Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 23 (1970)

Heft: 3

Artikel: Recherches de retombées volcaniques quartenaires dans le S.E. de la France et la Suisse occidentale

Autor: Martini, Jacques

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-739144

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

RECHERCHES DE RETOMBÉES VOLCANIQUES QUATERNAIRES DANS LE S.E. DE LA FRANCE ET LA SUISSE OCCIDENTALE

PAR

Jacques MARTINI

---

1. MÉTHODE D'ÉTUDE

Si une retombée de cendres volcaniques est visible à l'œil nu, son étude est évidemment grandement facilitée. Par contre si elle est ténue et dispersée dans les sédiments, donc invisible, sa détection demande de longues et patientes recherches qu'il est utile de décrire ici.

Sur une coupe naturelle ou dans une tranchée artificielle les prélèvements se font par saignées de longueur appropriée; il est important d'échantillonner la totalité des sédiments car un niveau volcanique peut être très mince et passer ainsi inaperçu. On fait des saignées primaires relativement longues et peu nombreuses que l'on peut ensuite subdiviser si un premier examen révèle des minéraux volcaniques dans un prélèvement donné.

Dans les dépôts lacustres ou palustres post-glaciares, sédiments en général très peu consolidés, nous avons effectué les prélèvements à l'aide d'une sonde à main. Il s'agit d'un appareil dont le carottier est du type « à piston ». Le tube a une longueur de 33 cm et un diamètre intérieur de 5 cm. Il est tenu par des tiges creuses démontables en éléments de un mètre. Le piston coulisse librement dans le tube carottier et peut être actionné par des tiges minces, également démontables, passant dans le train de tiges creuses. Lors du fonçage, le piston reste immobile, la force poussant le tube n'agissant que sur les tiges creuses. A cet effet nous utilisons une masse de battage coulissant sur une tige à butée. Lors de l'extraction, les tiges centrales sont bloquées par des vis latérales. Le piston est également immobilisé lors de la descente du tube afin que ce dernier ne se remplisse pas avant la cote où doit commencer le prélèvement.

Avec cet appareil on peut facilement atteindre la profondeur de 8 m à condition que les sédiments soient meubles et sans cailloux; deux opérateurs suffisent pour le manier. On obtient ainsi, des prélèvements quasi continus; le degré de récupération

est pratiquement voisin de 100 %. Les effets de contamination, nous l'avons constaté en pratique, ne sont généralement guère néfastes.

Le traitement des échantillons consiste d'abord en l'extraction de la fraction sableuse; on procède différemment suivant la nature des sédiments. La craie est attaquée par l'acide chlorhydrique pour éliminer les carbonates; on peut utiliser l'acide acétique dans certains cas afin de préserver l'apatite. Les résidus d'attaque sont lavés et récupérés par décantation: la fraction éliminée est celle qui est encore en suspension après 5 minutes dans une tranche d'eau de 30 cm. Si les sédiments sont tourbeux (craie riche en matières organiques et tourbe), l'élimination des fibres végétales se fait tout d'abord par tamisage (après délayage et décantation). Ensuite, on concentre les sables dans une grande coupelle en imprimant à l'ensemble un mouvement approprié. Cette opération, comparable à celle du pannage des alluvions, est délicate. Nous avons tenté d'éliminer la matière organique par l'eau oxygénée ou l'acide nitrique; malheureusement ces traitements sont longs et onéreux; nous les avons donc délaissés. Les prélèvements argileux sont tout d'abord séchés, puis plongés dans l'eau afin de faire gonfler les minéraux phylliteux. Ils sont ensuite lavés et décantés.

Une fois la fraction sableuse extraite, on sépare les minéraux lourds dans du tétrabromaethane (d = 2,9) à l'aide d'une centrifugeuse. Pour fixer les particules denses au fond du tube en verre, nous ajoutons un peu de carbonate de baryum pulvérulent. Il se forme ainsi un culot permettant de verser le tétrabromaethane et les minéraux légers en suspension puis de nettoyer les parois du tube à l'acétone sans entraîner les minéraux lourds. Après rinçage à l'acétone, le carbonate de baryum est dissout et éliminé à l'acide acétique. Si des sphérules de pyrite sont présentes en trop grande quantité, on peut attaquer le résidu lourd à l'acide nitrique. La pyrite est surtout abondante dans la craie lacustre.

L'extraction des minéraux lourds par centrifugation, avec l'aide du carbonate de baryum, présente de nombreux avantages sur la méthode classique où l'on utilise des entonnoirs de séparation. La séparation est plus rapide, meilleure et complète; en outre lorsque nous devons traiter de très petites quantités de sable particulièrement fin, seule cette façon d'opérer est efficace. On peut signaler ici que la quantité de minéraux lourds extraite représente souvent une très faible partie des sédiments traités: la teneur peut être inférieure à 1 ppm. Toutes ces opérations doivent donc être menées avec un soin particulier afin d'éviter les pertes et les contaminations par des minéraux volcaniques étrangers.

Les minéraux lourds sont ensuite montés en frottis dans du baume du Canada. Si une retombée volcanique apparaît, marquée souvent par de la hornblende brune et de l'augite, les minéraux légers sont également préparés. Suivant les cas, cette fraction légère peut être séparée en plusieurs lots suivant la densité (par exemple séparation des feldspaths du quartz). Dans le cas où une retombée est directement visible, nous avons préparé des frottis de la totalité de la fraction sableuse.

Parallèlement à l'étude des minéraux en grains, nous avons récolté des échantillons palynologiques, généralement prélevés à la base des carottes. Nous n'avons compté que les pollens de certains arbres et arbustes, ce qui permet d'établir une stratigraphie suffisamment précise pour le but que nous recherchons.

II. DESCRIPTION DES GISEMENTS

1. Dépôts postglaciaires

Les sédiments les plus adéquats sont ceux des petits lacs, des marais et des tourbières. Si un lac est encore actuel, on effectue le sondage sur la berge, là où elle est basse et marécageuse. Si le lac est entièrement comblé et transformé en marais, on peut effectuer le sondage au milieu, quoiqu'il faille remarquer que dans les parties centrales les sédiments peuvent être trop épais et les zones anciennes condensées dans la partie inférieure. Plus près des bords, par contre, les zones récentes peuvent être minces et les périodes anciennes bien développées. Ce phénomène bien connu est dû à la plus forte sédimentation existant sur la beine, laquelle progresse vers le centre du lac jusqu'à son comblement final.

Pour qu'une retombée volcanique soit bien mise en évidence, il faut choisir des lacs ou marais dans lesquels les apports détritiques sont minimum. Ceux dont l'environnement est calcaire (Jura) sont particulièrement favorables. On a également avantage à placer un sondage à l'extrémité de langues de terres basses, éventuellement sur des îles là où la sédimentation risque d'être plus strictement chimique ou biochimique. Les tourbières bombées, véritables biohermes, semblent à priori très favorables par leur morphologie. Nous les avons cependant peu investiguées car elles sont souvent incomplètes stratigraphiquement; de plus il est difficile de traiter la tourbe de Sphagnum. On doit également éviter les marais de pentes, trop riches en éléments détritiques, et les marais des plaines alluviales récentes, lesquels ne représentent souvent que les dernières phases des temps postglaciaires. Les lacs de grande dimension ne sont guère favorables à cause de la plus grande agitation des eaux. Enfin il faut s'informer si un lac n'est pas d'origine récente, voire historique: l'absence de beine peut être une indication.

L'aire que nous avons étudiée comprend surtout la moitié occidentale du Plateau suisse, le Jura, la Savoie et le bas Dauphiné, c'est-à-dire les régions les plus proches de Genève. Dans le Bassin rhodanien, nous n'avons guère poussé nos investigations plus au sud que Grenoble. Le domaine méridional semble d'ailleurs moins riche en anciens lacs et en marais. Dans ces régions nous avons néanmoins étudié 3 localités isolées (La Motte-qui-tremble, Althen-les-Paluds et St.-Rémy).

Burgäschi. Le petit lac de Burgäschi est situé à 4 km de Herzogenbuchsee (canton de Berne). Son niveau a été abaissé artificiellement de sorte que la beine exondée

forme une terrasse dominant le lac de quelques mètres. Nous avons effectué un sondage sur cette terrasse à la lisière d'un bois, au point de coordonnées 617.12/224.3. Les terrains rencontrés et le profil palynologique sont représentés à la figure 1. Sauf les limons de la base et la tourbe, les sédiments sont peu sableux (0,1 à 0,5‰) et favorables à la détection des retombées volcaniques.

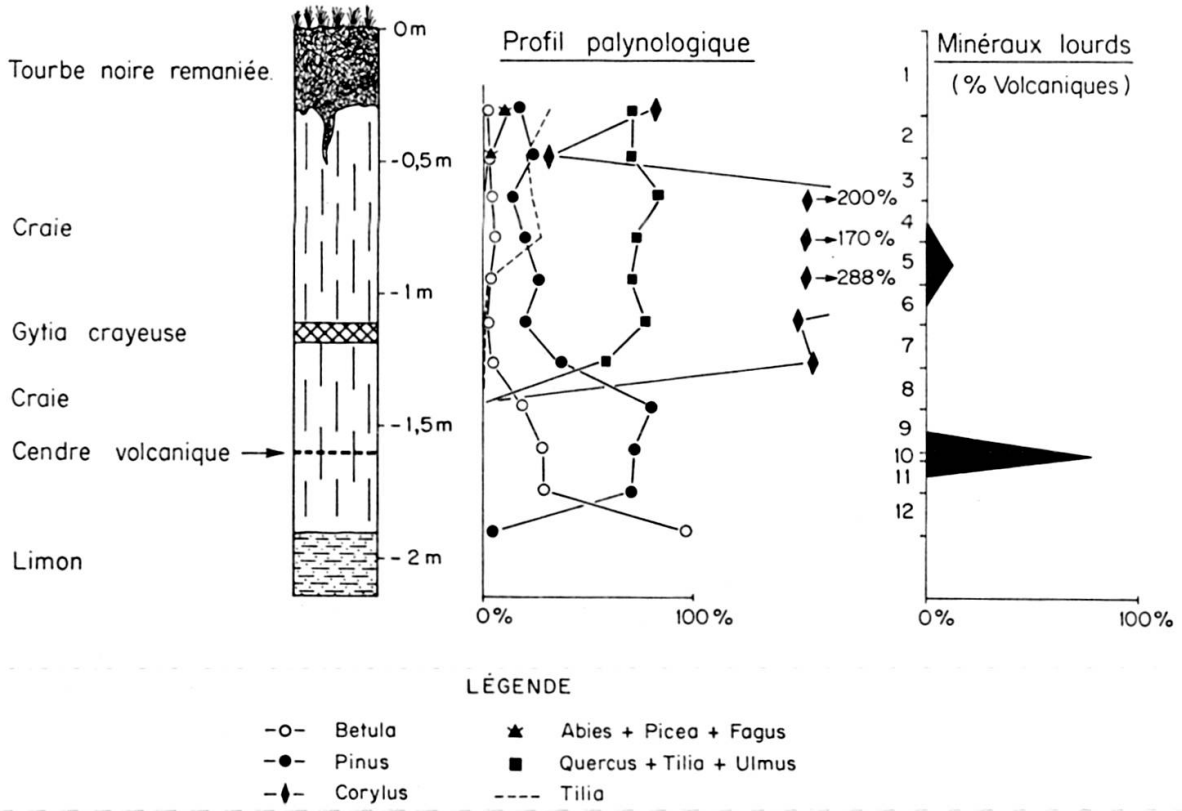

FIG. 1.

Vers la base de la craie, au milieu de la période du pin *s.l*, on observe un niveau de cendre particulièrement épais (1 cm) de couleur vert-olive foncé. Il s'agit de la classique retombée du Laachersee. La composition pétrographique et minéralogique est la suivante (nous ne comptons pas les débris opaques):

Minéraux légers (98,5 % du tout)	Xénolithes (89,2 %)	Schistes ardoisiers	74,6 %
		Quartz	5,1 %
		Débris volcaniques	9,4 %
	Minéraux des ponces (10,8 %)	Verre	3,0 %
		Sanidine	6,5 %
		Plagioclase	1,4 %
		Total I	100,0 %

Minéraux lourds (1,5% du tout)	Non volcaniques		22%
	Volcaniques	Hornblende brune	25%
		Augite	44%
		Apatite	5%
		Sphène	4%
		Total II	100%

La forte teneur en fragments non volcaniques, arrachés au substratum par l'éruption, est remarquable. Il s'agit d'agrégats phylliteux de séricite et de quartz. Lorsque les grains de quartz atteignent une certaine taille, ils s'individualisent en fragments isolés que nous avons comptés à part.

Les débris volcaniques considérés comme xénolithiques ressemblent beaucoup à première vue aux fragments schisteux; leur indice de réfraction est généralement plus bas et ils montrent souvent des microlithes noyés dans une matrice vitreuse. Il doit s'agir de fragments de roches volcaniques antérieures repris par l'explosion. Ces débris se rencontrent en abondance aux abords immédiats du Laachersee, là où leur taille plus volumineuse permet une identification indiscutable.

La forte proportion de minéraux lourds non volcaniques est en relation avec la dominance des xénolithes schisteux. Parmi ces derniers on note surtout du rutile et du zircon avec un peu de grenat, hornblende verte et tourmaline. Les minéraux lourds d'origine locale comme par exemple le glaucophane, font complètement défaut.

70 cm au-dessus du niveau du Laachersee, au milieu de la zone où le noisetier abonde, on détecte une autre retombée. Celle-ci n'est pas visible à l'œil nu et correspond à celle que nous avons déjà décrite au lac de Chalain (J.-J. Duret et J. Martini, 1965). Les minéraux volcaniques légers montrent essentiellement des microlithes de plagioclase gainé d'un feldspath alcalin (sanidine). Ces microlithes ont une forme générale de plaquettes losangiques à contour en « dent de scie » (côtés limités uniquement par les faces 201 et 001). On remarque encore, mais en quantité moindre, des fragments limpides de plagioclase et de sanidine. Dans un concentré léger où nous avons éliminé les feldspaths et le quartz, on remarque un minéral dont l'indice est très bas. Il se présente sous la forme de débris à contour parfois hexagonal; sa biréfringence est très faible, l'angle 2V positif et moyen. Il s'agit de tridymite.

