

Une nouvelle analyse pollinique de la banquette du Tremblay et son rapport avec le Pléistocène supérieur du Val du Bourget (Savoie)

par Wilhelmus GREMMEN* et Christian HANNSS**

RÉSUMÉ. — Nous étudions ici les banquettes du Val du Bourget sous leur aspect géomorphologique, en tenant compte des récents résultats concernant leur stratigraphie. Dans ce contexte, nous nous référons à un nouveau diagramme de formations ligniteuses incorporées à la partie sud de la banquette du Tremblay. Ce diagramme met en évidence la fin de l'interglaciaire du Ruisseau des Combes corrélé avec l'Eémien et la phase interglaciaire du Tremblay équivalent de St. Germain I de la Grande Pile. Nous comparons ces données avec celles fournies par les trois séquences principales qui déterminent la stratigraphie des banquettes dans le Val du Bourget. Les sédiments qui constituent ces séquences principales reflètent plus ou moins le «cycle de sédimentation pléistocène». L'ensemble des informations lithostratigraphiques et biostratigraphiques détaillées permettent de proposer une chronostratigraphie allant du Mindélien à la fin du Würmien précoce. En outre, il est discuté la possibilité que les glaciations rencontrées dans le Val du Bourget puissent être corrélées avec les glaciations de la Saale, de la Warthe et du Weichsel.

MOTS CLÉS. — Géomorphologie glaciaire, banquettes, Pléistocène supérieur, Eémien, St. Germain I et II, Würm précoce, lithostratigraphie, biostratigraphie, chronostratigraphie, palynologie, sédimentologie.

A new pollen analysis of the banquette of Tremblay and his relation to the Upper Pleistocene in the Val du Bourget (Savoie)

ABSTRACT. — The main relief features and the stratigraphic structure of the banquettes in the Val du Bourget are described. A new, not yet published pollen diagram of lignitic deposits from the southern part of the banquette of Le Tremblay is exposed in his relation to the stratigraphy of the banquettes. The pollen diagram shows the end of the Ruisseau des Combes interglacial which is correlated with the Eemian and the interglacial period of Le Tremblay equate of the St. Germain I in the Grande Pile. All this results are compaired with the three principal sequences which determine the stratigraphy of the banquettes in the Val du Bourget. The deposits forming this principal sequences reflect more or less the «pleistocene cycle of sedimentation». The total of the litho- and biostratigraphic informations allow to propose a chronostratigraphic system going from the Mindel to the end of the Early Würm. Over that, the possibility is discussed, if the glaciations found in the Val du Bourget could be correlated with the Saale, Warthe and the Weichsel Glacial Period.

KEY WORDS. — Glacial geomorphology, banquettes, Upper Pleistocene, Eemian, St. Germain I and II, Early Würm, lithostratigraphy, biostratigraphy, chronostratigraphy, palynology, sedimentology.

* Biologisch-Archaeologisch Instituut, Poststraat 6, NL-9712, ER Groningen, Pays Bas.

** Geographisches Institut, Hölderlinstrasse 12, D-72074 Tübingen, Allemagne.

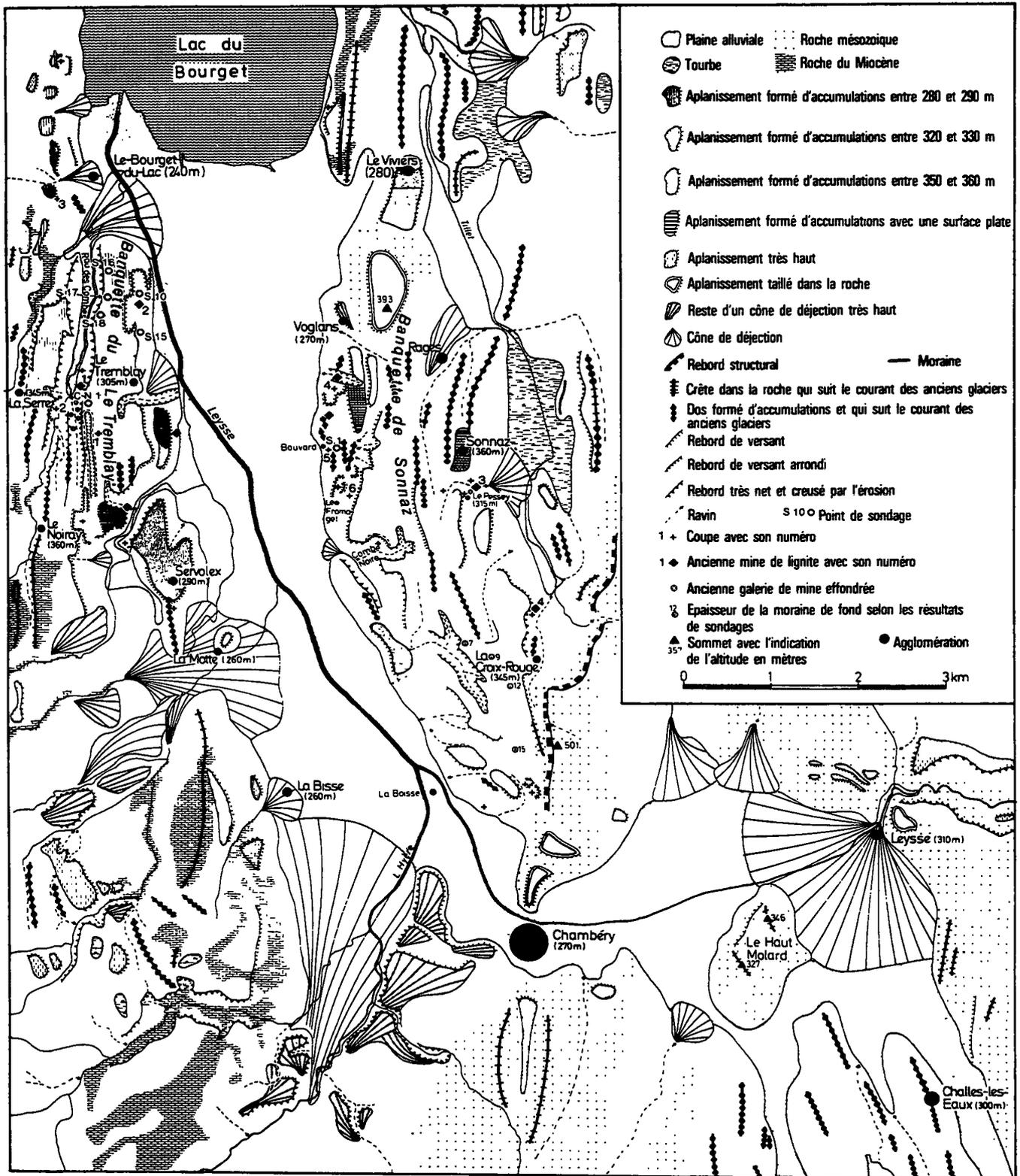


FIG. 1. - Les traits essentiels du relief dans le Val du Bourget.

Les numéros des coupes signifient : 1, Gravière à l'Est du Fort. 2, Gravière en rive gauche (Ouest) du Ruisseau des Combes. 3, Coupe au-dessous des Ciseaux. 4, Grande gravière de Voglans. 5, Coupe Voglans-Bouvard. 6, Coupe au-dessus de Fromaget. 7, Coupe à lignites où la coupe du «Pont de la Charrière» se situe entre le numéro 2 des coupes et le numéro 2 des anciennes mines de lignite.

Les numéros des anciennes mines de lignite signifient : 1, Ancienne mine de lignite dans le Ruisseau des Combes. 2, Ancienne mine de lignite sur le terrain de la gravière de l'aéroport militaire du Bourget. 3, Ancienne mine de lignite à Pessey-Sonnaz. 4, Ancienne mine de lignite à la Croix-Rouge.

1. – LES TRAITS FONDAMENTAUX DU RELIEF DANS LE VAL DU BOURGET

Le Val du Bourget relie la cluse de Chambéry au Lac du Bourget. Il représente une dépression marquée dont les rebords sont constitués par la montagne du Chat à l'Ouest et les falaises de la face occidentale des Bauges à l'Est. Ces reliefs sont essentiellement formés de strates calcaires appartenant au Jurassique et au Crétacé [fig. 1 et Debelmas, 1970, p. 10].

La partie centrale du Val du Bourget représente une grande plaine alluviale traversée par la Leysse. Elle est constituée de dépôts à la fois marécageux, lacustres et fluviaux. Encore de nos jours, le delta de la Leysse s'avance lentement dans le Lac du Bourget, de sorte que le lac perd de plus en plus en superficie, en même temps que son niveau d'eau s'élève par suite de la sédimentation du Rhône au Nord.

La plaine alluviale de la Leysse est encadrée par les «banquettes» de Sonnaz à l'Est et du Tremblay à l'Ouest (fig. 1). Les **banquettes** au sens retenu ici ressemblent à première vue à des terrasses fluviales. Mais leur surface ondulée et leur couverture plus ou moins épaisse de matériau morainique indiquent clairement qu'elles ont été façonnées à la fin de leur genèse géomorphologique par le passage d'un glacier. Il s'agit presque toujours d'un glacier du Würmien. Ainsi les banquettes remplacent, en amont des moraines internes et généralement à l'intérieur des Alpes, les terrasses fluviales qui prédominent à l'extérieur des Alpes, en aval des fronts morainiques würmiens.

Récemment Gidon [1992, p. 65, 67] a utilisé le terme de «banquettes» sous un sens tout à fait autre : les formes ainsi désignées, observées à l'intérieur des arcs morainiques des fronts de retrait de Würm II du bas Dauphiné (qui étaient rangées dans les «terrasses externes» dans une publication antérieure [Gidon *et al.*, 1968, p. 132]), marquent là des pauses dans le mouvement de retrait du front glaciaire, entre deux stades individualisés par leurs vallums morainiques. Elles sont polygéniques puisqu'il s'agit partiellement de replats périglaciaires dus à l'érosion des eaux de fonte glaciaires, mais parfois aussi de kame-terrasses classiques, respectivement de terrasses morainiques. Étant donné que les banquettes *sensu* Hannss ont aussi subi un façonnement glaciaire final, elles montrent également parfois l'empreinte géomorphologique de ces très nombreuses pauses dans la fonte des grands

appareils glaciaires. Ainsi on peut observer dans le Val du Bourget et au bord du Plateau de Champagnier des terrasses dues à l'érosion des eaux de fonte glaciaires, des kame-terrasses et des vallées suspendues causées par des alluvions qui se sont amassées contre l'ancien rebord d'un glacier [voir aussi Hannss, 1982, p. 30 et pl. I]. Ces accidents morphologiques sont d'une échelle de dimension inférieure à celle des banquettes au sens utilisé ici. Pour éviter toute confusion de terminologie, on devrait donc appliquer aux banquettes *sensu* Gidon un nom différent, tel que (selon une suggestion de cet auteur) celui de «banquettes internes d'arc morainique», par exemple.

On observe des banquettes comparables à celles du Val du Bourget en différents endroits des Alpes [Hannss et Peschke, 1992, p. 94]. Dans les Alpes françaises du Nord, elles existent notamment dans le Trièves, le bassin de Grenoble, la partie septentrionale du Grésivaudan, la Combe de Savoie et le Val du Bourget. Mais les banquettes s'observent également en dehors des Alpes françaises du Nord, par exemple le long du Rhône en aval de Genève [Gignoux et Mathian, 1952, p. 153].

