-en-details-51174811.html>
http://www.deichstadtweg.de/bims_neuwieder_becken_18.htm
<http://www.earth-of-fire.com/article-eifel-est-situation-et-histoire-eruptive-51151002.html>
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2013EGUGA..15.5908S>
<http://www.geowiki.fr/index.php?title=Eifel-Laach>

LE PRIX « PAUL GRENIER » 2017

Faites récompenser votre travail

Traditionnellement, le lauréat du prix « Paul Grenier » (*) est récompensé à l'issue de la réunion de l'Assemblée Générale annuelle qui a lieu en février. Au mois de janvier, un jury se réunit pour examiner le ou les travaux présentés et, pour chacun d'eux, juger de l'originalité du sujet géologique traité, de son intérêt scientifique, de la qualité du travail personnel et de la présentation générale.

C'est ainsi que, depuis la création du prix en 1985, la SAGA a couronné plus d'une trentaine de lauréats qui ont reçu chacun un chèque d'un montant de 80 €. Ce chèque est aujourd'hui de 100 €.

Concoutez pour le prix « Paul Grenier » 2017

Il est toujours temps !

Présentez votre travail personnel sur le sujet géologique qui vous a intéressé, l'étude d'une région, d'un affleurement, d'une carrière ou d'une mine, d'un gisement, d'un fossile ou d'un minéral, ou de tout autre sujet concernant la géologie. Vous avez le choix !

Vous illustrerez bien entendu vos textes des photographies, cartes, schémas, croquis ou tableaux nécessaires à une bonne compréhension du sujet que vous aurez choisi de traiter.

N'hésitez pas à en parler avec vos collègues, autour de vous, en réunion. Un travail de groupe peut faciliter les choses et être extrêmement instructif pour tous. De plus, sachez que vous pouvez aussi faire appel à Jean-Pierre Malfay ou Jean-Pierre Roucan, animateurs (**) du Comité scientifique de la SAGA, pour tous renseignements et informations géologiques dont vous pourriez avoir besoin pour compléter vos travaux.

Et faites parvenir votre dossier au secrétariat de la SAGA, 43 rue Buffon, CP 48, 75005 Paris, avant la fin du mois de décembre 2017, ou remettez-le en main propre à Richard Tremblier, Président de la SAGA. Il faut que le jury ait le temps de délibérer.

Bon courage !

Le Conseil d'Administration

(*) Paul Grenier, décédé en 1979, a été, pendant de nombreuses années, président de la SAGA, homme dévoué et chaleureux s'il en fut. Ce prix a été créé pour lui rendre hommage.

(**) Jean-Pierre Roucan, tél. : 01 30 71 06 95.

E-mail : roucan@mnhn.fr

Jean-Pierre Malfay, tél. : 01 43 73 39 74.

E-mail : jeanpierremalfay@orange.fr