Les minéraux lourds volcaniques (14% du total) sont surtout composés de hornblende brune (90%) et d'augite (10%). L'apatite n'est pas décelable car la craie lacustre a été attaquée à l'acide chlorhydrique. On remarque encore quelques gros zircons apparemment zonés ou très limpides, qui ne sont pas du tout émoussés; ils peuvent éventuellement être d'origine volcanique.

Dittligersee (près de Thoune, canton de Berne). Nous avons effectué un sondage à 30 m de la rive du lac, près de l'exutoire, sur rive gauche. Le profil palynologique

(fig. 2) montre une sédimentation abondante seulement à partir de la période subboréale. Par contre les dépôts des périodes antérieures sont très réduits: le prélèvement effectué 25 cm sous le niveau du Laachersee ne contenait que très peu de pollens

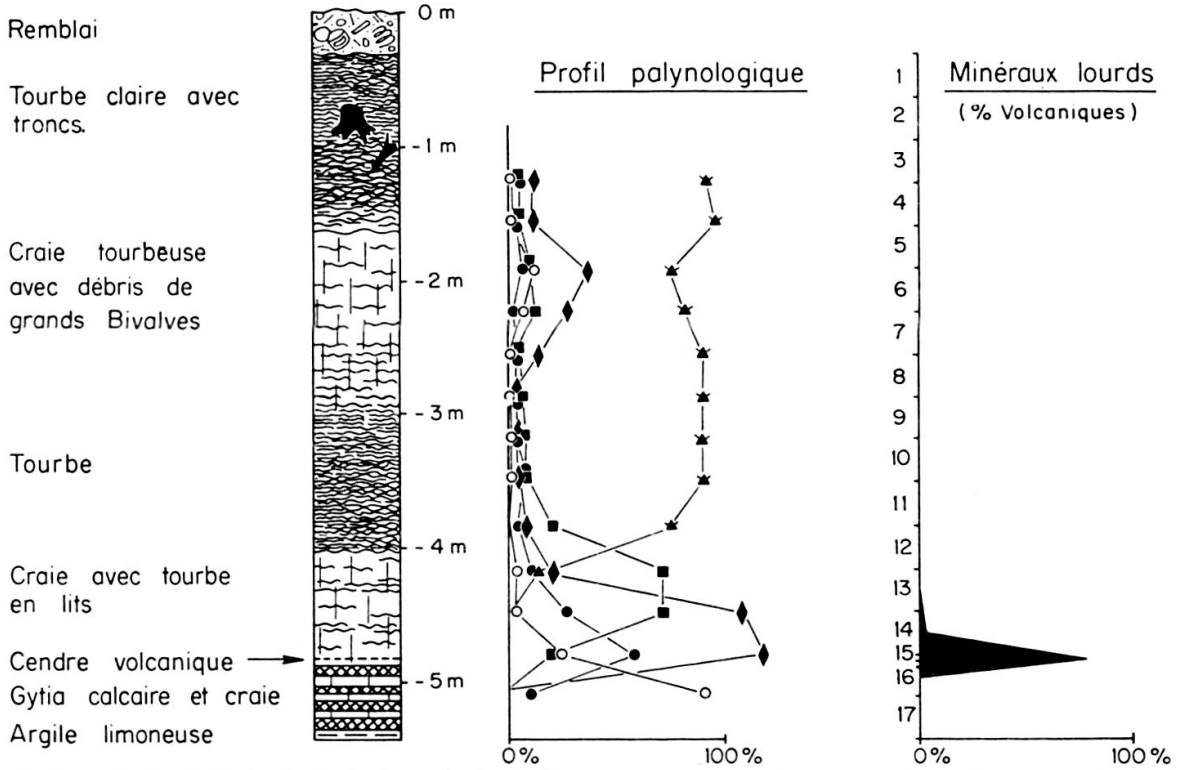

FIG. 2.

d'arbres alors que celui situé 10 cm au-dessus de celui-ci montre déjà l'association typique de la période boréale. La zone du pin *s.l.* n'est donc pas mise en évidence par cet échantillonnage relativement espacé. Excepté la base et le sommet (nos 1,2,16 et 17), la teneur en sable est très favorablement basse, comprise entre 0,1 et 0,2 %.

La retombée du Laachersee, de teinte gris-clair, présente ici une épaisseur d'un demi-centimètre. Sa composition est la suivante:

Minéraux légers (99,2 % du tout)	Xénolithes (28,4 %)	Schistes ardoisiers	22,0 %
		Quartz	1,9 %
		Débris volcaniques	4,5 %
	Minéraux des ponces (71,6 %)	Verre	69,7 %
		Sanidine	1,5 %
		Plagioclase	0,4 %
		Total I	100,0 %

Minéraux lourds (0,8 % du tout)	Non volcaniques	21 %
	Hornblende brune	20 %
	Augite	48 %
	Apatite	8 %
	Sphène	3 %
	Total II	100 %

Le verre, rare ailleurs, est très abondant au Dittligersee. Il se présente sous la forme de débris vaccuolaires, spongieux et incolores; il s'agit bien de fragments de ponce. Le verre peut aussi être adhésif sur les divers minéraux volcaniques. La forte proportion de minéraux lourds non volcaniques est probablement due au fait que si l'on fait abstraction du verre, les xénolithes non volcaniques sont largement dominants par rapport aux minéraux volcaniques. La teneur spécialement basse en minéraux lourds (0,8 %) indique bien que le verre a une action dilutive.

Dans l'échantillon immédiatement sus-jacent à la retombée du Laachersee, on note parmi les minéraux lourds, une faible proportion de minéraux volcaniques caractérisés par des grains de plus grande taille. Ce dernier critère, entre autres, permet de dire qu'il ne s'agit pas de minéraux dispersés à partir de la cinérite sous-jacente, mais d'une autre retombée. Comme éléments volcaniques on remarque principalement des microlithes semblables à celles décrites à Burgäschi, plus accessoirement des grains de plagioclase avec parfois un peu de verre adhésif; on note également quelques fragments de sanidine. Les minéraux lourds volcaniques sont représentés par de la hornblende brune (76 %), de l'augite (2 %) et de la biotite (22 %). Ce dernier minéral forme de grandes lamelles brun-foncé avec souvent des trous hexagonaux marquant l'emplacement d'inclusion d'apatite dissoute durant la préparation. On remarque aussi de très rares particules de biotite rouge. Ces deux variétés de biotite doivent être d'origine volcanique, car on ne les rencontre pas dans les autres prélèvements (au-dessus et au-dessous).

Erlach (canton de Berne). L'isthme qui relie la localité d'Erlach à l'île de St-Pierre est une langue de terre due à l'abaissement artificiel du lac de Bienne; il semblait à priori propice. Un sondage effectué un kilomètre au N-E d'Erlach a tout d'abord traversé 3,45 m de craie appartenant entièrement aux périodes sub-boréales et sub-atlantiques (pollens de noyer fréquents dans le dernier mètre). Les terrains sous-jacents montrent des limons grumeleux et des sables sur 50 cm d'épaisseur, puis 5 cm de craie; un « renard » a interrompu le sondage à cette profondeur (—4 m).

Comme la craie lacustre basale montre l'association palynologique de la zone du pin *s.l.*, il apparaît que la passée limonosableuse représente une zone relativement passive au point de vue sédimentation. Dans ces dépôts sableux il n'est évidemment pas possible de détecter l'eventuelle retombée supérieure décrite à Burgäschi et au Dittligersee.

Lac de Lussy (canton de Fribourg). Un sondage a été effectué au Sud du lac, à 30 m de la rive. Il a traversé 5,90 m de tourbe, puis 30 cm de craie et gytia sableuse et enfin 10 cm de limon crayeux. Jusqu'à —4,90 m la tourbe appartient aux périodes sub-boréales et sub-atlantiques. La partie inférieure de la série est stratigraphiquement réduite en épaisseur: le reste de la tourbe correspond grosso-modo aux périodes boréales et atlantiques, la craie et les limons à en tout cas une partie de la période du pin *s.l.* La longueur des prélèvements était celle du tube carottier.

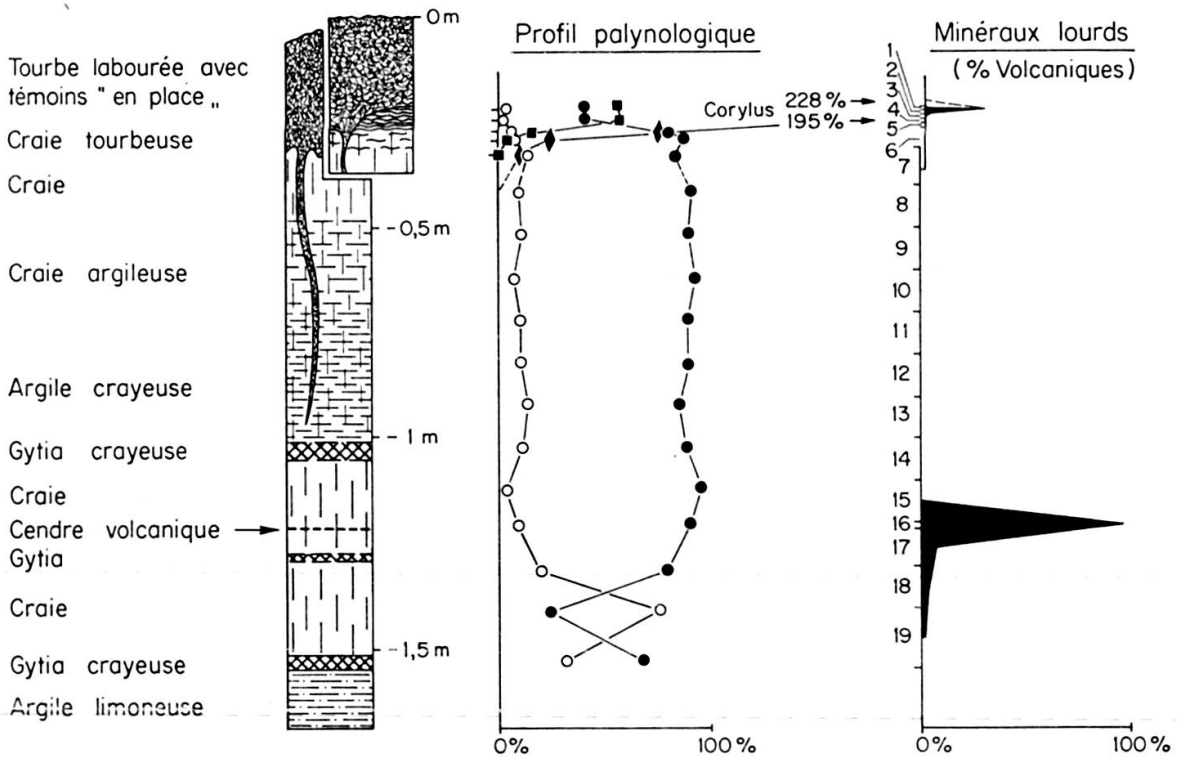

FIG. 3.

Aucune retombée n'a été décelée; celle du Laachersee n'a probablement pas été atteinte et celle qui est sus-jacente, précédemment décrite, semble être absente ou très ténue: la zone palynologique où on devrait normalement la rencontrer est suffisamment peu sableuse pour qu'elle ne soit pas masquée.

Dans le canal servant d'exutoire au lac, on voit affleurer des limons bleus surmontés par 20 cm de craie, puis par de la tourbe sableuse. La retombée du Laachersee que nous espérions repérer là, n'est pas décelable (sédiments trop sableux), bien que la série soit plus complète stratigraphiquement que dans le sondage: la période du pin *s.l.* débute dans la craie.

Marais de la Grande Buge (sud de Baulme, canton de Vaud). Ces marais, actuellement assainis, ont récemment fait l'objet d'une étude stratigraphique et malacologique (Ad. JAYET, 1969). Nous avons ouvert une tranchée sur la berge du canal de draî-

nage (coord. 529.58/180.92). On remarque surtout les limons de base surmontés de craie (fig. 3). Dans une petite fouille pratiquée dans les champs 100 m plus au sud, nous avons pu observer les derniers décimètres de cette série (fig. 3); on remarque là le passage rapide, mais néanmoins gradué, de la craie à une tourbe feuilletée dont les témoins encore en place sont rares à cause de l'action perturbatrice des labours et des animaux fouisseurs. En plus, la réduction de volume subie par les sédiments, laquelle résulte du drainage, a provoqué dans la craie des fissures remplies de tourbe noire; ces sortes de filons peuvent atteindre les limons bleus inférieurs.

La retombée du Laachersee est visible à l'œil nu et forme un mince niveau de teinte gris-vert, épais de 2 mm. Sa composition est la suivante:

Minéraux légers (93,5 % du tout)	Xénolithes (63,6 %)	Schistes ardoisiers	44,7 %
		Quartz	5,3 %
		Débris volcaniques	13,6 %
	Minéraux des ponces (36,4)	Verre	0,6 %
		Sanidine	29,1 %
		Plagioclase	6,7 %
		Total I	100,0 %
Minéraux lourds (6,5 % du tout)	Non volcaniques		4,5 %
	Volcaniques	Hornblende brune	51,4 %
		Augite	29,8 %
		Apatite	7,2 %
		Sphène	7,1 %
		Total II	100,0 %

Nous avons décelé la retombée supérieure au sommet de la tourbe non remaniée en taillant des prélèvements réduits à 1 cm d'épaisseur. La position de cette retombée, très proche du sommet de la période du pin (ce qui n'est pas le cas ailleurs), semble démontrer une sédimentation très lente dans le sommet de la craie et la tourbe feuilletée.

Contrairement à ce que l'on observait à Burgäschi et au Dittligersee, le plagioclase en fragments semble être le minéral léger volcanique le plus abondant; les microlithes de plagioclase enrobés de feldspath alcalin viennent ensuite. La sanidine en débris est rare. On note quelques fragments de tridymite. Parmi les minéraux lourds, la hornblende brune domine (73 % du total des minéraux lourds volcaniques); on remarque un peu d'augite (1 %) et de l'apatite (26 %). Les gros zircons mentionnés à Burgäschi sont aussi présents.