Les banquettes ressemblent à première vue à des terrasses fluviales. Mais leur surface ondulée et leur couverture plus ou moins épaisse de matériau morainique indiquent clairement qu'elles ont été façonnées à la fin de leur genèse géomorphologique par le passage d'un glacier. Il s'agit presque toujours d'un glacier du Würmien. Ainsi, les banquettes remplacent, en amont des moraines internes et généralement à l'intérieur des Alpes, les terrasses fluviales qui prédominent à l'extérieur des Alpes, en aval des fronts morainiques würmiens.

A la fameuse «série glaciaire» (= glaziale Serie) de A. Penck [Schaefer, 1981, p. 273], on devrait aussi ajouter comme élément important du relief, à la fois les banquettes et les terrasses purement fluviales du Tardiglaciaire alpin qui s'observent parfois en aval des vallums morainiques tardiglaciaires déposés sans exception à l'intérieur des Alpes entre 16 000 et 10 000 B.P. environ.

Les banquettes constituent non seulement un élément caractéristique du relief alpin, mais elles contiennent également d'importantes informations sur l'évolution climatique de la fin du Pléistocène. Habituellement, elles sont constituées, de bas en haut, de dépôts glaciaires, puis de sédiments glaciolacustres souvent recouverts par des charbons feuilletés. Au-dessus, on observe généralement des sables et des

◀ FIG. 1. – The main relief features in the Val du Bourget.

The numbers of the cuts mean : 1, Gravel pit East of Le Fort. 2, Gravel pit on the left (=western) side of the Ruisseau des Combes. 3, Cut under Les Ciseaux. 4, Great gravel pit of Voglans. 5, Cut of Voglans-Bouvard. 6, Cut upon Le Fromaget. 7, Cut of lignites where the samples were taken for the new pollen diagram of Servolex.

The cut «Pont de la Charrière» is situated between the cut 2 and the lignite mine 2.

The numbers of the old lignite mines mean: 1, Ancient lignite mine in the Ruisseau des Combes. 2, Ancient lignite mine in the area of the gravel pit Aéroport militaire du Bourget-du-Lac. 3, Ancient lignite mine of Pessey-Sonnaz. 4, Ancient lignite mine of La Croix-Rouge.

Localité, séquence principale	Age en B.P.	Méthodes de datation : ¹⁴ C. ¹⁴ C-enrichi. ²³⁴ U. ²³⁰ TH	Age palynologique	Laboratoire et numéros	
Séquence principale 3 :					
Voglans, 265 m.	32 920 + 440 - 1300	+	W III (=Wurm moyen) ?	Hv 14586	
Gravière à l'Est du Fort, 305 m.	43 000		+	W I (=Wurm ancien) ?	Mangini, Heidelberg . 4041
Gravière Aéroport du Bourget, 269 m.	> 50 000	+		W I (=Wurm ancien) ?	H4179-3450
Gravière Aéroport du Bourget, 269 m.	> 71 000	+		W I (=Wurm ancien) ?	GrN-11645
Séquence principale 1:					
Pessey-Sonnaz, 341 m.	> 72 800		+	Interstade Sonnaz II	GrN-7704
Pessey-Sonnaz, 341 m.	> 60 000		+	Interstade Sonnaz II	Mangini, Heidelberg
Pessey-Sonnaz, 341 m.	69 700 + 2500 - 1900	+		Stade Tillet II	GrN-9092
Pessey-Sonnaz, 322 m.	51 900 + 13500 - 4800	+		Interstade de la Croix-Rouge III	GrN-7427
La Croix-Rouge, 315 m.	> 46 200	+		Interstade de la Croix-Rouge I	GrN-7428
La Croix-Rouge, 315 m.	67 700 + 2700 - 2000	+	+	Interstade de la Croix-Rouge I	GrN-7515
La Croix-Rouge, 315 m.	93 000		+	Interstade de la Croix-Rouge I	Mangini, Heidelberg
Séquence principale 2 :					
Servolex, 275 m.	102 000 + 12000 - 12000		+	Interstade du Tremblay	Vogel, Pretoria
Servolex, 270 m.	85 000		+	Interstade du Tremblay	Mangini, Heidelberg
R ^{au} des Combes, 282 m.	96 000 + 9000 - 9000		+	Interstade du Tremblay	Vogel, Pretoria
Au-dessous Les Ciseaux, 295 m.	37 500 + 1550 - 1900	+		Interstade du Tremblay ?	GrN-8861
Voglans, 280 m.	< 48 200	+		Interglaciaire du Rau des Combes	GrN-7181
Voglans, 280 m.	> 67 700		+	Interglaciaire du Rau des Combes	GrN-7490
Voglans, 280 m.	> 69 700		+	Interglaciaire du Rau des Combes	GrN-7257
Voglans, 280 m.	91 000 + 6000 - 6000		+	Interglaciaire du Rau des Combes	Vogel, Pretoria
Voglans, 280 m.	115 000 + 8000 - 8000		+	Interglaciaire du Rau des Combes	Vogel, Pretoria
Servolex, 268 m.	107 000		+	Interglaciaire du Rau des Combes	Mangini, Heidelberg
Servolex, 275 m.	> 48 200	+		Interglaciaire du Rau des Combes	GrN-7209
Servolex, 275 m.	74 500 + 8100 - 4000		+	Interglaciaire du Rau des Combes	GrN-7498
Rau des Combes, 282 m.	73 500 + 2400 - 1900	+		Interglaciaire du Rau des Combes	GrN-8861
Séquence principale 3 :					
Voglans, 255 m.	59 600 + 1300 - 1100		+	Interstade de Voglans	GrN-6974
Voglans, 255 m.	> 72 200		+	Interstade de Voglans	GrN-7391
Voglans, 255 m.	85 000 + 5000 - 5000		+	Interstade de Voglans	Vogel, Pretoria
Gravière Aéroport du Bourget, 260 m.	> 45 000		+	Interstade de Voglans	Mangini, Heidelberg
Gravière Aéroport du Bourget, 260 m.	> 46 000	+		Interstade de Voglans	H4118-3259

TABLEAU I. - Datations absolues des formations ligniteuses du Val du Bourget. Principalement d'après Gremmen [1982] et Hannss [1982].

H, Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg. Hv, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hanovre. GrN, Centrum voor Isotopen Onderzoek, Groningue.

graviers, partiellement recouverts au sommet de matériau morainique würmien. Cette séquence sédimentaire est typique des dépôts qui forment les banquettes alpines et péréalpines. Selon Hannss et Peschke [1992, p. 98], on pourrait la nommer «cycle de sédimentation pléistocène» (= pleistozäner Sedimentationszyklus).

A l'intérieur des Alpes françaises du Nord, la couverture morainique manque très souvent au toit des banquettes. Ceci est dû à l'action efficace des eaux de fonte glaciaires. L'érosion a en outre donné naissance à plusieurs replats entaillant les banquettes comme celles de Sonnaz et du Tremblay, de chaque côté de la plaine alluviale de la Laysse (fig. 1). Ces replats marquent les différentes haltes du glacier isérois lors de son recul

dans le Val du Bourget au Würmien [Hannss, 1982, p. 110].

Quant à la forme des banquettes, il est intéressant de constater que celles-ci ressemblent à des auges glaciaires, bien qu'elles ne soient pas sculptées par le passage des glaciers dans la roche en place, mais seulement dans des sédiments plus ou moins meubles du Pléistocène moyen et supérieur. Cette constatation n'exclut pas le fait que les banquettes possèdent assez souvent une ossature rocheuse surgissant par endroits en surface, ce qui est aussi le cas pour les banquettes du Val du Bourget (fig. 1). Les fonds, aussi bien des vraies auges glaciaires que des banquettes, sont toujours constitués d'alluvions fluviales ou de dépôts lacustres et marécageux qui se sont mis en place après la fonte du glacier précédent.

Lithostratigraphie		Biostratigraphie		Chronostratigraphie			
Moraine riche en calcaire	Moraine riche en calcaire	Flora pollinique dominante	Bois fossiles trouvés	Val du Bourget	Grande Pille	Océans	Age
Moraine riche en calcaire, graviers, sables.	Argiles silteuses avec quelques couches ligniteuses.	Pinus, Picea, Betula.	Abies conifère, feuillu.	Wurm précoce (= WI)	?	4.	65 - 70.000
	Sables, argiles.	Pinus, Betula, Artemisia, Hippophae.		Interstade de Sonnaz II (>60 000, >72 800).	?		
	Lignites avec quelques horizons argileux.	Pinus, Picea, Betula.		Stade de Tillet II (69 700).	?		
	Argiles.	Picea, Pinus, Betula, Hippophae.		Interstade de Sonnaz I.	?		
	Lignites	Salix, Betula, Hippophae, Artemisia.	Betula, picea,	Interstade de la Croix-Rouge III (51 900).	?		
	avec quelques horizons argileux.	Pinus, Betula, Artemisia, Picea, Pinus, Betula.		Stade Bourget IV.	Stade I.	5a.	75 - 90.000
	Argiles.	Pinus, Betula, Artemisia.		Interstade de la Croix-Rouge II.	Lanterne I.		
	Lignites, sables, argiles.	Corylus, Ulmus, Quercus, Fraxinus, Acer, Tilia.	feuillu.	Stade Bourget III.	Lanterne I.		
	Sables avec quelques graviers et argiles.	Pinus, Picea, Betula, Artemisia.		Interstade de la Croix-Rouge I (>46 200, 67 700, 93 000).	St. Germain II.		
	Moraine riche en calcaire	Corylus, Carpinus, Quercus, Picea, Abies, Viscum	Picea, Pinus silvestris, Abies, Betula, Alnus, Acer, feuillu, conifère, Alnus, Pinus, Picea, Quercus.	Stade Bourget II.	Melisey II.	5b.	90 - 100.000
	Lignites.	Pinus, Picea, Betula, Artemisia.		Interstade du Tremblay (>48 200, 85 000, 102 000).	St. Germain I.	5c.	100 - 115.000
	Sables, argiles.	Pinus, Picea, Betula, Artemisia.		Stade Bourget I.	Melisey I.	5d.	100 - 115.000
	Argiles.	Pinus, Picea, Betula, Artemisia.		Interstade de la R ^u des Combes (>48 200, >67 700, >69 7000, 73 500, >74 500, 107 000, 115 000).	Eem.	5e.	115 - 130.000
	Lignites.	Pinus, Picea, Betula, Artemisia.		Stade Moulins.	Linexert.	6.	130 - 160.000
	Sables, argiles. Moraine décalcifiée.	Pinus, Picea, Carpinus, Ulmus.		Interstade de Voglans (59 600, >72 000, 85 00, >45 000, >46 000).		7.	180 - 240.000
				Mindel		8.	240 - 280.000
				Stade Bourvard.	Séquence principale 3	9.	

TABLEAU II. - Les séquences stratigraphiques principales des banquettes dans le Val du Bourget. D'après Gremmen [1982], Hannss [1982], Renault-Miskovsky [1986] et Woillard et Mook [1982].

2. – LES TRAITS ESSENTIELS DE LA LITHOSTRATIGRAPHIE QUATERNAIRE DANS LE VAL DU BOURGET

La lithostratigraphie des banquettes dans le Val du Bourget est caractérisée par la présence de charbons feuilletés (tableau II) que l'on observe entre les cotes de 240 m et de 340 m. Leur intérêt réside surtout dans le fait qu'ils peuvent être datés et cela selon plusieurs méthodes permettant de fixer leurs âges absolus et relatifs. Aujourd'hui, on dispose pour les lignites du Val du Bourget d'un assez grand nombre d'analyses polliniques [Gremmen, 1982; Hannss et Peschke, 1992, p. 104, 106, 109], de datations au ^{14}C conventionnelles et au ^{14}C enrichi [Grootes, 1977, p. 171; Hannss, 1982, tableau 5], ainsi que de quelques datations aux ^{234}U - ^{230}Th faites par J. C. Vogel [Gremmen, 1982, p. 75] et A. Mangini (tableau I).

Bourdier [1961, p. 43] a expliqué les altitudes divergentes des gisements ligniteux dans le Val du Bourget par l'existence de tourbières qui se seraient développées à différents niveaux comme c'est le cas aujourd'hui. Il en conclut que tous les charbons feuilletés du Val du Bourget auraient le même âge malgré leurs cotes différentes et dateraient du dernier interglaciaire Riss-Würm [Bourdier, 1962, fig. 30].

Nicoud [1981, p. 101, 104; 1979, p. 860, 861] pense plutôt comme Gorceix [1919, p. 1279-1280] que tous les charbons feuilletés du Val du Bourget se sont formés au même niveau pendant une seule période chaude. En fait, ces charbons présentent de grandes différences d'altitudes entre 240 m et 341 m [Hannss, 1982, p. 66, 82, 91] et ne s'observent pas seulement au voisinage de la cote 275 m [Nicoud, 1979, p. 860]. D'ailleurs, ce fait ressort aussi clairement des coupes dessinées par Nicoud [1981, p. 102] pour le Bourget-du-Lac, Voglans et Le Fromaget.

Les recherches litho-, bio- et chronostratigraphiques de Gremmen [1982], Grootes [1977], Hannss [1982] et Hannss et Peschke [1992] ont montré dans le Val du Bourget l'existence de trois niveaux ligniteux principaux, bien différents les uns des autres. Ils appartiennent aux séquences principales 1, 2 et 3 (= «Grundabfolge 1, 2 et 3» de Hannss et Peschke [1992] et tableau II, fig. 2). Chacune d'elles comporte plus ou moins la succession sédimentaire décrite précédemment pour «le cycle de sédimentation pléistocène».

La découverte en 1991 dans la grande gravière de Voglans à la base de la séquence 2 (tableau II) d'une couche morainique riche en calcaire, a enfin apporté la preuve lithostratigraphique qu'une troisième séquence principale antérieure existait vraiment dans le Val du Bourget. Ceci confirme l'hypothèse de Gremmen [1982, fig. 14] qui, en s'appuyant surtout sur ses analyses polliniques, avait déjà placé les lignites de 250 m affleurant dans la grande gravière de Voglans dans une phase climatique chaude précédant l'Eémien.

Contrairement aux couches morainiques riches en

calcaire qui séparent dans la grande gravière de Voglans les sédiments des séquences principales 3 et 2 ou qui recouvrent par endroits les banquettes du Val du Bourget, la moraine de la base de la séquence principale 3 est complètement décalcifiée (tableau II).

Cette moraine de base est recouverte d'une façon transgressive par les accumulations des différentes séquences principales du Val du Bourget. Sa position lithostratigraphique indique qu'elle a été déposée par un glacier qui était beaucoup plus important que celui qui a laissé la moraine intermédiaire entre les séquences principales 3 et 2 ou celle du Würmien rencontrée parfois au sommet des banquettes du Val du Bourget. Il en résulte que ce n'est pas l'avant-dernière glaciation du Rissien qu'il faut considérer comme la plus importante du Pléistocène supérieur, mais celle qui la précède, c'est-à-dire celle du Mindélien classique.

Mais il est vraisemblablement plus exact de corréliser l'avant-dernière glaciation représentée par la moraine intermédiaire à Voglans, avec celle de la Warthe. Les moraines de cette poussée glaciaire du grand glacier scandinave sont positionnées entre celles du Weichsel et de la Saale. Elles s'observent aussi en Allemagne du Nord, notamment dans les landes de Lüneburg au Sud de Hambourg [Liedtke, 1985, p. 113].

2.1. La séquence principale 1

Les strates qui constituent la séquence principale 1 ont été observées uniquement en bordure de la banquette de Sonnaz (fig. 2). Cette séquence se distingue des deux autres par l'existence de deux bancs de charbons feuilletés situés à des altitudes très différentes dans un contexte lithostratigraphique particulier. Il y a une première assise ligniteuse entre 312 m et 323 m et une deuxième à 341 m.

A la Croix-Rouge et à Pessey-Sonnaz, des affleurements et deux sondages ont montré de bas en haut [Hannss, 1982, p. 82-85] :

- a) une moraine décalcifiée ancienne faisant partie de la séquence principale 3,
- b) des argiles et des silts fossilifères qui la recouvrent d'une façon transgressive atteignant une épaisseur d'au moins 5 m,
- c) un premier horizon de charbons feuilletés développé entre 312 m et 316 m,
- d) une deuxième assise importante de silts et d'argiles interrompus jusqu'à 322 m par plusieurs bancs ligniteux mineurs,
- e) un deuxième niveau de lignite d'épaisseur réduite située à 341 m.

Grâce à l'information du maire de Sonnaz, on a découvert dans la banquette de Sonnaz, en 1991, un nouveau petit banc ligniteux incorporé à des argiles silteuses. Il affleure vers 323 m dans un petit ravin à

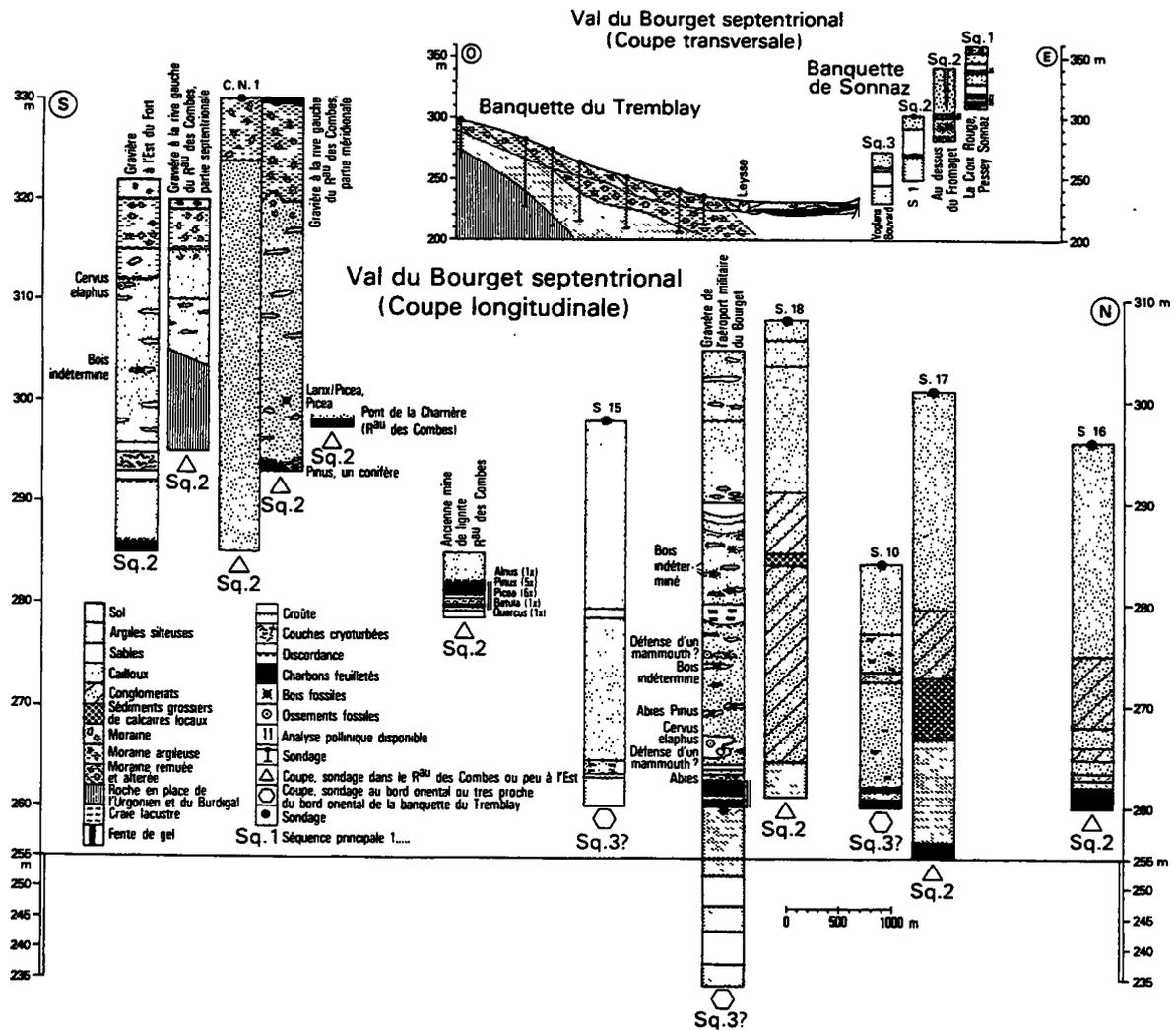


FIG. 2. - Coupes transversale et longitudinale à travers les dépôts quaternaires des banquettes du Val du Bourget. La partie Ouest de la coupe transversale a été dessinée d'après Nicoud [1979, p. 869]. La position des sondages et des coupes est indiquée sur la figure 1.

FIG. 2. - Longitudinal and diagonal profiles through the Quaternary Banquette sediments of the Val du Bourget. The western part of the diagonal profile has been drawn after Nicoud [1979, p. 869]. The position of the borings and the profiles is marked on the the figure 1.

230 m au Sud de Ragès. Dans la partie sud du Val du Bourget, on avait déjà décelé au siècle dernier des charbons feuilletés vers 330 m, à peine 10 m au-dessous du niveau des lignites supérieurs de Pessey-Sonnaz [Revil, 1909-1910, p. 601; Pillet, 1866, p. 211-212].

Les lignites supérieurs de Pessey-Sonnaz sont recouverts par quelques mètres de sable, puis par des graviers et enfin, vers le toit de cette séquence fin-pléistocène, par de la moraine würmienne [fig. 2 et Hannss, 1982, p. 82-85].

Les analyses polliniques de Gremmen [1982, diagrammes 6-8, fig. 12] ayant clairement établi que les différents bancs ligniteux de la séquence principale 1 se distinguaient nettement les uns des autres par leur composition floristique, il est impossible qu'ils aient été déposés en même temps et au même niveau, comme le prétend Nicoud [1979, p. 860; 1981, p. 101] pour tous les charbons feuilletés dans le Val du Bourget.

Contrairement à cette constatation dans le texte, une superposition d'au moins deux couches ligniteuses résulte de trois profils que ce même auteur [1981, p. 102] a dessinés pour les banquettes du Val du Bourget.

2.2. La séquence principale 2

Les analyses aussi bien lithostratigraphiques que palynologiques ont montré qu'il existait dans le Val du Bourget une deuxième séquence principale sous la première [Gremmen, 1982, diagrammes 1-4, fig. 12; Hannss, 1982, pl. 3]. A la différence de la séquence principale 1, cette deuxième séquence se caractérise presque toujours par l'existence d'une nette surface d'érosion qui sépare les graviers des formations ligniteuses sous-jacentes.