Coinsins (canton de Vaud). Il s'agit d'un ancien lac de très faible étendue dont l'étude palynologique a été effectuée par S. WEGMÜLLER (1966); cet auteur mentionne en outre brièvement un mince niveau sombre qui selon lui se rapporte à la retombée du Laachersee. Notre collègue L. CHAIX a effectué un sondage en bordure S.-W. du marais en vue d'une étude malacologique; ainsi que nous l'avons constaté, il a recoupé dans la craie le niveau de cendre en question, épais de 1 à 2 mm.

Un deuxième sondage situé à 100 m au Nord du premier a rencontré de haut en bas: 0,3 m de tourbe, 2 m de craie, 0,8 m d'argile crayeuse et enfin 0,2 m de limons bleus reposant sur la moraine caillouteuse. Là encore la retombée du Laachersee est bien visible à l'œil nu; elle passe dans la partie basale de la craie, dans la zone caractérisée par l'abondance du pin, peu au-dessus du croisement du pin et du bouleau. Sa composition minéralogique, considérée séparément pour les sondages I et II, est la suivante:

			I	II
Minéraux légers (I: 99 % du tout) (II: 94,1 % du tout)	Xénolithes (I: 40,1 %) (II: 58,2 %)	Schistes ardoisiers	26,7 %	44,2 %
		Quartz	0,5 %	5,6 %
		Débris volcaniques	12,9 %	8,4 %
	Minéraux des ponces (I: 59,9 %) (II: 41,8 %)	Verre	36,8 %	0,6 %
		Sanidine	18,7 %	37,7 %
		Plagioclase	4,4 %	3,5 %
		Total	100,0 %	100,0 %

			I	II
		Non volcaniques	4,5 %	1,8 %
Minéraux lourds (I: 1 % du tout) (II: 5,9 % du tout)	Volcaniques	Hornblende brune	43,5 %	44,6 %
		Augite	41,0 %	38,7 %
		Biotite	2,0 %	0 %
		Apatite	7,4 %	5,9 %
		Sphène	1,6 %	8,9 %
		Total	100,0 %	100,0 %

On constate de notables différences bien que les deux sondages soient très rapprochés: entre autre on remarque l'abondance du verre en I et sa rareté en II. Comme au Dittligersee il apparaît que la teneur en minéraux lourds est inversément proportionnelle à la quantité de verre. Dans le sondage II, nous avons également lavé la partie supérieure de la craie et la base de la tourbe, soit les périodes boréales et atlantiques (de —0,2 m à —1,4 m), où normalement nous aurions dû rencontrer

la retombée supérieure. Bien que la teneur en sable soit faible et que nous ayons réduit la longueur des prélèvements à 10 cm, aucune anomalie en minéraux volcaniques n'est visible. Cette retombée est donc absente, ou présente mais très ténue.

Veigy (Haute-Savoie). Nous avons déjà décrit cette localité (J. MARTINI et J.-J. DURET, 1965) où l'on peut observer à l'œil nu la retombée du Laachersee. Dans ce travail nous n'avions pas signalé les débris volcaniques xénolithiques, ceux-ci ayant été confondus avec les fragments ardoisiers. En réexaminant les préparations, nous avons constaté qu'ils étaient bien présents quoique peu abondants.

Pallanterie et Rouelbeau (canton de Genève). Ces deux anciens marais, très proches l'un de l'autre, ont été décrits dans l'article précédemment cité pour Veigy. Le marais de Rouelbeau, qui montre une succession lithologique classique (limon bleu, craie, tourbe) est intéressant par le fait que la retombée du Laachersee est déjà intercalée dans la tourbe, ce que nous n'avons jamais observé ailleurs. Ceci montre que cette ancienne étendue d'eau était déjà arrivée à un stade palustre à l'Alleröd.

Lac de Joux (canton de Vaud). Là où l'Orbe se jette dans le lac, sur les berges de cette rivière, on peut relever une coupe apparemment complète, étudiée malacologiquement par J. FAVRE (1927). Sur le substratum morainique on note un peu de limon, puis de la craie lacustre recouverte par de la terre végétale. Stratigraphiquement cette craie comprend une partie de la période du pin *s.l.* et ne semble pas « monter » jusqu'au sub-boréal; elle s'est déposée alors que le lac avait un niveau plus élevé (D. AUBERT, 1943). Nous avions choisi cette coupe naturelle pour des raisons de commodité puisqu'elle nous évite un sondage. Malheureusement elle s'est révélée trop sableuse sur toute sa hauteur et aucune retombée n'est décelable. La craie du lac des Brenets, un peu plus au N.-E., derrière la gare du Pont, serait probablement plus favorable.

Lac de Bellefontaine (département du Jura). Un sondage a été placé sur la rive du lac, au point de coordonnées Lambert 887.60/181.42. Dans la tourbe et surtout dans la craie, la fraction sableuse est très minime, souvent inférieure à 0,1 ‰; dans les argiles limoneuses de la base, comme à l'ordinaire, elle est beaucoup plus élevée et dépasse 1 %.

L'échantillon 17, comprenant la totalité carottée des argiles limoneuses basales, montre une faible teneur en minéraux lourds volcaniques. Ces derniers ne se marquent guère par un maximum sur le graphique de la figure 4. Cependant il faut tenir compte que la teneur absolue en minéraux volcaniques doit être en fait plus élevée que dans le reste de la coupe puisque les autres prélèvements sont bien moins sableux. Une retombée volcanique passe donc dans les argiles; d'après le diagramme palynologique, la taille des grains et la composition minéralogique, il s'agit de celle du Laachersee. Elle montre une teneur en hornblende brune particulièrement élevée (81,0 %), un

peu d'augite (10,4 %) et de sphène (8,6 %); le traitement par l'acide chlorhydrique a fait disparaître l'apatite.

La retombée supérieure apparaît plus haut dans la série. Elle montre comme d'habitude des minéraux lourds de plus forte taille composés surtout de hornblende

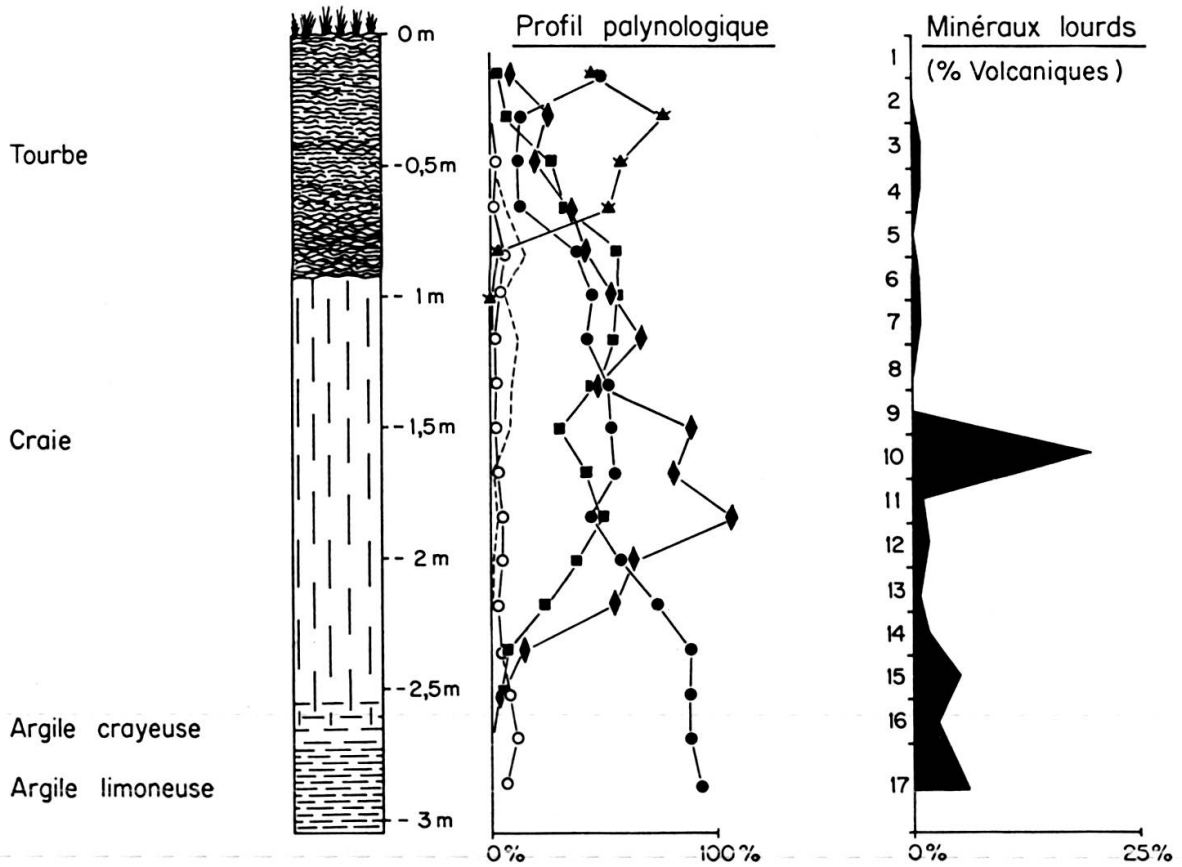

FIG. 4.

brune (93,5 %) et d'un peu d'augite (6,5 %). Parmi les minéraux légers on distingue surtout les microlithes caractéristiques déjà décrits et quelques fragments de plagioclase de grande taille. De la tridymite est également présente.

Lac de Chalain (département de l'Ain). Cette coupe naturelle a déjà été décrite dans un précédent travail (J.-J. DURET et J. MARTINI, 1965). Elle révèle la présence de la retombée supérieure, exceptionnellement grossière, et l'absence de celle du Laachersee. Il faut ajouter que dans ce travail nous n'avions pas remarqué les microlithes caractéristiques. En réexaminant les préparations, nous en avons néanmoins détecté quelques individus.

Lac d'Antre (département de l'Ain). Nous avons effectué un sondage au point de coordonnées Lambert 862.47/162.93 soit sur les flancs d'une éminence, à 4 m environ au-dessus de la surface actuelle du lac; celui-ci avait primitivement un niveau plus élevé. Sous 30 cm de terre végétale, nous avons traversé 1,2 m de craie lacustre

reposant sur des limons argileux. Ces sédiments ne montrent pas de retombées volcaniques, la teneur excessive en sable en est la cause.

Lac de Genin (département de l'Ain). Nous avons implanté un premier sondage au Nord du lac, à l'extrémité d'une presqu'île marécageuse. Ces conditions topographiques favorables, alliées à l'environnement essentiellement calcaire, font que les sédiments rencontrés (sauf l'échantillon 21) sont exceptionnellement peu sableux:

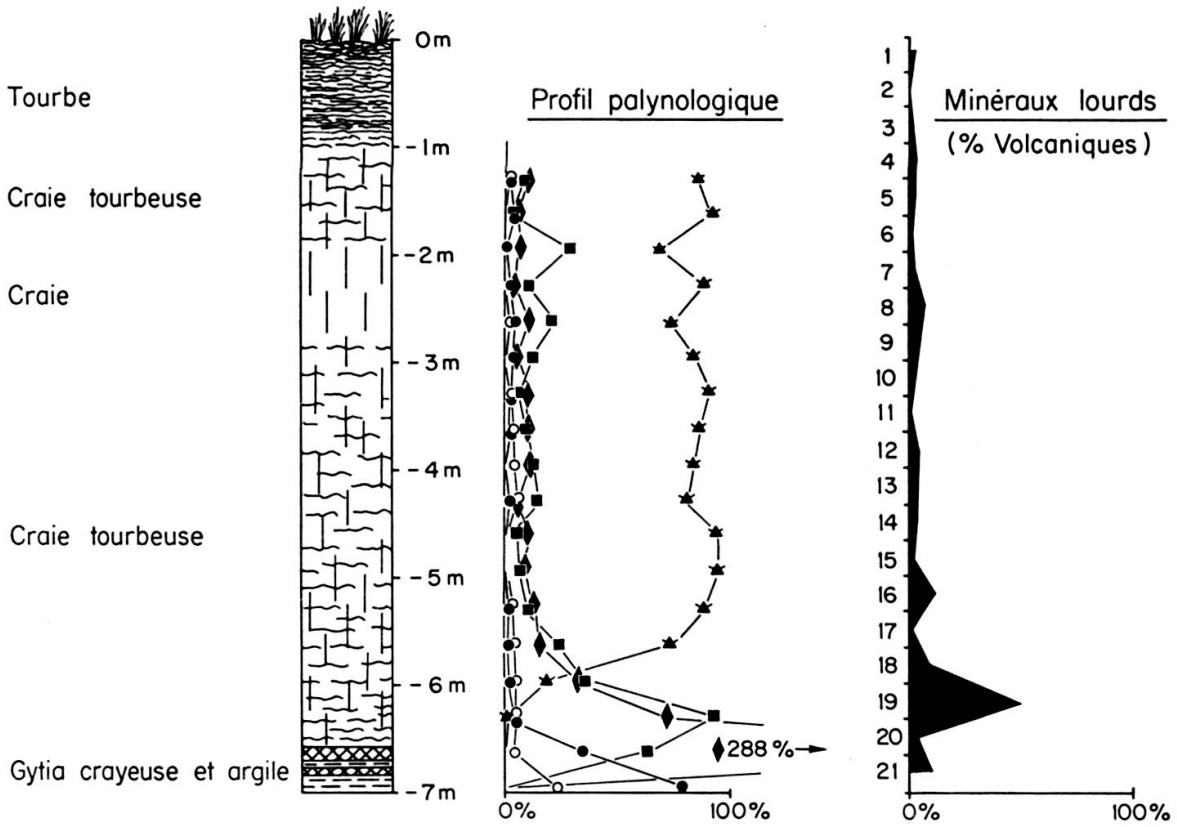

FIG. 5.

0,02 à 0,1‰. Au point de vue stratigraphique, on peut faire les mêmes remarques qu'au Dittligersee: les zones palynologiques antérieures au sub-boréal sont fortement condensées (fig. 5).

Bien que cela n'apparaisse pas sur le graphique des minéraux lourds, l'échantillon de base renferme la retombée du Laachersee; ici, comme au lac de Bellefontaine, la forte teneur en sable (voisine de 1 %) «aplatit» le pic que l'on devrait normalement observer. La composition des minéraux lourds en relation avec la retombée est la suivante: hornblende brune 46,4 %, augite 47,5 %, sphène 6,1 %; l'apatite a été dissoute par l'acide chlorhydrique. Remarquons que l'augite présente les teintes vertes plus soutenues qui la différencient de la retombée supérieure.

Peu au-dessus, on observe la retombée supérieure. Celle-ci est moins grossière qu'ailleurs et particulièrement peu abondante: seule la très faible teneur en sable permet sa détection. Parmi les minéraux lourds volcaniques, on note de la hornblende

brune (33 %), de l'augite (37,5 %) et des biotites brunes et rouges (29,5 %); remarquons que ce dernier minéral est pratiquement absent dans les autres prélèvements ce qui confirme son origine volcanique. En outre quelques zircons limpides, non émoussés

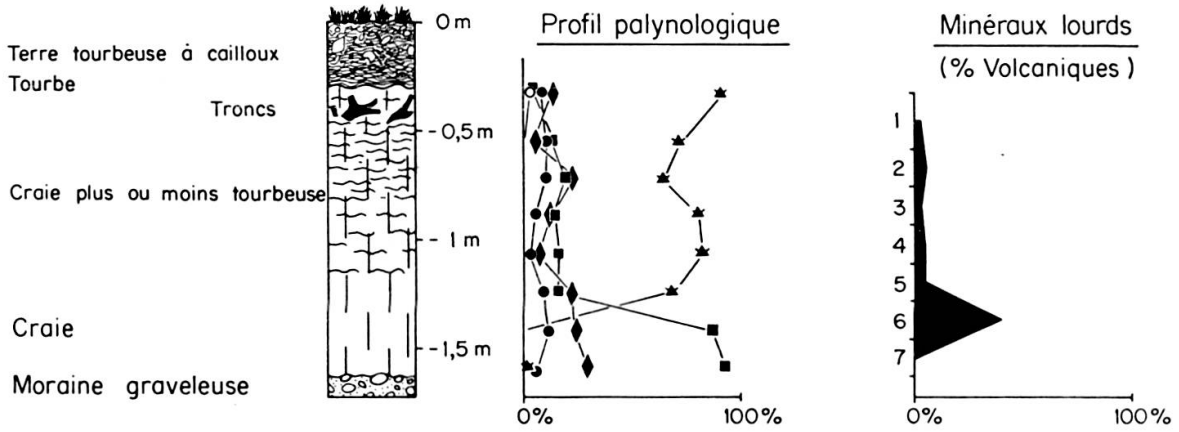

FIG. 6.

et présentant des inclusions sont peut-être en relation avec la retombée. Parmi les minéraux légers, on remarque surtout des fragments de plagioclase puis de la sanidine en moindre quantité; les microlithes décrits ailleurs sont encore moins fréquents. De plus nous avons observé quelques fragments de ponce, seul point où nous en avons observé dans la retombée supérieure. Nous avons encore remarqué de la tridymite.

Nous avons effectué un deuxième sondage à 200 m du premier, sur l'autre rive du lac (coord. Lambert 859.38/141.05). A cet endroit on voit la craie lacustre affleurer, fait qui est en relation avec l'abaissement artificiel du lac dû au déblaiement de l'exutoire karstique. A —1,60 m nous avons été arrêtés par des graviers morainiques; il apparaît sur le diagramme palynologique (fig. 6), que la coupe est stratigraphiquement incomplète: la période du noisetier, et celles qui sont plus anciennes manquent. Comme dans le sondage I, les sédiments sont exceptionnellement peu sableux.

La retombée supérieure se retrouve ici et montre, par rapport au sondage I, des modifications minéralogiques sensibles: 98 % de hornblende brune, 2 % d'augite, pas de biotite. Les minéraux légers révèlent des fragments de sanidine et de plagioclase, les microlithes bien connus et quelques grains de tridymite.

Il faut faire ici quelques remarques sur les minéraux qui ne sont pas en relation avec les retombées volcaniques, c'est-à-dire sur le « background ». Fait étonnant, dans les localités du Jura que nous avons étudiées (Genin, Bellefontaine, Antre, Lac de Joux, etc.), nous avons toujours remarqué un cortège de minéraux lourds d'origine alpine bien représenté: épidote-zoïsite, actinote, hornblende verte, chloritoïde, glaucophane, pumpellyite,...

On peut supposer deux origines; premièrement les minéraux ont été dispersés sur le domaine jurassien par les glaciers locaux à partir des rares synclinaux renfermant des témoins de Molasse; deuxièmement il s'agit d'apports éoliens issus des moraines

rhodaniennes fraîchement déposées plus au S.-E. Cette dernière hypothèse, peut-être la plus plausible, expliquerait la présence d'éléments alpins finement grenus dans un domaine où le matériel morainique grossier a pratiquement une origine uniquement locale.

Poisy (département de la Haute-Savoie). Cet ancien lac dont le comblement final semble récent, a été étudié par J. BECKER (1952) au point de vue palynologique. Nous avons effectué un sondage en bordure de la tourbière, car les sédiments de la

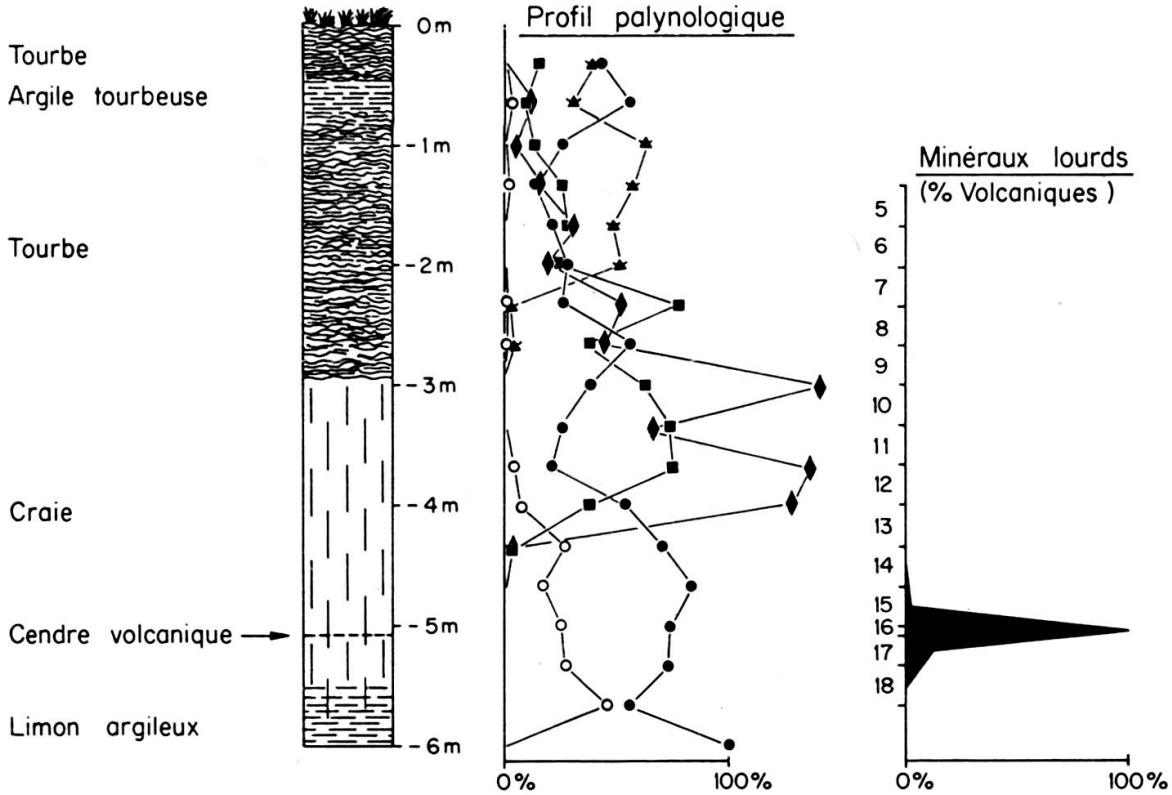

FIG. 7.

partie centrale, presque entièrement exploités comme combustible, présentent une puissance prohibitive pour notre sonde. Le niveau du Laachersee est ici bien visible, épais de 1 à 2 mm, de couleur gris verdâtre. Sa composition est la suivante:

Minéraux légers (95,8 % du total)	Xénolithes (62,2 %)	Schistes ardoisiers	41,7 %
		Quartz	4,4 %
		Débris volcaniques	16,1 %
	Minéraux des ponces (37,8 %)	Verre	0 %
		Sanidine	31,0 %
		Plagioclase	6,8 %
		Total I	100,0 %

Minéraux lourds (4,2 % du total)	Non volcaniques		1,1 %
	Volcaniques	Hornblende brune	42,5 %
		Augite	43,2 %
		Biotite	1,0 %
		Apatite	3,5 %
		Sphène	8,5 %
		Total II	100,0 %

A Poisy comme à Veigy, on remarque que le verre est totalement absent. Au-dessus du niveau du Laachersee, nous n'avons pas détecté la retombée supérieure. Il semble que cette dernière soit absente ou très ténue car l'intervalle stratigraphique devant la renfermer (de —2,10 à —4,30 m) est très peu sableux (0,05 à 0,1 ‰).

Virieux le Grand (département de l'Ain). Au bord de la route nationale n° 504, entre Virieux et Artemare, s'étend un marais à régime lacustre périodique. Nous avons effectué un sondage au point de coordonnées Lambert 858.55/101.2. La superposition des faciès est assez inhabituelle: pratiquement dès la surface jusqu'à —0,50 m, on traverse de la craie; la suite montre jusqu'à —2,50 m une tourbe plus ou moins argileuse qui repose sur un deuxième niveau crayeux. Au-delà la sonde a été arrêtée par des graviers probablement morainiques à la cote —3,50 m. Au point de vue stratigraphique, il semble que la craie supérieure soit d'âge très récent (subatlantique). Les périodes atlantiques et boréales s'étendent de —2,00 m à —2,60 m environ. Le reste de la craie, jusqu'aux graviers de base, appartient à la période du pin *s.l.*

La retombée du Laachersee, mince niveau verdâtre, est visible dans la craie à la cote —3,25 m. Nous ne l'avons pas extraite à l'état pur et nous ne donnons que le pourcentage des minéraux lourds volcaniques; ils montrent une très forte prédominance de hornblende brune: 94,5 %. Le reste est composé d'augite (3,0 %) et de sphène (2,5 %). L'apatite a été dissoute par l'acide chlorhydrique. Nous n'avons pas détecté d'anomalie dans les teneurs en minéraux volcaniques au-dessus du niveau du Laachersee. Il est cependant impossible de dire si la retombée supérieure est vraiment absente car les sédiments des époques boréales et atlantiques sont très fortement sableux.

Lacs Chevelu (département de la Savoie). Nous avons pratiqué un sondage sur la langue de terre marécageuse qui sépare les deux lacs, au point de coordonnées Lambert 871.6/83.4. L'unique retombée que nous avons décelée est celle du Laachersee. Elle n'est pas visible à l'œil nu. Sur le graphique de la figure 8, on remarque deux pics dans la teneur en minéraux volcaniques. Il est probable que le maximum inférieur soit dû à une contamination par remaniement du niveau supérieur lors du carottage.

La composition des minéraux lourds volcaniques est la suivante: hornblende brune 83,0 %, augite 11,3 %, sphène 5,7 %, L'apatite a été détruite par l'acide chlorhydrique.

Le sommet de la craie ou la base de la tourbe pourrait renfermer la retombée supérieure. Malheureusement la base de la tourbe est fortement sableuse et il y a incertitude sur sa présence éventuelle.

Chirens (département de l'Isère). Cet ancien lac, actuellement évolué en marais, a été étudié par J. BECKER (1952) qui a décrit une série très complète palynologiquement. Notre sondage a été implanté au milieu de la tourbière. Il a tout d'abord

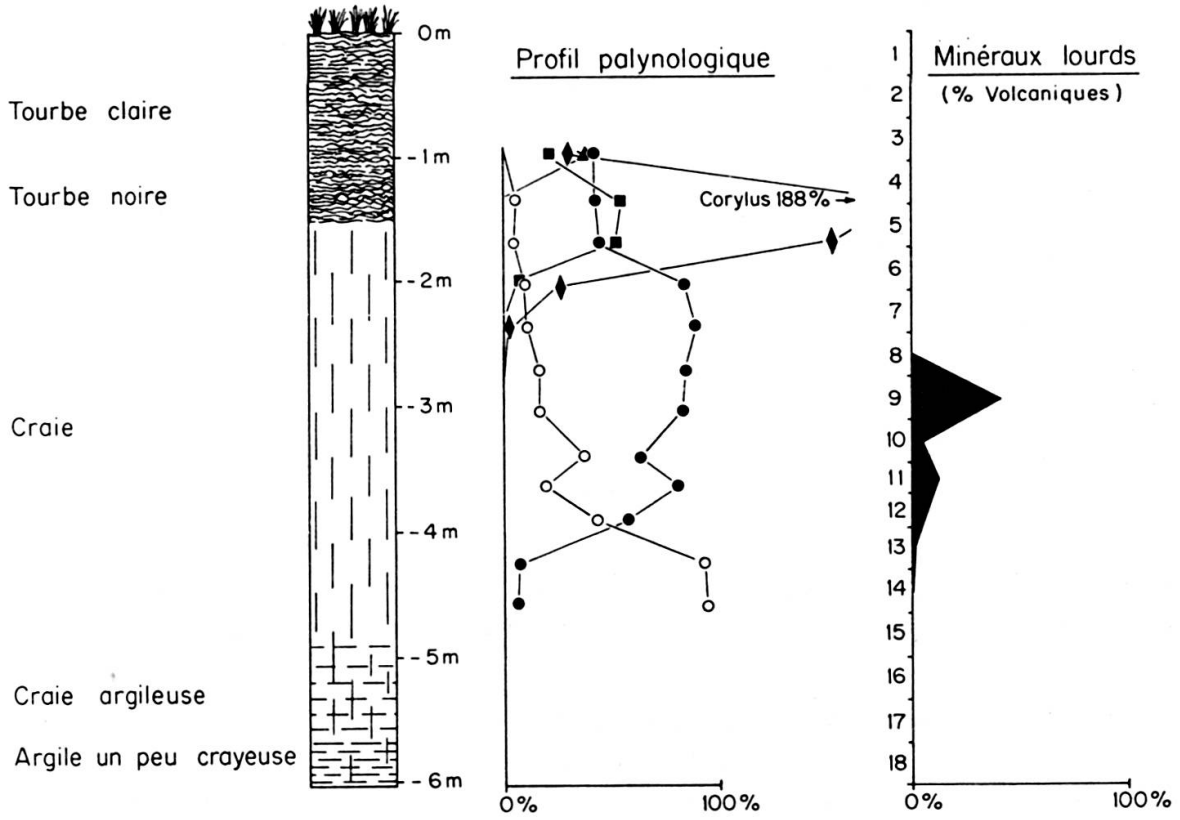

FIG. 8.

traversé 2,15 m de tourbe, puis 4,0 m de craie. Pour des raisons techniques, le carottage n'a pas été poursuivi plus bas et les limons n'ont pas été atteints. Les époques subatlantiques et sub-boréales comprennent la tourbe jusqu'à —1,70 m; les periodes atlantiques et boréales, bien développées en épaisseur, s'étendent de —1,70 m à —4,20 m. Le reste de la craie appartient à la zone du pin *s.l.*

Le niveau du Laachersee, difficilement visible à l'œil nu, passe dans la partie basale de la craie (—5,60 m). La composition des minéraux lourds volcaniques est la suivante: hornblende brune 75,6 %, augite 19,9 %, sphène 4,5 %. Ici encore l'apatite a été éliminée. La retombée supérieure est absente ou très ténue car là où on pourrait la déceler, les sédiments se sont avérés suffisamment peu sableux; la longueur des prélèvements était de 33 cm environ.