Dans la séquence principale 1 ce hiatus stratigra-

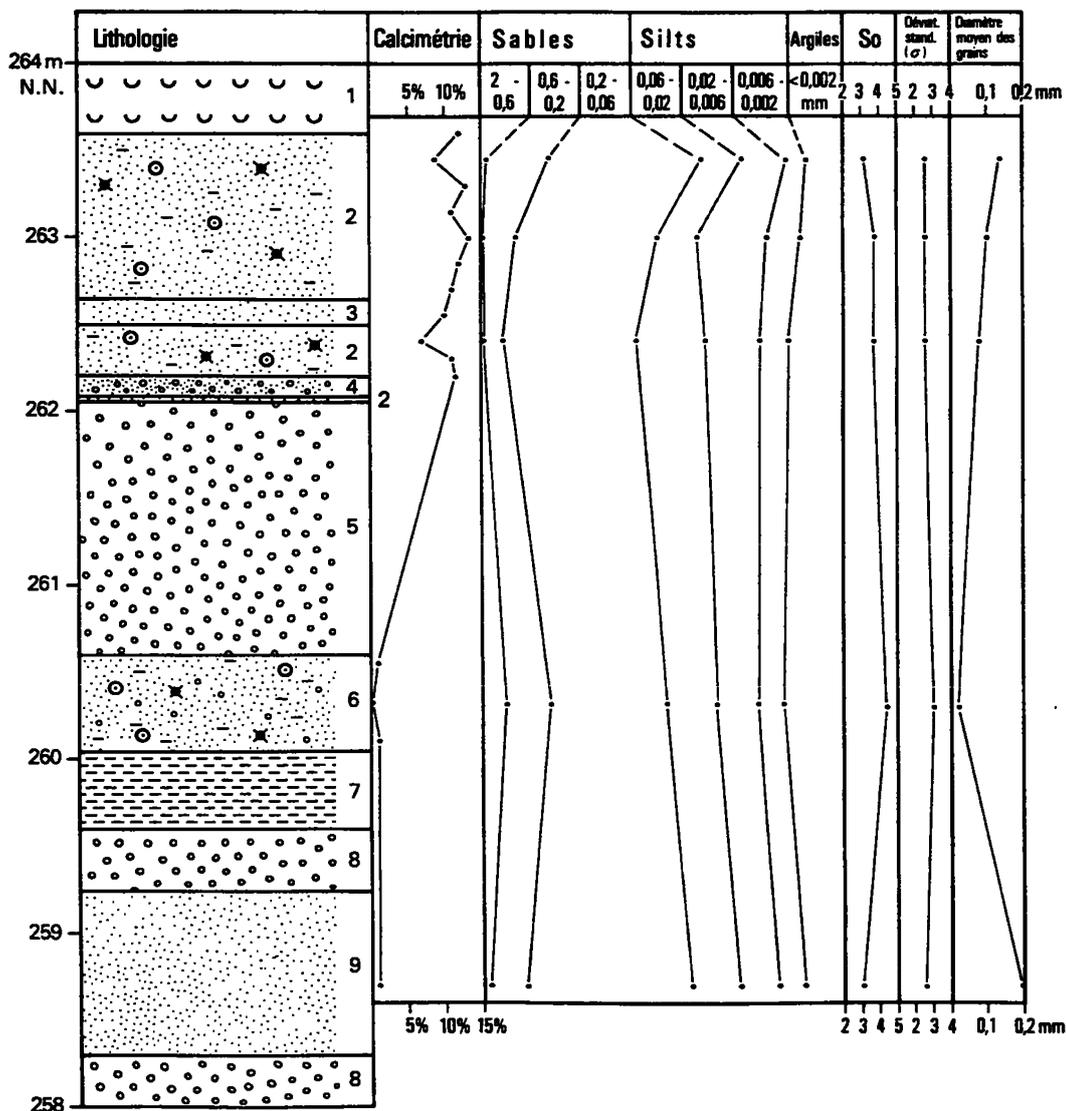


FIG. 3. – Coupe à la Motte montrant la lithostratigraphie et la sédimentologie des couches au-dessous des lignites appartenant à la séquence principale 2 de Servolex. So, Coefficient de mauvais triage selon Trask d'après Cailleux et Tricart, 1959, tome 1, p. 152. Dév. stand. (σ) = Déviation standard (σ) d'après von Engelhardt, 1973, p. 134. Couches 7 à 9 d'après les renseignements d'un ouvrier. 1, Sol récent avec des racines. 2, Sables fins légèrement argileux avec des mollusques et des branches fossiles. 3, Sables moyens. 4, Gravieres et sables grossiers. 5, Galets lités avec des graviers et des sables. 6, Sables fins légèrement argileux et non lités. Ils contiennent des graviers oxydés et dans certains horizons des mollusques et des branches fossiles. 7, Couches argileuses. 8, Couches caillouteuses. 9, Silts partiellement oxydés.

FIG. 3. – Lithostratigraphic and sedimentological profile in La Motte of the sediments under the lignite formations of Servolex which belong to the principal sequence 2. So, Sorting coefficient from Trask after Cailleux and Tricart, 1959, tome 1, p. 152. Dév. stand. (σ) = Standard deviation (σ) after von Engelhardt, 1973, p. 134. Layers 7 to 9 after the informations of a worker. 1, Recent soil with roots. 2, Lightly clayish sands with fossil molluscs and twigs. 3, Medium sands. 4, Gravels and coarse sands. 5, Stratified gravels mixed with pebbles and sands. 6, Not stratified, lightly clayish fine sands with oxidic pebble layers containing in some horizons fossil molluscs and twigs. 7, Clayish layers. 8, Layers with gravels. 9, Partly oxidic silts.

phique manque aussi bien au-dessus des lignites inférieurs que supérieurs. Vers le haut, ces strates organiques se transforment d'abord en argiles ligniteuses, puis passent soit à des argiles silteuses, soit à des sables.

En 1991, dans la grande gravière de Voglans des déformations singulières et bien marquées ont été repérées à la transition entre les lignites et leur toit graveleux. Ces mutilations des charbons feuilletés sont

dues soit à des phénomènes de cryoturbation très intenses, soit à des pressions glacio-tectoniques.

Un passage progressif des sédiments fins et ligniteux aux graviers sus-jacents a pu cependant être observé à un endroit dans la grande gravière de Voglans et uniquement là jusqu'à présent. On y décelait aussi des effets légers de cryoturbation qui sont donc dus à des processus périglaciaires [Hannss et Peschke, 1992, p. 99].

La position altimétrique des charbons feuilletés de

cette deuxième séquence varie entre 268 m et 305 m. Ces grandes différences d'altitude sont dues essentiellement à une inclinaison des bancs de lignite vers l'axe principal du Val du Bourget. Mais par endroits, on constate également une inclinaison des couches ligniteuses de quelques degrés vers le Nord [Hannss, 1982, p. 66, 77, 92]. L'inclinaison des charbons feuilletés vers le centre de la plaine de la Leysse est due au fait que les terrains meubles du Quaternaire y gagnent en épaisseur ce qui intensifie leur compression. Celle-ci est moins importante au rebord des banquettes où les couches meubles qui les constituent reposent plus directement sur leur ossature rocheuse datant le plus souvent du Miocène.

A la Motte, au Sud de la banquette du Tremblay, une coupe accessible en 1982 a permis de se faire une opinion plus précise sur les couches situées au-dessous des lignites visibles à l'Ouest de Servolex entre 268 m et 275 m [fig. 1 et Hannss, 1982, p. 101]. Ces strates situées entre 258 m et 264 m forment un mélange argilo-sableux et graveleux avec des macrorestes organiques observables jusqu'à 260 m au moins (fig. 3). Au-dessus du Fromaget des dépôts graveleux plus importants appartenant à la même séquence principale 2 s'intercalent aussi dans les sables qui forment la base des lignites affleurant à 298 m [Hannss et Peschke, 1992, p. 103].

2.3. La séquence principale 3

Les lignites de la séquence principale 3 se situent entre 240 m et 260 m [Hannss, 1982, p. 66, 68]. Comme nous l'avons déjà constaté pour la séquence principale 2, il existe également ici une surface d'érosion bien marquée entre les charbons feuilletés et les graviers qui les recouvrent. Par contre, à la différence de la séquence 2, les couches sous les charbons feuilletés de la séquence 3 se révèlent toujours fines et sans intercalations de cailloux et graviers (fig. 2).

Cette divergence entre les couches toujours fines sous les lignites de la séquence principale 3 et celles incluant des graviers sous les charbons feuilletés de la séquence principale 2, est certainement due à une différence dans l'ampleur du surcreusement glaciaire : celui-ci a été moins important au cours de la séquence principale 2 que pendant la séquence précédente. Cela se traduit par le fait que la couche morainique de la séquence principale 2 est plus proche des lignites que ne l'est la moraine décalcifiée des charbons feuilletés de la séquence principale 3.

En effet, dans la grande gravière de Voglans, la strate morainique de base de la séquence principale 2 affleure seulement 10 m au-dessous des charbons feuilletés, c'est-à-dire entre 270 m et 266 m au moins. Par contre, à Voglans-Bouvard, un sondage effectué jusqu'à 30 m au-dessous des lignites observés à 260 m, n'a même pas atteint la moraine basale de la séquence principale 3

[fig. 2 et Hannss, 1982, p. 70].

Dans le Val du Bourget, on n'a encore nulle part découvert de matériau morainique le long des surfaces d'érosion séparant les graviers et les lignites sous-jacents. Néanmoins, cette constatation n'exclut pas un passage glaciaire après le dépôt des charbons feuilletés. En effet, on pourrait mentionner le fait que les glaciers würmiens ayant parcouru le sillon alpin et ses vallées avoisinantes n'ont pas répandu partout leurs dépôts morainiques après leur retrait. Mais les surfaces d'érosion qui séparent dans le Val du Bourget les graviers des charbons feuilletés sous-jacents sont presque toujours très plates. Ceci laisse présumer qu'elles seraient plutôt d'origine fluviale.

Un problème lithostratigraphique des banquettes dans le Val du Bourget se pose non seulement pour la séquence principale 3, mais aussi pour les deux autres : celui de la présence de formations graveleuses au niveau des sédiments argilo-sableux et ligniteux. Pour résoudre ce problème, on ne dispose pour l'instant que d'hypothèses. L'une préconise la présence dans le Val du Bourget d'une masse très épaisse de sédiments argilo-silteux contenant également tous les charbons feuilletés. Dans cette assise, dont les parties inférieures seraient relativement anciennes, des formations caillouteuses plus récentes auraient été emboîtées au cours du Würmien après le passage d'une branche du glacier isérois.

Mais il se pourrait aussi que la solution de ce problème réside dans la structure même de la plaine alluviale de la Leysse (fig. 2, profil en haut). En effet, ses alluvions deviennent de plus en plus fines au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la Leysse vers les deux bords de la vallée. Les dépôts, d'abord graveleux le long du courant deviennent ensuite argilo-sableux et passent vers les bords à des niveaux partiellement tourbeux. On peut donc imaginer que la même variation sédimentologique horizontale s'est produite dans le Val du Bourget lors de l'accumulation, dans une grande plaine alluviale au cours du Pléistocène supérieur, des couches construisant maintenant les banquettes.

L'affleurement de sédiments argilo-sableux et organiques au même niveau que des strates graveleuses pourrait s'expliquer également par l'inclinaison des bancs ligniteux vers l'axe central de la plaine parcourue par la Leysse.

Enfin, une dernière hypothèse consisterait à faire intervenir des mouvements néotectoniques pour expliquer ce phénomène. Ils auraient pu se produire à la suite d'importantes phases d'érosion glaciaire quand les sédiments meubles des banquettes étaient encore gelés. C'est pourquoi des segments entiers formés de sédiments meubles auraient pu glisser dans les lits creusés par le glacier würmien, puis être abandonnés lors de son retrait. En raison de divergences avec les données litho- et biostratigraphiques sur les charbons feuilletés, cette hypothèse nous paraît la moins vraisemblable.