La Motte-qui-tremble (7 km au S.-W. de Gap, département des Hautes-Alpes). Ce marais a été étudié au point de vue palynologique par J. BECKER (1952) qui a décrit une série stratigraphique très complète. Notre sondage, implanté dans sa partie centrale, a d'abord traversé de la tourbe et des argiles (1,2 m) puis de la craie très blanche (1,3 m) et finalement des limons argileux crayeux au sommet (0,60 m).

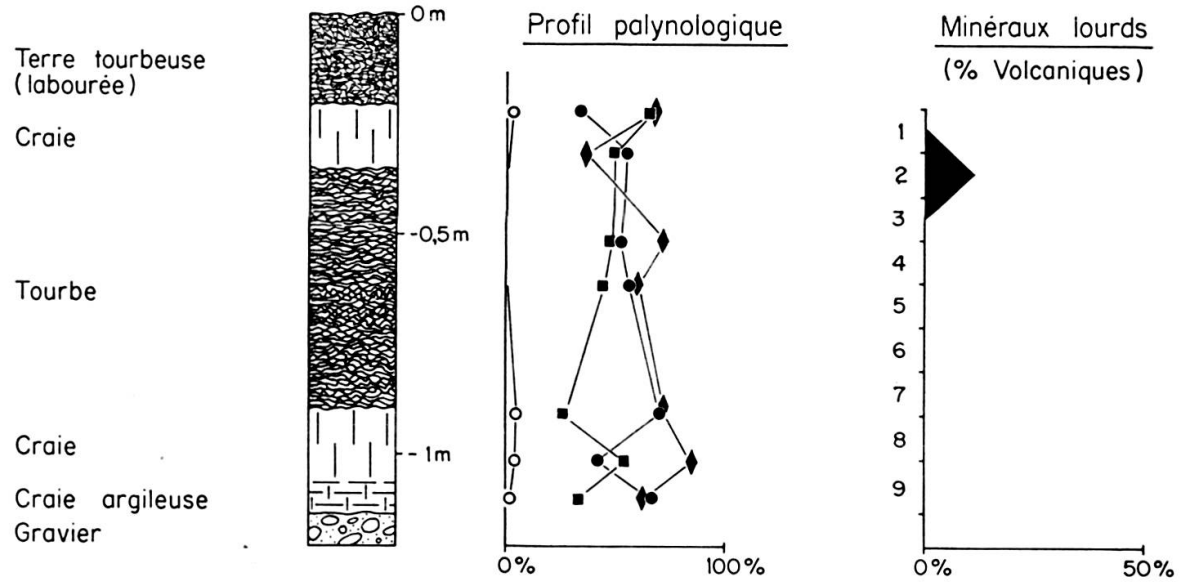

FIG. 9.

La période du pin *s.l.* occupe la craie de —1,40 m à —2,00 m. Dans cet intervalle on devrait déceler la retombée du Laachersee; or les minéraux lourds extraits de prélèvements réduits à 15 cm ne révèlent pas de minéraux volcaniques. La teneur en sable est suffisamment faible (0,5 à 1 $^0/_{00}$) pour que l'on puisse affirmer que cette retombée est très ténue ou absente. En effet nous avons constaté que plus au nord, par exemple à Bellefontaine, ce niveau est quand même décelable dans des sédiments bien plus sableux. Le sommet de la craie ou la base de la tourbe argileuse pourrait renfermer la retombée supérieure. Malheureusement cette partie de la coupe est très riche en éléments détritiques.

Saint-Rémy (département des Bouches-du-Rhône). Les anciens paluds de Saint-Rémy, actuellement entièrement mis en culture, s'étendent à l'est de cette localité (F. BOURDIER, 1961). Dans la partie centrale, le long de la route départementale n° 31, à 3,5 km à l'W de Mollégès, nous avons creusé une tranchée profonde de 1,20 m; on constate que les dépôts palustres reposent directement sur des graviers duranciens. La partie échantillonnée (voir fig. 9) semble appartenir à la période sub-boréale et peut-être atlantique si l'on compare le diagramme palynologique avec ceux que nous avons établis plus au nord. Il faut remarquer à ce propos que nous nous trouvons dans une région méridionale de basse altitude, qui à ce point de

vue est mal connue (J.-L. VERNET 1967). Il est possible que la chênaie mixte soit largement développée sur une plus longue période.

Dans la partie supérieure de la tourbe ou peut-être dans la base de la craie supérieure, nous avons décelé une retombée volcanique. Parmi les minéraux légers on note d'abondants microlithes de plagioclase à gaine de feldspath alcalin, à contour en dent de scie, absolument semblables à ceux que nous avons signalés dans la retombée supérieure. Par ordre d'importance viennent ensuite des fragments de plagioclase limpide puis de très rares débris de sanidine. Quelques grains à fort relief négatif et à faible biréfringence appartiennent probablement à la tridymite ou la cristobalite. Le cortège des minéraux lourds volcaniques montre de la hornblende brune (72 %) de l'augite (6 %) et de l'apatite (22 %). Quelques beaux zircons limpides et non émoussés sont peut-être d'origine volcanique.

Althen-les-Paluds (Environ 15 km au N.-E. d'Avignon, département du Vaucluse). Ces marais ont actuellement été presque entièrement assainis par remblayage. Nous avons creusé une tranchée à la sortie N du village d'Althen, le long de la route départementale n° 89. Les sédiments palustres sont peu épais et consistent principalement en une craie argileuse qui repose, comme à St-Rémy, sur des graviers alluvionnaires. Comme ils sont dépourvus de pollens, il n'est pas possible de se faire une idée des époques représentées. Par contre les minéraux lourds mettent en évidence dans la craie lacustre une retombée assez dispersée. Du fait que les sédiments

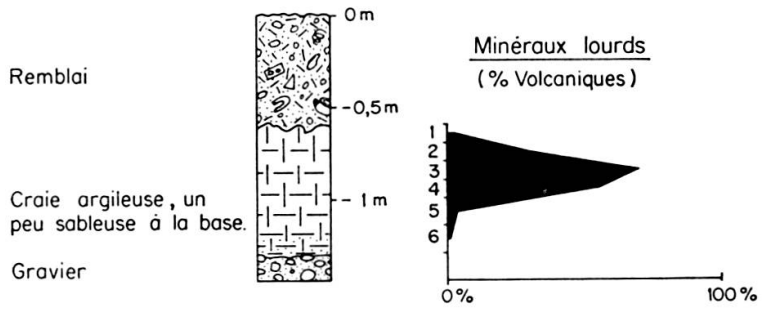

FIG. 10.

sont assez sableux (environ 1 %) et que la teneur en minéraux lourds volcaniques est forte malgré la dispersion, il apparaît que cette retombée est comparable ou supérieure quantitativement à celle du Laachersee.

Les minéraux légers volcaniques montrent par ordre d'importance des plagioclases limpides, peu zonés et souvent corrodés, puis de la sanidine ou de l'anorthose (fines mâcles polysynthétiques rares). Les microlithes décrits à maintes reprises dans d'autres localités font ici complètement défaut. La composition des minéraux lourds est la suivante: hornblende brune 88,2 %; augite, 4,2 % et apatite, 7,6 %. On remarque en plus quelques cristaux de sphène hyalin, avec des faces cristallines typiques, dont l'origine volcanique est possible.

2. Dépôts interglaciaires ou interstadiaires

Nous n'avons effectué des recherches que dans quatre gisements. Par rapport aux lacs et marais postglaciaires, le choix est beaucoup plus restreint et imposé par les conditions d'affleurements, lesquelles sont souvent très mauvaises. De plus bien des localités classiques ne sont plus accessibles actuellement.

St-Jean et Nant du Biaz (région genevoise). Nous avons décrit ailleurs (J.-J. Duret et J. Martini 1965) ces deux localités où aucune retombée n'a pu être décelée; dans les deux cas les sédiments étaient très sableux.

Pont de la Douceur (département de la Haute-Savoie). Le Quaternaire des Dranses, près de Thonon, est célèbre dans la littérature. Deux cents mètres environ en aval du pont de la Douceur, sur rive gauche, dans un cirque d'érosion, on observe un niveau lacustre intercalé entre deux moraines argileuses. Cet horizon est considéré comme un interstadiaire würmien (p. ex. M. Burri, 1963), âge qui a été confirmé par des dosages de radiocarbone effectués dans des dépôts semblables des environs (B. Blavoux et A. Brun, 1966).

Nous avons relevé et échantillonné trois coupes très rapprochées (fig. 11). La première se situe dans un petit cirque secondaire en voie de développement; elle montre sur la moraine inférieure des argiles limoneuses, puis de la craie plus ou moins argileuse; au-dessus on passe à des argiles limono-sableuses varvées à petits cailloux anguleux disséminés, caractère évoquant bien un dépôt glacio-lacustre. Les couches lacustres se terminent par des argiles à passées crayeuses boudinées et plissées par le passage des glaciers. Dans la partie sud du cirque principal, nous avons étudié une coupe très similaire excepté que le niveau argileux médian n'est pratiquement pas caillouteux. Un peu plus loin, nous avons relevé une dernière coupe caractérisée par une augmentation de la puissance; en outre les assises ont été plus profondément rabotées par les glaciers: les argiles crayeuses supérieures manquent. Nous nous sommes posé la question de savoir si l'assise argilo-crayeuse supérieure n'était pas allochtone, c'est-à-dire qu'il s'agirait de l'assise inférieure charriée sous le glacier. Il est difficile de trancher; l'absence des minéraux volcaniques existant dans la craie inférieure milite cependant contre cette hypothèse.

Seule la coupe II, la première étudiée, a été entièrement échantillonnée. Chaque prise consiste en une saignée de 0,2 à 0,5 m de longueur. Un de ces échantillons ayant révélé une teneur en hornblende brune légèrement supérieure à la normale, nous avons effectué des prises de plus en plus serrées. Nous avons pu ainsi localiser deux retombées très rapprochées, invisibles à l'œil nu. Comme les cendres de chaque niveau ont été dispersées sur 5 mm environ, il est impossible d'obtenir, dans les concentrations de minéraux lourds, une teneur en éléments volcaniques supérieure à 30% environ. Pour le niveau inférieur, ces derniers sont composés de: hornblende

brune, 93,5%; biotites brun-foncé et rouge, 6,5%. Signalons que ces biotites sont absentes dans les préparations où les minéraux volcaniques font pratiquement défaut. En plus nous avons relevé la présence de très rares augites (type peu coloré

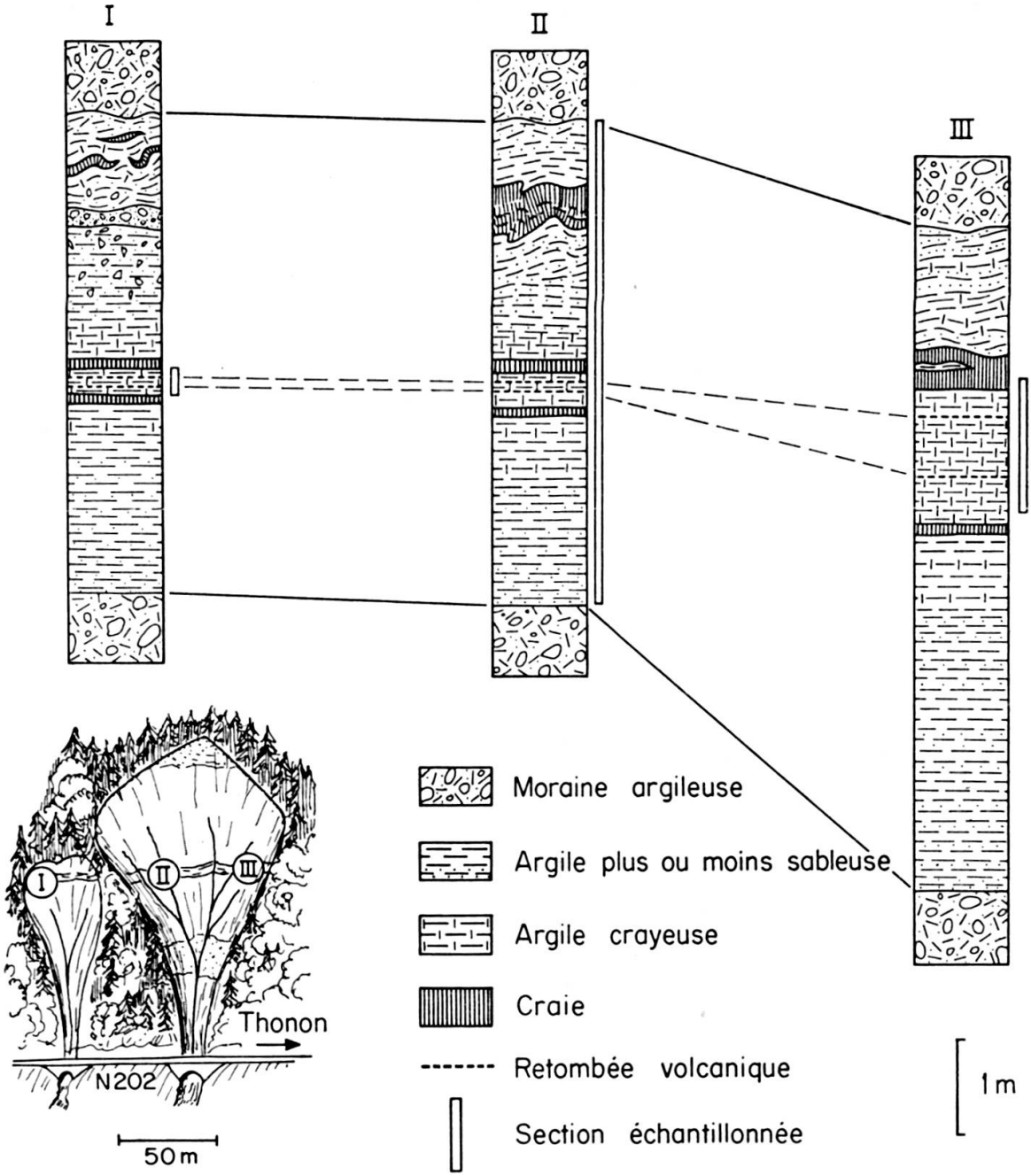

FIG. 11.

et jaune d'or, dispersif). Les minéraux lourds du niveau supérieur montrent une composition très semblable: hornblende brune, 91%; biotites brune et rouge, 6,5%; augite, 2,5%.

Un fait surprenant est l'extrême rareté des minéraux légers volcaniques. Dans les concentrés très légers du niveau supérieur où le quartz et les feldspaths ont été

éliminés, nous avons noté quelques très rares débris de verre vaccuolaire incolore et de basse réfringence. En plus, dans les deux niveaux, on remarque quelques fragments lamellaires dont l'habitus et les caractères optiques se rapportent à la tridymite.

Comme dans les retombées postglaciaires nous avons remarqué que la composition minéralogique pouvait varier considérablement dans un même niveau et sur de très courtes distances, nous avons étudié les deux autres coupes (I et III) dans l'espoir que les minéraux légers seraient mieux représentés. Malheureusement tel n'est pas le cas. Nous avons seulement noté dans le niveau supérieur de la coupe III plusieurs grains anguleux et limpides d'un feldspath potassique. L'angle des axes est bas et négatif; il s'agit peut-être de sanidine.

Nous n'avons pas effectué d'analyses palynologiques. M. BURRI (1963) donne les résultats de deux comptages. Une première analyse porte sur les argiles inférieurs et indique un environnement sans arbres. Une autre concerne la zone crayeuse et indique toujours un climat rigoureux quoique un peu plus boisé. Ainsi, bien que la position stratigraphique de ces deux prélèvements ne soit pas connu avec précision, il semble que lors du dépôt des retombées, le climat était froid.

Wasserfluh (canton de Berne). Nous avions espéré retrouver les deux retombées du pont de la Douceur dans l'interstadiaire de la Wasserfluh (E. GERBER, 1923) dont l'âge est également würmien (M. WELTEN et H. OESCHGER, 1957). Ces deux gisements peuvent être synchroniques si l'on admet que les datations au C 14 sont entachées d'une certaine imprécision.

Là où ces dépôts peuvent s'observer, dans une tranchée creusée antérieurement, on observe 4,30 m de graviers, sables et argiles à minces bancs ligniteux. Nous n'avons échantillonné que les sédiments fins par prise de 10 cm, prélèvements qui ne représentent en tout que le 50% de l'épaisseur totale de la coupe. Aucune retombée n'a pu être décelée; la teneur en sable était d'ailleurs trop forte. Remarquons qu'il existe une lacune à la base de ces dépôts. En effet on observe que le sommet de la moraine argileuse inférieure est altérée en un ancien sol (rubéfaction, traces de racines et Mollusques). Sur ce sol reposent les premières argiles interstadiaires varvées. Un échantillon prélevé à leur extrême base montre une abondance de pollens de pin et d'épicéa, ce qui indique une forêt déjà bien développée: la période de transition manque.

3. LOESS

Dans la partie moyenne de la vallée du Rhône, nous avons effectué des prélèvements par saignées dans diverses coupes signalées par F. BOURDIER (1962). Dans ces sédiments éoliens très sableux nous n'avons nulle part décelé de retombées. Signalons néanmoins les localités investiguées: Agnin (Isère, loess récent), Beauvallon (Drôme, loess ancien et récent), Saint-Vallier (Drôme, loess villafranchien) et Chonas (Isère, loess villafranchien).

4. Craies et lignites pliocènes

Le Pliocène marin, dans la vallée de la Galaure (Drôme) est surmonté par des couches lacustres. Vers l'ancienne mine de lignite d'Hauterives, nous avons effectué 10 saignées sur la totalité de l'épaisseur affleurante, soit 6 m de craie et argile ligniteuses. Au-dessus de Saint-Uze, nous avons échantillonné une coupe signalée par F. Bourdier (1962) qui montre 3 m de sédiments analogues.

Nous avions espéré déceler des retombées provenant du Massif Central français dont le volcanisme était actif à ce moment-là; malheureusement nous n'avons pas observé d'anomalie dans les minéraux lourds de ces deux localités. Il faut remarquer que les coupes étudiées ne représentent qu'une partie minime des sédiments pliocènes, lesquels affleurent très mal.

III. PÉTROGRAPHIE

1. Etude des minéraux

Plagioclases en phénocristaux

Nous n'avons étudié en détail que les plagioclases de la retombée supérieure et des niveaux volcaniques décelés en Provence. Les plagioclases de la retombée du Laachersee présentent moins d'intérêt car son origine géographique ne pose guère de problèmes. Nous avons déterminé la teneur en anorthite en recherchant, à l'aide de la platine universelle, l'angle maximum d'extinction par rapport au clivage 010 et en utilisant ensuite les courbes HT des abaques de P. Bordet (1963). On constate que les valeurs extrêmes sont 16% et 45% An, mais qu'elles s'échelonnent généralement entre 20 et 30%. Ces valeurs sont confirmées par l'estimation des indices *n'p* et *n'g*, lesquels ne sont négatifs et positifs que dans les grains à basse teneur en anorthite. On ne constate pas de différences significatives entre les trois localités étudiées (Baulmes, Saint-Rémy et Althen-les-Paluds).

Microlithes feldspathiques

Les microlithes que nous avons observés dans la retombée supérieure et à Saint-Rémy se présentent toujours sous la forme de tablettes losangiques à contour en dent de scie. Dans les préparations, ces microlithes sont généralement orientés de telle sorte que la face 010 est perpendiculaire à l'axe du microscope. Leur taille peut dépasser 350 microns. Ainsi que nous l'avons déjà dit, ils sont constitués de plagioclase faiblement zoné, enrobé d'une mince couche de feldspath alcalin. On constate également que la plupart de ces microlithes sont constitués de plusieurs individus

accolés mais non maclés. Lorsqu'un microlithe est monocristallin, il est possible de mesurer l'angle d'extinction par rapport à la direction 001, valeur qui est fonction de la teneur en anorthite. A cet effet nous avons utilisé la courbe publiée par C. BURRI *et al* (1967) concernant les feldspaths de haute température.

Les mesures portant sur les parties centrales d'un certain nombre de microlithes indiquent une teneur en anorthite de 24% (Bellefontaine), 22% (Burgäschi) et 24% (Saint-Rémy); compte tenu des variations aléatoires on peut donc dire que les microlithes de ces 3 localités sont minéralogiquement homogènes. La teneur en anorthite varie peu dans un même individu: du centre au bord elle ne s'abaisse que de quelques pour-cents. La bordure de feldspath alcalin, si l'on se base également sur l'angle d'extinction, est une sanidine à 20-40% d'albite.

Hornblende brune

La hornblende brune que nous avons rencontrée dans nos diverses retombées présente les caractères optiques suivants: biréfringence comprise généralement entre 0,020 et 0,025, angle des axes négatifs voisin de 70-80°, extinction de *ng* par rapport à la trace du clivage 100 variant de 5 à 8°, dispersion des axes $r < v$. D'après la terminologie de J. KLERKX (1964), il s'agit de syntagmatite, terme qui correspond à la hornblende brune la plus commune. Ainsi, si l'on se base sur l'ouvrage de W. A. DEER *et al.*, 1962), ces amphiboles sont classées sous le terme de hornblende basaltique.

Si toutes les hornblendes étudiées sont semblables par les caractères optiques vus précédemment, il existe de légères différences entre elles en ce qui concerne la teinte. Ainsi les hornblendes des retombées post-glaciaires ont les couleurs suivantes: *np* jaune-brun, *nm* brun foncé, *ng* brun foncé un peu verdâtre. Dans les deux retombées de l'interstadiaire du pont de la Douceur, on remarque que *ng* est plus franchement brun, sans nuances vertes. Cette distinction subtile n'apparaît clairement qu'en comparant les diverses préparations de minéraux lourds.

Dans toutes nos retombées, on remarque toujours de petites quantités de hornblende brune plus fortement oxydée: *ng* rouge acajou foncé et biréfringence plus forte (jusqu'à 0,06). Elle doit entrer dans la catégorie des oxyhornblendes.

Augites

Les augites de la retombée du Laachersee présentent trois variétés passant insensiblement de l'une à l'autre. On distingue ainsi une augite d'un vert plus ou moins marqué à tendance aegyrinique nette; c'est le type le plus répandu. On note ensuite une augite violacée, titanifère, et une variété jaune très dispersive.

Dans la retombée supérieure, de même qu'à Althen-les-Paluds et à Saint-Rémy, on relève les mêmes variétés d'augite mais avec quelques différences. Ainsi le type le plus commun est généralement peu coloré avec des teintes vertes moins prononcées que dans la retombée du Laachersee et un pléochroïsme à peine sensible. L'augite titanifère est assez peu commune et la variété jaune très dispersive n'a été rencontrée

qu'en de très rares grains (Saint-Rémy, Genin). Un autre caractère qui les distingue des augites de la retombée du Laachersee est leur aspect fréquemment denticulé.

Dans les niveaux du pont de la Douceur, l'augite est très rare; on y relève surtout la présence d'un type peu coloré. Les variétés violettes et jaunes mentionnées plus haut sont également présentes.

Biotites

Dans les retombées étudiées, on rencontre deux variétés de biotite. Une première forme des paillettes de teinte rouge, quelquefois cernées de coronas réactionnelles de granules noirâtres. Dans quelques cas (Genin), on observe une zone bordière verdâtre. Les caractères optiques montrent parfois un angle des axes normal, c'est-à-dire assez bas. Généralement il est beaucoup plus élevé et peut atteindre 70° environ. La dispersion est extrêmement forte ($r < v$) lorsque 2V est grand. Dans quelques cas on observe que *ng* est légèrement incliné par rapport au clivage basal. Les teintes de pléochroïsme sont: *np* jaune brunâtre clair, *nm* jaune-orange, *ng* rouge-orange.

La deuxième variété de biotite présente une teinte brune, parfois presque opaque lorsque les lamelles sont épaisses. Les caractères optiques ne sont pas aberrants dans la majorité des cas bien que l'on observe également les mêmes anomalies. Le pléochroïsme (*nm* brun-verdâtre, *ng* brun-foncé) que l'on observe sur les lamelles orientées parallèlement à la préparation, ce qui est généralement le cas, montre des teintes évoquant celles de la hornblende brune. Nous n'avons pas observé d'auréoles réactionnelles autour de cette biotite.

Apatite

Dans la retombée supérieure, de même qu'à Althen-les-Paluds et à Saint-Rémy, on observe de l'apatite en prismes parfaitement limpides à faces cristallines bien développées. Ces prismes peuvent être allongés et aciculaires ou au contraire assez trapus; plusieurs individus sont souvent accolés.

Les inclusions sont fréquentes et de plusieurs types. Il peut s'agir d'inclusions solides, comme par exemple de très petits zircons, vitreuses avec des bulles gazeuses ou entièrement gazeuses.

A Althen-les-Paluds et à la Grande Buge nous avons observé de rares prismes remplis de fines inclusions brunâtres provoquant un pléochroïsme apparent: *np* brun-roux foncé, *ng* brunâtre.

2. Variations de la composition minéralogique

Nous nous sommes déjà rendu compte dans la partie descriptive qu'une même retombée pouvait, d'un point à l'autre, avoir une composition minéralogique très variable quantitativement. Pour la retombée du Laachersee nous pouvons citer les variations les plus significatives. Ainsi la teneur en débris xénolithiques est très

capricieuse: Au Dittligersee elle est voisine de 25 % des minéraux légers, alors qu'elle monte à près de 90 % à Burgäschi. Les débris vitreux (ponces) peuvent être très rares ou même totalement absents et très abondants en d'autres (Dittligersee). Les minéraux lourds montrent également d'importantes variations dont la plus caractéristique est celle de la hornblende par rapport à l'augite. Dans quatre cas (Burgäschi, Dittligersee, Poisy et Genin), la teneur en augite est égale ou supérieure à celle de la hornblende. Dans les autres cas, l'amphibole domine: le cas extrême est celui de Virieux-le-Grand où l'on a 94,5 % de hornblende pour 3 % d'augite. Citons encore la biotite qui est présente en petite quantité dans deux localités (Poisy et Coinsins I) et absente dans les autres.

Nous avons aussi constaté des différences notoires entre deux points très rapprochés. Par exemple à Coinsins, où deux sondages ont été effectués à 100 m l'un de l'autre dans le même ancien petit lac: en I le verre est abondant alors qu'il est rare en II. De plus la biotite n'est présente que dans le sondage I.