3. – LES TRAITS ESSENTIELS DE LA BIOSTRATIGRAPHIE QUATERNAIRE DANS LE VAL DU BOURGET

Les informations biostratigraphiques des sédiments déposés pendant le Pléistocène moyen et supérieur dans le Val du Bourget que nous allons présenter ici s'appuient essentiellement sur un grand nombre d'analyses palynologiques récentes effectués par Gremmen [1982], sur trois diagrammes polliniques réalisés par Peschke [Hannss et Peschke, 1992] et sur le nouveau diagramme pollinique à Servolex.

3.1. La séquence principale 1

Le banc de lignite à la base de la séquence principale 1 (fig. 2, tableau II) appartient à l'interstade de la Croix-Rouge I qui, selon Gremmen [1982, fig. 14], serait à corrélérer avec le St. Germain II de Woillard [1978]. *Corylus*, *Ulmus*, *Quercus*, *Fraxinus*, *Acer*, *Tilia*, *Carpinus* et *Picea* prédominent dans les forêts de cette période chaude [Gremmen, 1982, diagramme 6]. Celle-ci présenterait plutôt un caractère interglaciaire qu'interstadiaire.

Au-dessus de l'interstade de la Croix-Rouge I, quatre interstades ont été mis en évidence: la Croix-Rouge II et III ainsi que Sonnaz I et II [Gremmen, 1982, fig. 14]. Les sédiments correspondants appartiennent aux bancs ligniteux inférieurs et supérieurs de la séquence principale 1 [fig. 2 et Hannss, 1982, p. 82, 85]. La flore pollinique de ces quatre interstades est nettement dominée par *Picea* et *Pinus*. Dans les interstades de la Croix-Rouge II et III, Gremmen a en outre décelé la présence d'*Abies*, *Acer*, *Carpinus*, *Corylus*, *Quercus*, *Tilia* et *Ulmus*. Mais ces pollens d'arbres plus ou moins thermophiles n'ont été trouvés qu'en très petites quantités. Seul *Abies* atteint 5 % pendant l'interstade de la Croix-Rouge III.

Les stades du Bourget III et IV ainsi que ceux du Tillet I et II séparant les cinq interstades précédents dont l'inférieur revêt un caractère interglaciaire (= La Croix-Rouge I) se distinguent par une nette prédominance d'*Artemisia* et de *Betula* [Gremmen, 1982, diagrammes 6, 7, 8, fig. 12]. Les sables et graviers qui recouvrent les sédiments argilo-sableux et organiques de la séquence principale 1 n'ont pas encore livré de fossiles [fig. 2 et Hannss, 1982, p. 82, 85].

3.2. La séquence principale 2¹

Dans les sédiments fins situés au-dessous des charbons feuilletés de la séquence principale 2, on n'a pas observé de fossiles, sauf dans les argiles visibles

¹ Dans ce chapitre, outre l'analyse du nouveau diagramme pollinique des formations ligniteuses de Servolex (fig. 4), nous traitons également des données sédimentologiques pour éclairer leurs relations avec les informations palynologiques.

entre 270 m et 273 m sous les lignites à 280 m dans la grande gravière de Voglans [Hannss, 1982, p. 68, 74]. Selon l'analyse pollinique de Gremmen [1982, diagramme 4], la flore de ces argiles est typiquement stadienne, car l'analyse de deux échantillons a mis en évidence respectivement 49 % et 64 % de pollens d'*Artemisia*. Il s'agirait selon Gremmen [1982, fig. 14] du stade Moulins. Ces dépôts argilo-sableux ont été accumulés pour la plus grande partie dans un lac. Comme on peut le constater dans la grande gravière de Voglans, celui-ci s'est formé après le retrait du glacier qui a déposé une couche morainique riche en calcaire. Celle-ci sépare les dépôts de la séquence principale 2 de ceux de la séquence principale 3 (tableau II).

Les couches ligniteuses de la séquence principale 2 se sont formées essentiellement pendant deux phases climatiques chaudes de caractère plutôt interglaciaire. Selon Gremmen [1982, fig. 14], il s'agit de l'interglaciaire du Ruisseau des Combes et de l'interstade du Tremblay. Les premières analyses polliniques de Gremmen ont montré [1982, diagramme 1, 2] qu'un grand nombre de feuillus thermophiles ont prédominé dans le Val du Bourget au cours de ces deux périodes. La première, celle de l'interglaciaire du Ruisseau des Combes, présente une évolution de la végétation qui ressemble à celle de l'Eémien telle qu'elle a été reconnue dans la Grande Pile par Woillard [1978] et aux Echets par de Beaulieu et Reille [1984].

La seconde période chaude plus récente, celle de l'interstade du Tremblay, se reflète aussi dans la flore pollinique. Cet interstade est constitué dans le Val du Bourget de trois phases différentes. Les épisodes de Tremblay Ia et Ic se distinguent par l'abondance de feuillus thermophiles. Une période plus tempérée, le Tremblay Ib, les sépare, pendant laquelle les conifères ont prédominé. Tout compte fait, le premier interstade suivant l'Eémien dans le Val du Bourget revêt aussi un caractère plutôt interglaciaire. D'après ses analyses polliniques dans la tourbière de la Grande Pile, Woillard [1978, p. 3] l'a nommé St. Germain I. Selon Behre et Lade [1978], il est ainsi permis de corrélérer les différentes phases de l'histoire végétale entre des régions dont la végétation actuelle n'est pas identique.

A (La Motte-) Servolex, dans une coupe au Sud de la banquette du Tremblay, 87 échantillons récoltés entre 267 m et 272 m par Hannss en 1982 après un premier échantillonnage effectué en 1974 par W. van Zeist et Gremmen ont permis d'établir un nouveau diagramme pollinique de lignites appartenant à la séquence principale 2 (fig. 4).

Les zones polliniques 1 et 2 ne sont pas fiables à cause du nombre restreint de pollens recensés. Les zones 3 à 5 reflètent la fin de l'interglaciaire du Ruisseau des Combes et ressemblent aux dernières phases de l'Eémien. Le stade qui succède à cette phase interglaciaire et qui a été mis en évidence dans le diagramme du Ruisseau des Combes [Gremmen, 1982, diagramme 1], manque ici.

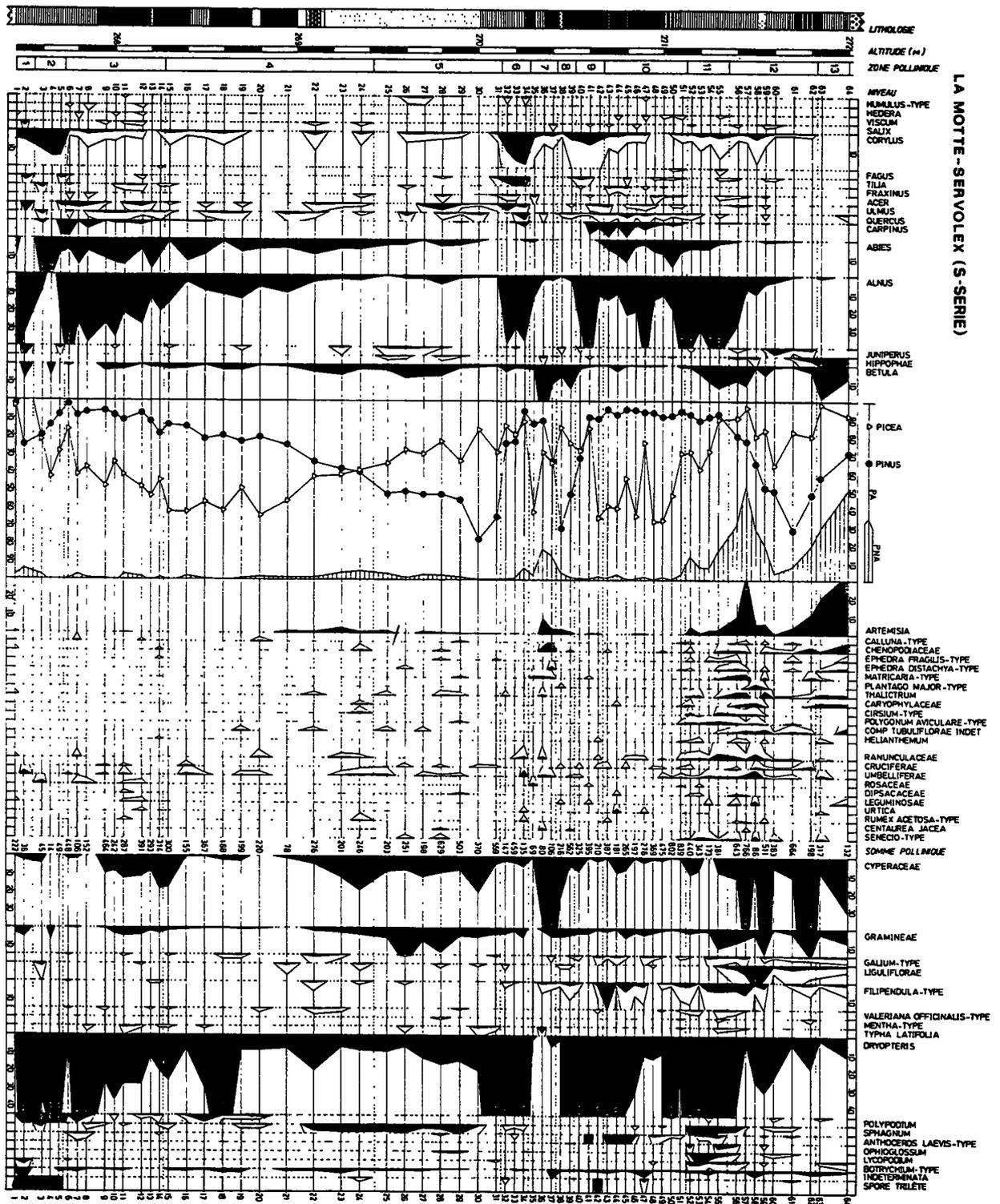


FIG. 4. - Nouveau diagramme pollinique des formations ligniteuses entre 267 m et 272 m à Servolex. Le site correspond à la coupe 7 sur la figure 1.
 FIG. 4. - New pollen diagram of the lignitic formations outcropping in Servolex between 267 m and 272 m. It is the cut 7 of figure 1.