La retombée supérieure montre également des variations locales dans la composition quantitative. La plus spectaculaire est celle qui existe entre les deux sondages du lac Genin, distants de 200 m. Au premier sondage on constate, parmi les minéraux lourds, des proportions à peu près égales de hornblende brune, augite et biotite alors qu'au second la hornblende est presque uniquement représentée.

Il apparaît clairement qu'il ne s'agit pas de variations dues à des sources volcaniques différentes, mais d'une altération de la composition primaire des cendres. A Burgäschi, par exemple, la composition du niveau du Laachersee est très particulière (très grande abondance de xénolithes) et difficilement compatible avec celle que l'on peut observer aux alentours immédiats du volcan. De plus il est facile de constater que ces variations n'obéissent à aucune loi de distribution géographique.

Il ne s'agit pas d'une différenciation éolienne semblable à celle des cendres du volcan Quizapu (W. Larsson, 1935), phénomène apparemment en relation avec l'éloignement de la source. Le fait que des variations importantes existent entre deux lieux très rapprochés semble écarter cette possibilité. Il faudrait peut-être attribuer cette différenciation à un effet de flottation: certains minéraux coulent immédiatement alors que d'autres restent à la surface. On peut supposer que le vent a poussé les minéraux surnageants et les a concentrés en une zone donnée où ils finissent par sombrer. Par exemple à Burgäschi on constate que l'abondance des débris xénolithiques va de pair avec une épaisseur anormale (1 cm): suivant cette hypothèse il est plausible que ces débris, surtout des fragments de schistes ardoisiers, ont flotté et ont été accumulés sur une rive du lac, là où le vent les a poussés. Une série de sondages seraient nécessaires pour vérifier cette hypothèse.

En ce qui concerne le verre, on pourrait supposer une altération postérieure au dépôt, laquelle l'aurait fait disparaître. C'est ce que nous avions partiellement admis dans un précédent travail (J. Martini et J. J. Duret, 1965). Depuis lors nous avons

observé des débris de ponces et constaté que le verre est d'une très grande fraîcheur, sans début d'altération. L'hypothèse d'une élimination par flottation est la plus plausible.

Dans les environs immédiats du Laachersee, on observe dans la partie supérieure du recouvrement de ponces une augmentation de la hornblende par rapport à l'augite (J. FRECHEN, 1962). Comme la hornblende était prédominante dans la retombée étudiée dans les environs de Genève, nous avions pensé qu'il fallait incriminer la dernière phase éruptive (J. MARTINI et J. J. DURET, 1965). D'après ce que nous avons vu plus haut, cette hypothèse est remise en question: l'enrichissement en hornblende a peut-être une origine secondaire.

A Burgäschi, comme la retombée est épaisse, nous avons effectué des préparations de minéraux lourds à la base, dans la partie médiane et au sommet. Nous avons ainsi constaté que le niveau de cendre est minéralogiquement homogène: dans la partie sommitale, la hornblende n'est pas plus abondante par rapport à l'augite. On ne peut donc pas mettre en évidence les diverses explosions de la région du Laachersee.

En Belgique d'autres auteurs (A. K. HULSHOF *et al.*, 1968) ont également observé une teneur anormalement élevée en hornblende et s'en sont servi comme argument pour mettre en doute l'origine du Laachersee, bien que le diagramme palynologique indique un âge convenable.

Notre étude montre clairement qu'il ne faut pas tenir compte de la composition quantitative, ni même de l'absence d'un minéral caractéristique d'une éruption donnée. L'ignorance de cette loi peut conduire à des conclusions aberrantes.

IV. AGE DES RETOMBÉES POST-GLACIAIRES ET PROBLÈMES PALYNOLOGIQUES

La retombée du Laachersee ne pose guère de problèmes chronologiques. Elle a été bien étudiée par les auteurs et est suffisamment caractéristique pétrographiquement. Par la palynologie et le radiocarbone, elle apparaît intercallée dans l'Alleröd. Dans nos sondages, nous avons toujours constaté sa présence dans la zone du pin *(s.l.)*, ce qui est conforme.

Le niveau rencontré dans la partie septentrionale de notre territoire et que nous avons nommée « retombée supérieure » pour la commodité de l'exposé, pose plus de problèmes. A Burgäschi et au lac de Bellefontaine, où les périodes boréales et atlantiques sont bien étalées, on constate qu'il est intercalé dans la zone caractérisée par la grande abondance du noisetier. Dans ces deux localités, on remarque également que la retombée coïncide avec le moment où le tilleul commence à être bien représenté parmi la chênaie mixte. Au Dittligersee elle passe aussi dans le maximum du noisetier bien que la condensation des zones ajoute de l'imprécision. Au marais de la Grande Buge et au lac de Chalain la situation stratigraphique semble identique quoique moins certaine. Par contre au lac Genin la position de cette retombée supérieure diffère.

Dans le sondage I, elle passe sans ambiguïté au-dessus du maximum du noisetier, c'est-à-dire dans la zone de la chênaie mixte; le deuxième sondage confirme ce fait.

D'après le contexte pétrographique, stratigraphique et granulométrique (ce dernier sera détaillé plus loin), il n'est guère possible d'admettre que la retombée supérieure ne représente pas partout un niveau dû à une même éruption. Il semble donc que la fin de la prolifération du noisetier ne s'est pas produite partout au même moment, contrairement à ce qui est souvent admis. Il n'est donc guère possible de donner un âge précis d'après nos diagrammes palynologiques, d'autant plus qu'ils sont relativement sommaires. On peut supposer que l'intervalle chronologique dans lequel s'est produit cette éruption doit comprendre en tout cas la moitié supérieure du Boréal et la moitié inférieure de la chênaie mixte (de —6200 à —4000 av. J. C).

Les retombées rencontrées dans le Midi de la France à St-Rémy et à Althen-les-Paluds sont plus difficiles à dater. Si ces niveaux ne forment qu'un avec la « retombée supérieure » le problème de l'âge serait évidemment le même que précédemment. A St-Rémy la composition minéralogique est très semblable. Le diagramme palynologique montre en outre une similitude chronologique possible. Par contre à Althen-les-Paluds, on observe une différence plus marquée car les microlithes si typiques font défaut. Nous avons vu que l'absence d'un minéral ne constitue pas nécessairement un obstacle; il pourrait donc bien s'agir du même niveau qu'à St-Rémy, d'autant plus que les deux localités ne sont pas éloignées l'une de l'autre. Nous admettons comme probable que ces deux niveaux provençaux correspondent à la « retombée supérieure ».

V. ORIGINE ET EXTENSION DES RETOMBÉES

1. Retombée du Laachersee

Le niveau de cendre dû à une des phases éruptives du Laachersee s'identifie facilement. D'après la composition minéralogique, la position stratigraphique et la large extension déjà reconnue par les auteurs, il ne pose pas de problèmes quant à son origine. Par contre nous avons vu précédemment qu'il est difficile d'exiger plus de précisions, c'est-à-dire de vouloir distinguer les diverses phases explosives.

Nous avons tenté en vain de mettre en évidence une croissance granulométrique en direction de centre éruptif: les mesures montrent que la taille des grains est pratiquement constante dans les différentes localités étudiées. Il n'est pas non plus facile de déterminer exactement l'extension de cette retombée: le fait que nous ne l'ayons pas observée au lac de Chalain ne constitue probablement pas un argument suffisant pour affirmer que vers l'Ouest elle ne s'est pas déposée au-delà de la chaîne juras-

sienne. En direction du sud, nous ne disposons également que d'un seul point sûrement négatif (la Motte-qui-tremble). Dans l'état actuel des recherches, il est donc difficile de savoir si les cendres du Laachersee ont atteint la Provence ou pas.

2. Retombée supérieure

Dans un précédent travail, nous avions déjà attribué à cette retombée une origine auvergnate (J.-J. Duret et J. Martini, 1965). Cette origine se déduisait de la très forte taille des minéraux, fait militant en faveur d'un centre volcanique proche, et de l'âge récent coïncidant avec certaines éruptions de la chaîne des Puys. D'autre part, on pouvait exclure l'Eifel, dont les dernières éruptions remontent à —11.000 ans B.P. (P. D. Jungerius *et al.*, 1968).

Les mesures granulométriques et les aires de répartitions semblent confirmer l'origine auvergnate. On remarque que la taille des grains semble décroître lentement en direction de l'E.-N.-E. (fig. 12) et que vers le sud la retombée supérieure disparaît rapidement. Ainsi, bien que le nombre des points étudiés soit malheureusement trop faible pour que l'on puisse tirer des conclusions définitives, il semble que les cendres ont été transportées par des vents soufflant de l'W.-S.-W. et se sont déposées surtout le long d'un axe approximatif, lac de Chalain-Dittligersee. Si l'on admet que les niveaux rencontrés en Provence ont la même origine, il s'avère que durant l'éruption les vents ont également soufflé en direction du S.-E.

On peut maintenant rechercher le volcan responsable de cette retombée. D'après la composition minéralogique et l'âge, il doit s'agir d'un appareil éruptif acide holocène. En Auvergne, seule la chaîne des Puys répond à ces conditions. Pour déterminer l'origine, nous nous sommes basés sur la littérature et sur quelques prélèvements effectués sur place.

Il est indispensable de rappeler ici en quelques lignes les caractéristiques du volcanisme trachytique de la chaîne des Puys. Signalons que ces vues sont provisoires et susceptibles de modifications dans un avenir proche.

Les volcans ayant indubitablement émis des roches acides (trachytes) sont peu nombreux dans la chaîne des Puys: Nugère, Coquille, Chopine, Grand-Sarcui, Clierzou, Petit-Suchet et Puy-de-Dôme. Certains auteurs (par exemple Ph. Glangeaud, 1913) ont indiqué un nombre plus considérable de cônes de nature trachytique. Pour beaucoup de ceux-ci (mais pas tous) on peut montrer qu'il s'agit en fait de volcans plus basiques recouverts d'un mince (1-2 m) manteau de ponces trachytiques dont l'origine est allochtone.

Ainsi dans la chaîne des Puys il existe au moins deux importants manteaux de ponces. Au nord du puy de Dôme on observe surtout des scories trachytiques à biotite et augite aegyrinique provenant peut-être d'un seul centre (puy Chopine ?). Plus au sud, principalement entre le puy de Dôme et le puy de Mercœur, on rencontre un manteau de ponces à hornblende et biotite.

Le problème de l'origine exacte de ces ponces à hornblende et biotite peut se poser. Cette question est d'autant plus intéressante que, comme nous le verrons, elles correspondent à notre retombée supérieure. Si l'on se base sur les récentes

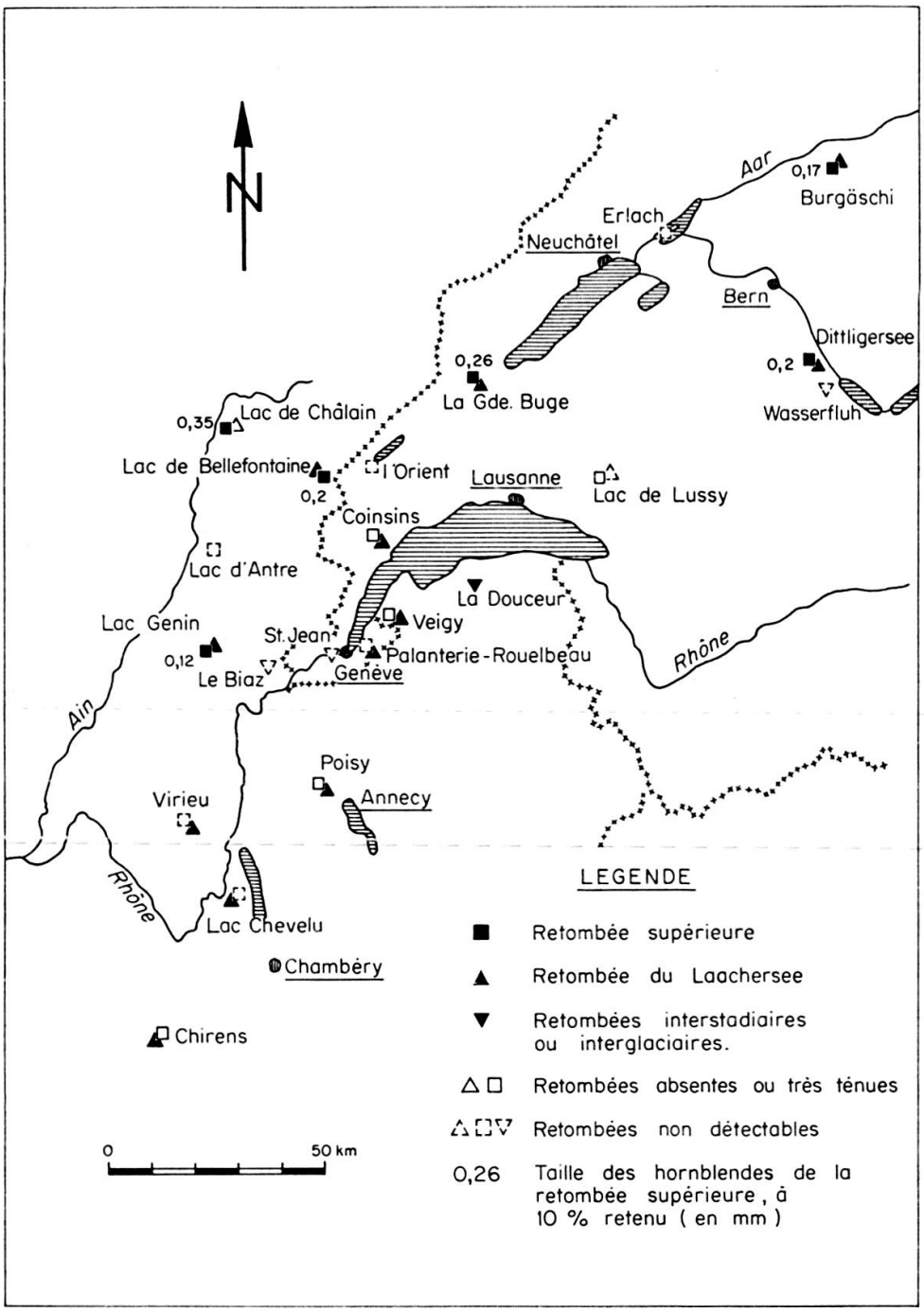

FIG. 12.

observations de A. RUDEL (1967), il faut écarter la possibilité du puy de Dôme proprement dit, laquelle était admise par V. BENTOR (1955): l'origine est probablement multiple et doit être recherchée dans les puys situés immédiatement au sud du

puy de Dôme (principalement le puy de Grosmaneaux). Cependant, dans nombre de cas, une origine des ponces à partir de ces volcans se heurte à quelques difficultés. Ainsi au puy de Grosmaneaux, la partie haute du cône montre surtout des scories basaltiques mêlées à 20% environ de trachyte à aiguilles de hornblende. Ce fait semble indiquer que la masse essentielle du volcan est de nature basique et est recouverte d'un manteau de ponce relativement mince et allochtone: là où la pente est plus forte (partie sommitale), il a été plus ou moins éliminé par érosion et a été remanié avec les scories sous-jacentes. Ces faits avaient été observés sur de nombreux puys par Ph. GLANGEAUD (1913) mais interprétés différemment. Ainsi le même raisonnement peut s'appliquer aux puys Besace, Montchier, Laschamps et Barme.

Personnellement nous serions tentés de voir pour ces ponces une origine unique. De telles éruptions sont connues ailleurs; elles sont généralement violemment explosives et peuvent recouvrir de ponces de vastes superficies (par exemple Laachersee). L'origine exacte du manteau de trachyte à hornblende et biotite semble donc encore imprécise. Peut-être doit-elle être quand même localisée plus ou moins à l'emplacement du Puy-de-Dôme.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, les ponces à hornblende et biotite correspondent bien à la retombée supérieure. L'âge mesuré au carbone 14 (R. BROUSSE *et al.*, 1966) est concordant dans des limites satisfaisantes. Au point de vue minéralogique nous y avons observé les mêmes hornblendes, biotites et augites. On retrouve également des feldspaths identiques (phénocristaux et microlithes). Y. BENTOR (1955) signalait dans les blocs du puy Lacroix des microlithes différents des nôtres, constitués uniquement de feldspaths alcalins. Nous avons constaté qu'il n'en est rien et qu'il s'agit également de plagioclases gainés de feldspaths potassiques; la teneur en anorthite est identique à celle des microlithes de la retombée supérieure. Parmi les minéraux secondaires on remarque encore une certaine analogie entre les apatites: dans les deux cas on observe des prismes fréquemment accolés.

3. RETOMBÉES DE L'INTERSTADIAIRE DU PONT DE LA DOUCEUR

L'origine des deux retombées du pont de la Douceur est plus difficile à établir; ici nous ne pensons pas pouvoir trancher mais envisager et décrire les diverses possibilités. D'après l'âge et la nature pétrographique, laquelle se rapporte à une rhyolite ou à un trachyte (voir précédemment), les trois régions volcaniques les plus proches pouvant éventuellement entrer en ligne de compte sont l'Auvergne, l'Eifel et l'Italie. Nous n'envisageons pas les autres possibilités dont les plus rapprochées sont en fait assez éloignées (p. ex.: Grèce, Turquie); elles ne peuvent pourtant pas être exclues à priori. D'après les caractères communs existant entre ces retombées proches l'une de l'autre au point de vue stratigraphique, deux éruptions se sont produites à quelques siècles d'intervalle.

Auvergne. D'après les caractères pétrographiques généraux et l'âge pleistocène supérieur, seule la chaîne des puys peut être envisagée. Dans ce cas là il faudrait chercher parmi les volcans trachytiques autres que ceux qui ont émis les manteaux domitiques superficiels et récents (voir précédemment). La composition minéralogique de ces puys (Sarcui, Clierzou, Petit-Suchet, Coquille et Nugère), d'après Y. BENTOR (1955), ne coïncide qu'imparfaitement avec celle des retombées du pont de la Douceur. Ceci ne nous permet pas d'écarter l'Auvergne: il est possible que les puys trachytiques plus anciens (s'ils le sont vraiment!) aient émis des manteaux de ponces dont la composition serait différente par rapport aux roches actuellement visibles. Ces ponces seraient actuellement enfouies sous des projections variées plus récentes.

Eifel. Dans cette région, un certain nombre d'éruptions explosives se sont produites durant le Würm. Leur succession chronologique est bien mise en évidence dans la carrière de Kärlich où l'on observe des niveaux cinéritiques interstratifiés dans des Loess (J. FRECHEN, 1962). Parmi ces niveaux, on observe en tout cas quatre horizons leucocrates dont les plus anciens (« Bims I, II et III ») sont de nature phonolithique et correspondent aux explosions du « Wehrerkessel ». Ce caractère alcalin écarte la relation possible qui pourrait exister avec les retombées du pont de la Douceur. En outre M. le professeur J. FRECHEN nous a aimablement remis des prélèvements des ponces I et II ce qui permet de constater que la hornblende présente des teintes tirant fortement sur le vert, caractère qui est éliminatoire.

Il ne reste comme possibilité que le dernier niveau de ponce (IV) qui est peut-être en relation avec les dernières explosions du Wehrerkessel (« Hüttenbergtuff »). Cette dernière manifestation, moins importante que les précédentes, est moins alcaline. Ces tufs montrent l'association: sanidine sodique, plagioclase, augite diopsidique et aegyrinique, hornblende basaltique, biotite, magnétite, sphène, apatite et zircon. On pourrait éventuellement envisager cette origine d'autant plus que l'âge indiqué par J. FRECHEN (1962) est satisfaisant (un peu moins de —25.000 ans B.P.).

Parmi les niveaux basaltiques de la carrière de Kärlich nous avions également retenu la possibilité des « Brockentuff ». Ces tufs ont été engendrés par deux éruptions rapprochées dans le temps. Il s'agit d'explosions assez violentes puisque l'on observe leurs retombées jusqu'à 100 km du point d'origine. L'âge est satisfaisant (environ —25.000 ans B.P.). M. le professeur J. FRECHEN nous a également envoyé des échantillons; il s'avère que la possibilité des « Brockentuff » doit être écartée (nature du verre et de l'augite).

Italie. Nous n'avons pas personnellement étudié les possibilités italiennes. Par contre nous avons soumis le problème à M. le professeur M. MITTEMPBERGER. Selon lui on peut écarter le volcanisme acide et intermédiaire toscan, d'après l'âge des retombées du pont de la Douceur, de même que celui de l'Italie centrale et méridionale; ce dernier est plus récent et de caractère alcalin-potassique.

Les roches volcaniques d'Ischia qui renferment des amphiboles sont alcalines; de plus elles ne montrent pas de hornblendes comparables aux nôtres (A. RITTMANN, 1948). En ce qui concerne les îles Eoliennes, le Dr H. PICHLER, nous a indiqué que cette possibilité peut être écartée sans équivoque.

En résumé, une origine italienne semble peu probable. Cependant, il faut remarquer que les possibilités examinées ne portent que sur les volcans actuellement subaériens: nous n'avons pas tenu compte des volcans sous-marins du S.-E. de la mer Tyrrhénienne et de la partie de la Méditerranée comprise entre la Sicile et la Tunisie. Dans ces régions, il est probable que certains volcans étaient exondés durant les périodes froides, lorsque le niveau des mers était plus bas. Ces volcans sont très mal connus et pourraient éventuellement entrer en ligne de compte.

4. CONCLUSIONS

Il apparaît que la détection des retombées volcaniques représente un travail de longue haleine dès que l'on s'éloigne des massifs volcaniques. De plus nous avons vu que leur identification d'un point à l'autre, même si l'on ne connaît pas leur origine, peut poser certains problèmes inattendus. Retrouver les volcans originels implique que le volcanisme d'une région donnée soit très bien connu, ce qui n'est pas encore réalisé partout. Enfin, dans l'ensemble, on sera mieux renseigné lorsque les retombées seront identifiées en de plus nombreux points.

BIBLIOGRAPHIE

AUBERT, D. (1943). — Monographie géologique de la vallée de Joux. *Beitr. Geol. Karte Schweiz (N.F.)*, Lfg. 78, pp. 51-134.

BECKER, J. (1952). — Etude palynologique des tourbes flandriennes des Alpes françaises. Thèse. *Mém. Serv. Carte Géol. Alsace Lorraine*, n° 11, 61 p.

BENTOR, Y. K. (1955). — La chaîne des Puys. *Bull. Serv. Carte Géol. France*, n° 242, t. III, 433 p.

BLAVOUX, B. et A. BRUN (1966). — Nouvelles données sur les terrains quaternaires de la région lémanique. *C. R. Acad. Sciences Paris*, t. 262, pp. 2569-2572.

BORDET, P. (1963). — Courbes pour la détermination des feldspaths plagioclases H.T. et B .T.dans la zone perpendiculaire à g^1 (010). *Bull. Soc. Française Minér. Crist.*, 86, pp. 206-207.

BOURDIER, F. (1962). — Le bassin du Rhône au Quaternaire. *Editions du C.N.R.S.*, Paris, 364 p.

BROUSSE, R., G. DELIBRIAS, J. LABEYRIE et A. RUDEL (1966). — Datation par la méthode du C_{14}, d'une éruption domitique de la chaîne des Puys. *C.R.Acad. Sciences, Paris*, t. 263, p. 1812-1815.

—— et G. DELIBRIAS (1969). — Une éruption vieille de 6660 ans en Auvergne. *Ibidem*, t. 268, p. 1175-1177.

BRUN, A. (1966). — Révision de la stratigraphie des dépôts quaternaires dans la basse vallée de la Dranse, Hte- Savoie. *Rev. Géogr. Phys. et Géogr. Dynamique*, (2), VIII, pp. 399-404.

BURRI, C., R. L. PARKER et E. WENK (1967). — Die optische Orientierung der Plagioclase. Birkhäuser, Basel, 334 p.

BURRI, M. (1963). — Le Quaternaire des Dranses. *Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne*, n° 142, 34 p.

DEER, W. A., R. A. HOWIE et J. ZUSSMAN (1962). — Rock-Forming Minerals. Vol. 2, Longmans, London, 379 p.

DURET, J.-J. et J. MARTINI (1965). — Un niveau de cendres volcaniques dans la craie lacustre du lac de Châlain (Jura français). *Archives des Sciences, Soc. Phys. Hist. nat. Genève*, Vol. 18, fasc. 3, pp. 679-686.

—— (1968). — Présence d'un niveau interglaciaire à Mollusques dans le nant du Biaz (départ. de l'Ain, France). *Ibidem*, vol. 2, fasc. 3, pp. 205-210.

FAVRE, J. (1927). — Les Mollusques post-glaciaires et actuels du bassin de Genève. *Mém. Soc. Phys. et Hist. nat. Genève*, t. 40, pp. 171-436.

FIRTION, F. (1950). — Contribution à l'étude paléontologique, stratigraphique et physico-chimique des tourbières du Jura français. *Mém. Serv. Carte Géol. Alsace Lorraine*, t. 10, 92 p.

FRECHEN, J. (1962). — Führer zur vulkanologisch-petrographischen Exkursionen im Siebengebirge am Rhein, Laacher Vulkangebiet und Maargebiet der Westeifel. Stuttgart, 151 p.

GERBER, E. (1923). — Die Schieferkohlenlager im Glütschtal. *Beitr. Geol. Schweiz Geotechn.* Ser. VIII Lief., S. 102-105.

GLANGEAUD, Ph. (1913). — Les régions volcaniques du Puy de Dôme. II. La chaîne des Puys. *Bull. Serv. Carte Géol. France*, t. 22, 256 p.

HOFMANN, F. (1963). — Spätglaziale Bimsstaublagen des Laachersee-Vulkanismus in schweizerischen Mooren. *Ecl. Geol. Helvetiae*, Vol. 56, n° 1, pp. 147-164.

HULSHOF, A. K., P. D. JUNGERIUS and P. A. RIEZEBOS (1968). — A late-glacial volcanic ash deposit in south-eastern Belgium. *Geol. Mijn.*, V. 47 (2), pp. 106-111.

JAYET, Ad. (1969). — Les sédiments de la Grande-Buge près de Baulmes (Vaud, Suisse). Essai d'une corrélation entre malacologie et palynologie. *Arch. Sc. Genève*, vol. 22, fasc. 1, pp. 11-17.

JUNGERIUS, P. D., P. A. RIEZEBOS and R. T. SLATBOOM (1968). — The Age of Eifel Maars as shown by the presence of Laachersee ash of Alleröd Age. *Geol. Mijn.*, Vol. 47 (3), pp. 199-205.

KLERKX, J. (1964). — Sur la présence de syntagmatite à l'Etna. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, T. 87, pp. 147-157.

LARSSON, W. (1935). — Vulkanische Asche vom Ausbruch des chilenischen Vulkans Quizapu (1932) in Argentina Gesammelt. *Geol. Inst. Upsala Bull.*, V. 26, pp. 27-52.

MARTINI, J. et J.-J. DURET (1965). — Etude du niveau de cendres volcaniques des sédiments post-glaciaires récents des environs de Genève. *Archives des Sciences, Soc. Phys. Hist. nat. Genève*, Vol. 18, fasc. 3, pp. 563-575.

RITTMANN, A. (1948). — Origine e differenziatione del Magma Ischitano. *Bull. Suisse Min. Pétr.*, T. XXVIII, pp. 643-698.

RUDEL, A. (1967). — Le Puy de Dôme et ses éruptions. *Bull. hist. et scient. de l'Auvergne*, T. 84, pp. 25-35.

VERNET, J.-L. (1967). — Premiers résultats de l'étude anatomique de charbons de bois préhistoriques de la région méditerranéenne française. *Bull. Ass. française Etude Quaternaire*, 12, pp. 211-222.

WEGMLLÜER, S. (1966). — Über die spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte des südwestlichen Jura. *Beitr. geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz*, Heft 48, S. 1-142.

WELTEN, M. und H. OESCHGER (1957). — Erste Ergebnisse von C-14 Altersbestimmungen zur Vegetationsgeschichte der *Schweiz. Verh. Schweiz Naturf. Ges., Neuenburg*, pp. 88-90.