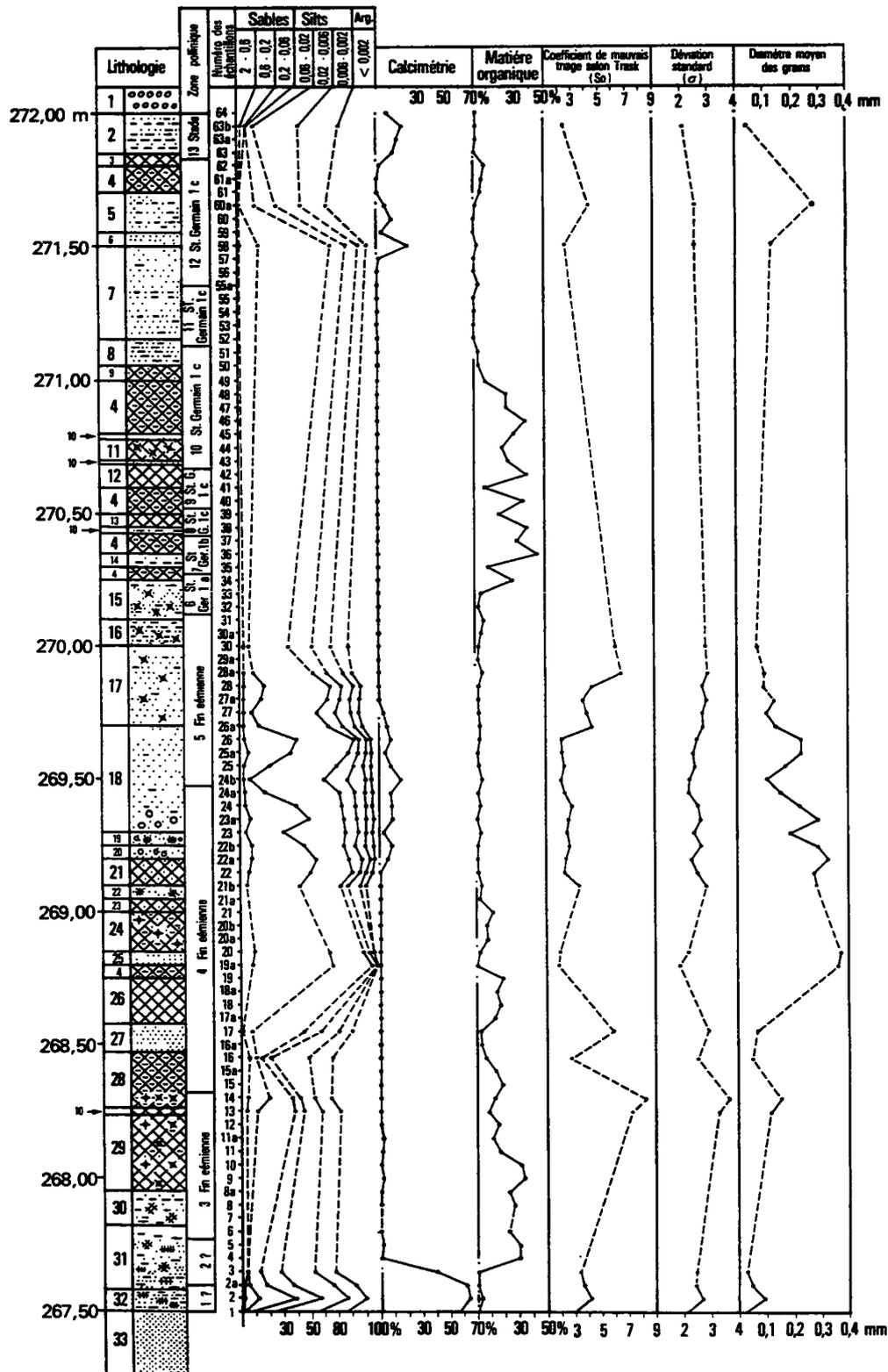


FIG. 5. – Diagramme sédimentologique des formations ligniteuses entre 267 m et 272 m à Servolex. Le site correspond à la coupe 7 sur la fig.1. Coefficient de mauvais triage selon Trask (= SO) d'après Cailleux & Tricart, 1959, t. 1, p. 152. Déviation standard (δ) d'après von Engelhardt, 1973, p. 134. St. Ger.1 = St. Germain 1. Cet interstade de Woillard (1978) correspond à l'interstade du Tremblay de Gremmen [1982, fig. 14].

1, Cailloutis. 2, Silt argileux bleu-grisâtres. 3, Formations ligniteuses. 4, Lignite argileux. 5, Silt argileux bleu-grisâtres. 6, Sables et silt jaunâtres. 7, Silt argileux. 8, Silt argileux devenant ligniteux vers le bas. 9, Silt et argile ligniteux. 10, Sables argileux. 11, Lignite dur avec des bois fossiles. 12, Lignite très compacts. 13, Lignite dur. 14, Silt argileux brun-grisâtre. 15, Silt argileux, brun-grisâtre avec des restes organiques. 16, Argile silteuse avec des bois fossiles. 17, Silt et sables fins, à la fois argileux et verdâtres avec des bois fossiles. 18, Sables légèrement silteux et argileux avec quelques cailloutis vers le bas. 19, Sables et cailloutis avec des restes ligniteux. 20, Sables caillouteux. 21, Lignite sableux. 22, Sables et restes ligniteux. 23, Lignite compacts légèrement sableux. 24, Lignite sableux-argileux avec des bois fossiles.

La zone 6 représente la première phase chaude de l'interstade du Tremblay (= Ia) et les zones 8 à 12 la seconde (= Ic). Entre les deux, la zone 7 traduit une détérioration climatique (= le Tremblay Ib). Grâce à cette nouvelle séquence pollinique, on a pu combler deux lacunes existant dans le premier diagramme de Servolex publié par Gremmen en 1982 (diagramme 2).

L'analyse sédimentologique des échantillons de Servolex a montré qu'il existait une certaine concordance avec les résultats palynologiques. Par exemple, on peut mentionner la détérioration climatique vers la fin de l'interglaciaire éémien du Ruisseau des Combes représentée par la zone pollinique 5 (fig. 4 et 5). Elle se traduit par une augmentation du coefficient de mauvais triage selon Trask (=So), mais curieusement aussi par une diminution du diamètre moyen des grains.

De même, la sédimentologie de la zone 12 présente, à plusieurs égards, une nette convergence avec la flore pollinique. Elle traduit la dégradation climatique vers la fin de l'interstade du Tremblay qui correspond au St. Germain 1c supérieur de Woillard. La sédimentologie de cet horizon est caractérisée par une nette augmentation des argiles et silts, des teneurs en calcaire plus importantes et une diminution de la matière organique. En effet, le contenu de la matière organique qui est de 10 % dans la zone pollinique 12 (= St. Germain 1c) avoisine 0 % dans les silts argileux stadiques de la zone pollinique 13. Une telle diminution souligne aussi la péjoration climatique à la fin de l'interglaciaire éémien du Ruisseau des Combes (= zone pollinique 4) où les teneurs en matière organique passent de 20 % environ à presque 0 %.

En ce qui concerne la sédimentologie des couches ligniteuses à Servolex, les dégradations climatiques sont assez souvent caractérisées non seulement par une diminution de la matière organique, mais aussi par une augmentation des teneurs en calcaire des sédiments minéraux.

Ainsi, on constate une forte augmentation du calcaire dans les formations ligniteuses à la base du diagramme sédimentologique de Servolex (fig. 5). Ce changement est, chose curieuse, accompagné d'un tri qui s'améliore vers le bas de la zone pollinique 1 alors

qu'on constate parallèlement une dégradation de la couverture végétale (fig. 4). Celle-ci est caractérisée par un recul de *Corylus*, une disparition de tous les autres arbres thermophiles, une augmentation des pollens non arboréens et même par une petite poussée d'*Artemisia*.

Le bon tri des dépôts à la base du diagramme sédimentologique (fig. 5) se prolonge dans les sables plus ou moins argileux observés entre 264 m et 260 m à la Motte (fig. 3) et situés au-dessous du niveau ligniteux de la séquence principale 2 à Servolex. Leur bon tri et la présence de fragments organiques incorporés à ces formations sableuses suggèrent un dépôt sous un climat encore relativement chaud. Ces formations pourraient donc correspondre aux parties inférieures et moyennes de l'interglaciaire éémien du Ruisseau des Combes non encore décelées dans le Val du Bourget par l'analyse pollinique. Jusqu'à présent, les palynologues ont seulement mis en évidence la partie supérieure de cet interglaciaire avant tout dans les coupes du Ruisseau des Combes et de Servolex.

Ce qui est étonnant, c'est le faible pourcentage en matières organiques des couches ligniteuses et même des vrais charbons feuilletés. Il ne dépasse presque jamais 50 %. En règle presque générale on peut dire que le contenu en calcaire diminue quand celui de la matière organique augmente.

Si dans certains cas les données sédimentologiques obtenues pour les formations ligniteuses de Servolex traduisent assez bien les changements climatiques décelés par la palynologie, dans d'autres on constate le contraire. C'est le cas par exemple pour la détérioration climatique de la zone pollinique 7 (le Tremblay Ib) qui se situe entre les phases chaudes du St. Germain Ia (zone pollinique 6) et du St. Germain Ic (zones polliniques 8 à 12). Cet horizon a une calcimétrie et une teneur en matière organique qui ne se distinguent guère des valeurs obtenues pour les zones polliniques 6 (= St. Germain Ia) et 8 à 12 (St. Germain Ic) qui l'encadrent.

En ce qui concerne les macrorestes fossiles, c'est uniquement dans les graviers de la banquette du Tremblay qu'ils ont été observés au-dessus des charbons feuilletés de la séquence principale 2. Ainsi, on a découvert vers 311 m dans la gravière à l'Est du Fort la

◀ FIG. 5 (suite). – 25, Sables moyens et fins. 26, Ligniteux. 27, Sédiments très sableux avec quelques restes ligniteux. 28, Ligniteux argileux avec beaucoup de bois fossiles vers le bas. 29, Ligniteux riches en bois fossiles avec des couches argilo-sableuse. 30, Couches argilo-silteuses avec des bois fossiles et des restes ligniteux. 31, Couches argilo-silteuses avec des restes ligniteux et des tâches rouges. 32, Sables, silts et argiles avec des horizons oxydés. 33, Sables fins gris-verdâtres.

FIG. 5. – Sedimentological diagram of the lignitic formations outcropping in Servolex between 267 m and 272 m. It is the cut 7 of figure 1. Coefficient de mauvais triage selon Trask (= SO) after Cailleux and Tricart [1959, tome 1, p. 152]. Déviation standard (σ) after von Engelhardt [1973, p. 134]. St. Ger. 1 = St. Germain 1. This interstadial from Woillard [1978] corresponds to the interstadial of Le Tremblay from Gremmen [1982, fig. 14]. 1, Gravels. 2, Blue-grayish silts. 3, Lignitic formations. 4, Lignitic clays. 5, Blue-grayish silts. 6, Yellow sands and silts. 7, Clayish silts. 8, Clayish silts changing downward in lignites. 9, Silts and lignite clays. 10, Clayish sands. 11, Hard lignites with fossile woods. 12, Very hard lignites. 13, Hard lignites. 14, Clayish gray-brown silts. 15, Clayish gray-brown silts with organic residus. 16, Silty clays with fossile woods. 17, Clayish greenly silts and fine sands with fossile woods. 18, Lightly clayish-silty sands with some isolated gravels downward. 19, Sands and gravels with residues of lignites. 20, Sands with some gravels. 21, Sandy lignites. 22, Lignites with residues of lignites. 23, Lightly sandy hard lignites. 24, sandy-clayish lignites with fossile woods. 25, Medium until fine sands. 26, Sandy sediments with some lignite residues. 27, Very sandy sediments with some lignitic fragments. 28, Clayish lignites with fossile woods in the lower part. 29, Lignites with many fossile woods and clayish-sandy horizons between. 30, Clayish-silty layers with fossile woods and residues of lignites. 31, Clayish-silty layers with red spots and residues of lignites. 32, Sandy until clayish layers with redish horizons. 33, Grayish-green fine sands.

phalange d'un *Cervus elaphus* (= cerf rouge), déterminé par H.-P. Uerpmann et, vers 303 m des bois fossiles que l'on a malheureusement jetés avant d'être déterminés et datés (fig. 2). Dans la même gravière des calcites découvertes vers 305 m ont été datées aux ^{234}U - ^{230}Th par A. Mangini. L'âge obtenu de 43 000 avant aujourd'hui (= 35 000 à 51 000) doit être considéré comme un âge minimum si l'on tient compte de la lithostratigraphie.

Dans la gravière située en rive gauche du Ruisseau des Combes, on a découvert vers 293 m, juste au-dessus des lignites de la séquence principale 2, un bois fossile indéterminable et un autre de *Pinus*. Vers 300 m, on a décelé dans la même coupe un fragment de *Picea* et une autre essence dont l'identification est douteuse. Il s'agit soit de *Picea*, soit de *Larix* (fig. 2). Plus au Nord, à 295 m, des bois non déterminables ont été découverts dans la gravière au-dessous des Ciseaux [Hannss, 1982, p. 96]. C'est F. Schweingruber qui a effectué la détermination de tous ces bois fossiles.

3.3. La séquence principale 3

Nous avons déjà mentionné que, grâce à de nouvelles découvertes lithostratigraphiques dans la grande gravière de Voglans, on a pu récemment prouver l'existence d'une troisième séquence principale [Hannss et Peschke, 1992, p. 98]. Cependant dans cette gravière, la biostratigraphie n'a pas permis de faire une nette distinction entre les lignites de la séquence principale 2 situés à 280 m et ceux de la séquence 3 observables à 250 m. En effet, comme l'a montré l'analyse pollinique des charbons feuilletés de la grande gravière de Voglans [Gremmen, 1982, diagrammes 3 et 5; Hannss, 1982, p. 68], il existe à la fois des convergences et des divergences entre ces deux ensembles ligniteux. Les convergences résident dans le fait que les courbes d'*Alnus*, de *Corylus*, *Carpinus* et *Betula* sont très voisines. Les divergences concernent surtout les pourcentages d'*Alnus* beaucoup plus élevés dans les lignites supérieurs et les fréquences de *Betula* beaucoup plus importantes à certains niveaux des lignites inférieurs.

Pour tenter de caractériser par la biostratigraphie cette troisième séquence principale dans le Val du Bourget, Peschke effectue de nouvelles analyses polliniques dans des lignites de la gravière de l'aéroport militaire du Bourget qui furent exploités après la fin de la deuxième guerre mondiale (fig. 2). A cet endroit, les graviers au-dessus des charbons feuilletés de 260 m ont livré plusieurs fossiles : quelques bois non déterminables entre 290 m et 280 m et vers 275 m ainsi que des morceaux de *Pinus* et d'*Abies* vers 270 m. Juste au-dessus des lignites, on a découvert également le cône d'un sapin (*Abies*). Toutes ces déterminations botaniques ont été effectuées par F. Schweingruber.

Dans la même gravière, un des ouvriers a découvert une grande défense. Elle était incorporée vers 275 m à

l'une des lentilles de sable que l'on rencontre dans les graviers au-dessus des lignites. Cette défense pourrait être celle d'un mammoth (*Mammuthus primigenius*). Une autre défense a été mise au jour dans la même coupe vers 266 m dans une situation lithostratigraphique semblable. Mais son état de conservation n'a pas permis de dire s'il fallait l'attribuer à un mammoth ou à un éléphant des forêts (*Palaeoloxodon antiquus*). Au même niveau, le métapodien d'un artiodactyle appartenant à un cerf rouge (*Cervus elaphus*) a été découvert aussi [Hannss et al., 1978, p. 55].

Des ossements fossiles ont été également mentionnés vers 260 m dans les graviers recouvrant les lignites de 250 m de la grande gravière de Voglans. Il se pourrait qu'il s'agisse d'une défense de mammoth [Hannss, 1982, p. 109].

Les sables, silts et argiles au-dessous des lignites de la séquence principale 3 semblent ne pas contenir de pollens à Voglans-Bouvard ni dans la gravière de l'aéroport militaire du Bourget. On peut interpréter cette absence comme l'indice d'un climat plutôt froid et stadiaire. Car pendant les phases glaciaires et périglaciaires du Pléistocène, la couverture végétale était très réduite et la production et sédimentation des pollens aussi.

Mais ce sont aussi les forts pourcentages en calcaire de ces dépôts fins qui indiquent qu'ils ont été accumulés plutôt sous un climat froid. Car dans le bassin de Grenoble [Monjuvent et Uselle, 1973, diagramme «Etude sédimentologique du sondage d'Eybens»; Coûteaux et de Beaulieu, 1976, p. 277] comme dans le Val du Bourget [fig. 5 et Hannss et Peschke, 1992, p. 99, 107], la sédimentologie a montré que les couches argilo-sableuses où l'analyse pollinique a révélé un climat stadiaire sont partout riches en calcaire. En revanche, les dépôts interglaciaires, surtout là où les pourcentages en matière organique augmentent, se distinguent plutôt par une proportion de calcaire réduite.

4. - LES RÉSULTATS CHRONOSTRATIGRAPHIQUES

On dispose aujourd'hui d'un assez grand nombre de datations absolues sur les lignites et les restes fossiles du Val du Bourget. Il s'agit de datations au ^{14}C conventionnelles, au ^{14}C enrichi et aux ^{234}U - ^{230}Th (tableau I). Quand on compare les datations au radiocarbone avec les données biostratigraphiques, on constate que même celles au C^{14} enrichi ont livré souvent des âges trop jeunes. Ceci s'explique par une contamination du matériau daté avec du C^{14} récent qui n'a pas pu être éliminée totalement au cours de la préparation des échantillons [voir Grootes, p. 190 dans Hannss, 1982]. Presque toutes les datations au radiocarbone des formations ligniteuses appartenant au dernier interglaciaire sont donc considérées comme des âges minimum.

Par contre, certaines datations aux ^{234}U - ^{230}Th semblent mieux correspondre à l'âge réel des charbons feuilletés et s'accordent bien avec leurs âges relatifs fournis par la biostratigraphie. C'est ainsi que l'interglaciaire du Ruisseau des Combes (= Eémien) et les phases également interglaciaires du Tremblay (= St. Germain I) et de la Croix-Rouge I (= St. Germain II) se situeraient à peu près entre 120 000 et 90 000 ans. En raison de leurs caractéristiques climatiques analogues, on pourrait regrouper ces trois épisodes sous l'appellation de «période interglaciaire de Chambéry» (tableau II). Un tel regroupement des trois phases interglaciaires précédant le Würmien inférieur et caractérisées par une végétation forestière thermophile s'accorde très bien avec l'évolution climatique telle qu'on l'a trouvée dans les sédiments océaniques [Berger et Wefer, 1992, p. 550; Mangerud *et al.*, 1979, p. 191] et p. 17.; Dansgaard, 1987, p. 224, 226].

Mentionnons par ailleurs qu'une datation aux ^{234}U - ^{230}Th sur les lignites affleurant à 250 m dans la grande gravière de Voglans, a donné un âge absolu de $85\ 000 \pm 5000$ (tableau I). Cette date est tout à fait incompatible avec la position lithostratigraphique de ces charbons feuilletés appartenant à la troisième séquence principale, antérieurs donc à la période interglaciaire de Chambéry et rapportés par conséquent à l'avant-dernier interglaciaire (tableau II).

5. - LES PROBLÈMES RÉSOLUS ET NON RÉSOLUS DE LA STRATIGRAPHIE FINI-PLÉISTOCÈNE DANS LE VAL DU BOURGET

Il est plus ou moins prouvé que les banquettes du Val du Bourget sont constituées partiellement de sédiments argilo-sableux datant de l'avant-dernière époque glaciaire, ainsi que de couches ligniteuses qui se sont déposées sur ces sédiments au cours du dernier interglaciaire et de l'interstade du Tremblay. Le dernier interglaciaire est celui du Ruisseau des Combes corrélé par Gremmen avec l'Eémien. L'interstade du Tremblay présente aussi un caractère plutôt interglaciaire et correspond, selon Gremmen, au St. Germain I de Woillard. Tous les sédiments plus ou moins riches en matière organique et appartenant à la séquence principale 2 sont, le long d'une surface d'érosion, recouverts d'une assise caillouteuse qui renferme quelques fossiles.

Au-dessus de ces sédiments, on rencontre les strates de la séquence principale 1. Celle-ci se distingue de la précédente par une assise de sédiments argilo-sableux très épais dans lesquels deux horizons principaux de lignites s'interstratifient vers le bas et vers le haut. Les couches ligniteuses inférieures se sont formées pendant une période climatique à caractère plutôt interglaciaire. Il s'agit de l'interstade de la Croix-Rouge I corrélé selon Gremmen avec le St. Germain II. Cet interstade, celui du Tremblay et l'interglaciaire éémien du Ruisseau des

Combes représentent la «période interglaciaire de Chambéry» (tableau II).

Dans les sédiments fins qui recouvrent le banc de lignite de base de la séquence principale 1, Gremmen a en outre mis en évidence par l'analyse pollinique quatre interstades supplémentaires, ceux de la Croix Rouge II et III et de Sonnaz I et II. Ils indiquent un climat davantage tempéré que lors de la «période interglaciaire de Chambéry». Du point de vue pollinique, ces interstades sont caractérisés par la prédominance de *Pinus* et de *Picea*. En principe, on les retrouve aussi dans les diagrammes polliniques de la Grande Pile (Woillard, 1978) et des Echets (de Beaulieu et Reille, 1989). Ces interstades dominés par des *conifères* appartiennent déjà au Würm inférieur (= W I).

Il n'y a aucun hiatus lithostratigraphique entre les couches de l'interglaciaire du Ruisseau des Combes et celles de l'interstade du Tremblay faisant partie toutes les deux de la séquence principale 2. On n'a pas non plus la preuve d'une surface d'érosion entre les dépôts de l'interstade du Tremblay appartenant à la séquence principale 2 et les sédiments de l'interstade de la Croix Rouge I faisant partie de la séquence principale 1. Ceci est dû au fait que nulle part dans le Val du Bourget, on n'a pu observer la transition lithostratigraphique directe entre les séquences principales 2 et 1.

En se basant sur les découvertes de Welten à Meikirch [1982, diagrammes 1a et 1b], on pourrait corrélérer d'une part les deux phases à caractère interglaciaire de la séquence principale 2, c'est-à-dire l'interglaciaire du Rau des Combes et l'interstade du Tremblay, avec l'Holstein I et II, et d'autre part l'interstade de la Croix-Rouge I, qui revêt aussi un caractère plutôt interglaciaire, avec l'Eémien.

Mais si l'on tient compte des datations aux ^{234}U - ^{230}Th obtenues pour les lignites du Val du Bourget (tableau I), il est impossible de replacer l'interglaciaire du Ruisseau des Combes et l'interstade du Tremblay dans un interglaciaire préémien. En outre, à Meikirch, la lithostratigraphie nous permet de douter de la corrélation des deux phases interglaciaires retrouvées à la base des sédiments avec l'Holstein. En effet, entre ces dépôts interglaciaires et ceux attribués par Welten à l'Eémien, il n'y a pas de strates morainiques.

Par ailleurs, il est intéressant de mentionner que Schlüchter [1989, p. 145] conteste aussi l'attribution des deux phases interglaciaires basales de Meikirch à l'Holstein. Selon lui, cette corrélation n'est pas exacte parce que les pollens de *Fagus* et de *Pterocarya* qui sont typiques de cet interglaciaire manquent dans les sédiments de Meikirch. Si cette argumentation est correcte, on devrait peut-être plutôt corrélérer l'Holstein I et II de Meikirch avec l'Eémien et le St. Germain I comme Gremmen [1982, fig. 14] l'a fait pour l'interglaciaire du Ruisseau des Combes et l'interstade du Tremblay.

Ainsi, les séquences stratigraphiques interglaciaires de Meikirch et du Val du Bourget ressembleraient à celle

de Meikirch et du Val du Bourget ressembleraient à celle observée dans le Trièves entre 700 m et 746 m au flanc du Ruisseau de l'Amourette. Dans une coupe sur la rive gauche de ce petit cours d'eau, découverte par M. Archambault, Puissegur a montré, grâce à la malacologie, l'existence de trois phases au caractère plus ou moins interglaciaire [Gremmen *et al.*, 1984, fig. 2, p. 93]. Les deux couches inférieures appartenant aux phases chaudes ne sont séparées que par quelques mètres de galets. Gremmen qui en a fait l'étude palynologique les a appelées Ruisseau de l'Amourette I et II [Gremmen *et al.*, 1984, p. 94].

Un net hiatus lithostratigraphique sous forme de strates caillouteuses manque entre les dépôts du Ruisseau de l'Amourette II et les strates fines sus-jacentes également de caractère interglaciaire, mais étant purement minérales. Entre les deux on ne trouve qu'une mince couche de craie lacustre. On pourrait appeler la troisième séquence interglaciaire caractérisée uniquement par la malacologie, Ruisseau de l'Amourette III. Il serait donc possible de corréliser les trois ensembles biostratigraphiques du Ruisseau de l'Amourette reflétant trois périodes chaudes du dernier interglaciaire non seulement avec la période interglaciaire de Chambéry, mais aussi avec les phases correspondantes de l'Eémien et du St. Germain I et II. Elles ont été décelées aux Voges du Sud dans la Grande Pile [Woillard, 1978], dans les Dombes aux Echets [de Beaulieu et Reille, 1989], dans le Massif Central au Lac du Bouchet [Reille et de Beaulieu, 1988], dans le Ruisseau de Nanceau au Sud du Lac d'Annecy [Brun, à paraître] et dans le Grésivaudan au-dessous de la Flachère [Peschke, à paraître].

A la suite d'une nouvelle découverte lithostratigraphique dans la grande gravière de Voglans en 1991 [Hannss et Peschke, 1992], on a pu établir l'existence d'une troisième séquence principale pour le Val du Bourget. Il s'ensuit donc que les lignites les plus bas, situés entre 240 m et 260 m, devraient appartenir à l'avant-dernier Interglaciaire, l'Holstein classique. Le surcreusement glaciaire préliminaire à la sédimentation des séquences principales 1 et 2, doit avoir été beaucoup moins important que celui qui a précédé le dépôt des sédiments de la séquence principale 3. On peut en déduire que la poussée glaciaire antérieure à l'avant-

dernier interglaciaire, le Mindel-Riss classique, a été plus importante que celle ayant eu lieu avant le dernier interglaciaire, le Riss-Würm. Il s'ensuit que la moraine complètement décalcifiée sur laquelle reposent d'une façon plus ou moins transgressive tous les autres sédiments quaternaires des banquettes du Val du Bourget, n'a pas été déposée au Rissien classique, mais déjà au Mindélien. La stratigraphie du Pléistocène supérieur et moyen dans le Val du Bourget reflèterait donc en principe la même structure décrite déjà par Schlüchter [1989, p. 145] pour la Suisse.

Mais il reste encore à prouver définitivement si l'avant-dernière glaciation doit être corrélée avec celle de la Warthe et la glaciation précédente avec celle de la Saale ou si au contraire l'avant-dernière glaciation correspond au Riss classique et celle qui la précède au Mindel.

Enfin, dans le Val du Bourget se pose le problème non encore résolu de la position stratigraphique des graviers observables pratiquement à toutes les cotes au-dessus de 240 m et affleurant aussi bien au niveau des lignites que des sédiments argilo-sableux. Actuellement, on ne dispose que d'hypothèses plus ou moins fiables grâce auxquelles on peut essayer d'éclaircir cette structure lithostratigraphique étrange. Toutefois, il nous semble que ce phénomène s'explique plutôt par des phénomènes spéciaux dus à la sédimentation que par une activité néotectonique.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Madame Annik Brun et Monsieur Richard Klein qui ont assuré aimablement la correction de cet article. En outre, Monsieur Guy Monjuvent nous a fait parvenir amicalement bon nombre de propositions visant à améliorer notre publication. Nous avons essayé de les prendre en considération dans toute la mesure du possible. Nous le remercions aussi pour maintes discussions et sorties sur le terrain pendant lesquelles il nous a fraternellement introduit dans la géologie du Quaternaire des Alpes françaises du Nord qu'il connaît comme personne d'autre.

Références

- BEAULIEU, J.-L. DE & REILLE M. (1989). – The transition from temperate phases to stadials in the long upper Pleistocene sequence from les Echets (France). *Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **92**, 147-159, Amsterdam.
- BEAULIEU, J.-L. DE & REILLE M. (1984). – The pollen sequence of les Echets (France) : a new element for the chronology of the upper Pleistocene. *Géographie Physique et Quaternaire*, **38**, 3-9, Paris.
- BEHRE, K.-E. & LADE U. (1978). – Eine Folge von Eem und 4 Weichsel-Interstadialen in Oerel/Niedersachsen und ihr Vegetationsablauf. - *Eiszeitalter und Gegenwart*, **36**, 11-36, Hannover.
- BERGER, W. H. & WEFER, G. (1992). – Klimageschichte aus Tiefseesedimenten. Neues vom Ontong-Java-Plateau (Westpazifik). *Naturwissenschaften*, **79**, 541-550, Berlin.
- BOURDIER, F. (1961 et 1962). – Le bassin du Rhône au Quaternaire. Tome 1 et tome 2, CNRS Ed., Paris.
- CAILLEUX, A. & TRICART J. (1959). – Initiation à l'étude des sables et des galets. Tome 1, Paris.
- COUTEAUX, M. & BEAULIEU, J.-L. DE (1976). – L'analyse pollinique des «argiles d'Eybens» prouve un âge glaciaire. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **282**, série D, 277-280, Paris.
- DANSGAARD, W. (1987). – Ice core evidence of abrupt climatic changes. in : Berger, W. H., Labeyrie, L. D. (editors): «abrupt climatic change. Evidence and implications». Dordrecht.
- DEBELMAS, J. (1970). – Alpes (Savoie et Dauphiné). Paris.
- ENGELHARDT, VON W. (1973). – Die Bildung von Sedimenten und Sedimentgesteinen. Stuttgart.
- GIDON, M. (1992). – Le Voironnais au Würm II : morphologie et corrélations chronologiques dans le Quaternaire périglaciaire du Bas Dauphiné. *Géologie Alpine*, **68**, 63-75, Grenoble.
- GIDON, M., MONJUVENT, G. & STEINFATT, E. (1968). – Sur la morphologie fluvio-glaciaire aux marges des glaciers würmiens alpins : le dispositif moraine-chenal marginal. *Bulletin de l'Association française pour l'Etude du quaternaire*, **15**, 125-149.
- GIGNOUX, M. & MATHIAN J. (1952). – Les enseignements géologiques du grand barrage de Génissiat sur le Rhône (Ain - Haute-Savoie) : Karstification éocène de l'Urgonien, Quaternaire rhodanien. *Trav. Lab. Géol. Fac. Sci. Univ. Grenoble*, **29**, 121-162, Grenoble.
- GORCEIX, CH. (1919). – Constatation d'un mouvement isostatique postglaciaire dans la région de Chambéry. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **169**, 1279-1280, Paris.
- GREMMEN, W. (1982). – Palynological investigations on late pleistocene deposits in southeastern France. Groningen.
- GREMMEN, W., HANNSS, CH., PUISSEGUR, J. J. (1984). – Die warmzeitlichen Ablagerungen am Ruisseau de l'Amourette (Trièves, französische Alpen). *Eiszeitalter und Gegenwart*, **34**, 87-103, Hannover.
- GROOTES, P. M. (1977). – Thermal diffusion isotopic enrichment and radiocarbon dating beyond 50 000 years B.P. Groningen.
- HANNSS, CH. (1982). – Spätpleistozäne bis postglaziale Talverschüttungs- und Vergletscherungsphasen im Bereich des Sillon alpin der französischen Nordalpen. *Mitteilungen der Kommission für Quartärforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften*, **4**, Wien.
- HANNSS, CH. & PESCHKE P. (1992). – Die Banquette des Val du Bourget (franz. Nordalpen): Gelöste und ungelöste Probleme der jungpleistozänen Klima- und Reliefentwicklung. *Eiszeitalter und Gegenwart*, **42**, 94-114, Hannover.
- HANNSS, CH., KOENIGSWALD, VON W. & MILLION-ROUSSEAU A. (1978). – Découvertes d'ossements fossiles dans la sablière au SSW de la base du Bourget-du-Lac (Savoie). *Annales du Centre Universitaire de Savoie*, **3**, Sciences Naturelles, 53-57, Chambéry.
- LIEDTKE, H. (1985). – Warthestadium in Westeuropa, Moskau-Eiszeit in Osteuropa. *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge*, **29**, 113-116, Berlin.
- MANGERUD, J., SONSTEGAARD, E. & SEJRUP, H.-P. (1979). – Correlation of the Eemian (interglacial) stage and deep-sea oxygen-isotope stratigraphy. *Nature*, **277**, 189-192, London.
- MONJUVENT, G. & USELLE J.-P. (1973). – Interprétation des 'argiles' d'Eybens d'après la sédimentologie du sondage I.N.Q.U.A. 1969. *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, **10**, 103-127, Paris.
- NICOUD, G. (1979). – Deux exemples de difficultés rencontrées par le génie civil dans le Quaternaire chambérien. *Documents du Bur. Rech. Géol. Min.*, Colloque National, Lyon 13-14 mars 1979, Connaître le Sous-Sol, un Atout pour l'Aménagement Urbain, **2**, 859-872, Lyon.
- NICOUD, G. (1981). – Les dépôts pléistocènes du bassin chambérien et du nord-grésivaudan. Enseignements paléogéographiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **292**, série II, 101-104, Paris.
- PILLET, L. (1866). – Description géologique des environs de Chambéry. *Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Savoie*, **8**, série 2, 159-226, Chambéry.
- REILLE, M. & BEAULIEU, J.-L. DE (1988). – La fin de l'Eémien et les interstades du Prévürm mis pour la première fois en évidence dans le Massif Central français pas l'analyse pollinique. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **306**, série II, 1205-1210, Paris.
- RENAULT-MISKOVSKY, J. (1986). – Relations entre les spectres archéopolliniques de Sud-Est de la France et les oscillations climatiques entre 125 000 et le maximum glaciaire. *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, **25-26**, 56-62, Paris.
- REVIL, J. (1909-1910). – Géologie des chaînes jurassiennes et subalpines de la Savoie. *Trav. Lab. Géol. Fac. Sci. Univ. Grenoble*, **9**, 1-622, Grenoble.
- SCHAEFER, I. (1981). – Die glaziale Serie. Gedanken zum Kernstück der alpinen Eiszeitforschung. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **25**, 271-289, Berlin.
- SCHLÜCHTER, CH. (1989). – The most complete quaternary record of the swiss alpine foreland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **72**, 141-146, Amsterdam.
- STAUFFER, B. (1993). – Ist ein über mehrere Jahrtausende stabiles Klima die Ausnahme? *Spektrum der Wissenschaft*, p. 16-18, Weinheim.
- WELTEN, M. (1982). – Pollenanalytische Untersuchungen im Jüngeren Quartär des nördlichen Alpenvorlandes der Schweiz. Diagrammheft. *Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz*, N.F., **156**, 44 p., Bern.
- WOILLARD, G. M. (1978). – Grande Pile peat bog: a continuous pollen record for the last 140 000 years. *Quaternary Research*, **9**, 1-21, New York.
- WOILLARD, G. M. & MOOK W. (1982). – Carbon-14 dates at Grande Pile: Correlation of land and sea chronologies. *Science*, **215**, 159-161, Washington.