

120672

EVOLUTION ET PALÉO-ÉCOLOGIE DE LA VALLÉE DE LA PETITE NÈTHE AU COURS DU POST-WÜRM (BELGIQUE) (*)

A. V. MUNAUT (**) et E. PAULISSEN (***)

(18 fig. et 6 photos)

ABSTRACT

The direct observation of the deposits in a complete section through the valley of the Kleine Nèthe (Petite Nèthe, Campine, Belgium) [Chapt. I], completed with many sedimentological analyses (Chapt. II) allows to reconstruct the valley evolution (Chapt. IV). The chronostratigraphy is based on palynological analyses and ^{14}C datations (Chapt. III).

The location of the pollen diagrams in a well defined environment constitutes a favorable element to carry out a paleo-ecological study of the valley (Chapt. V).

Two local geological units are introduced, defined on litho-, chrono- and biostratigraphical basis :

- the member of Vuilvoort : a peat layer mixed with fine alluvium in the valley bottom, is synchronous with a fluvatile stabilisation during the Allerød period. The member of Vuilvoort covers a thin layer of early river deposits.
- the member of Addernesten : an unit of horizontal and subhorizontal layered fluvatile sands, accumulated during the Late Dryas period.

The fluviale dune has also a Late Dryas age.

Palynologically, five different phases can be distinguished during the Allerød period: phase A, increase of *Betula*; phase B, decrease of *Betula* in favour of the *Cyperaceae* and *Salix*; phase C, second increase of *Betula*; phase D, second increase of the *Cyperaceae*; phase E, dominance of *Pinus*. The first four phases are related to the hydric soil regime.

The comparison of various palynological profiles sampled in the member of Vuilvoort, in relation with the morphology and the nature of the sediments in the valley, permitted a first attempt to reconstruct the diversification of the Late Glacial vegetation.

The Preboreal, characterised by the extension of the *Pinus* forest is subdivided in four phases. The second phase shows transitory decrease of *Pinus* in favour of *Betula* and *Gramineae*. This phase is synchronized with the Piottino Oscillation in the Alps. During phase 4, the thermophile trees regularly appear.

Local ecological successions have been observed during the Preboreal. They show four stages : aquatic plants abundant; increase of *Polystichum thelypteris*; extension of *Salix*; return to more humid conditions.

The first influence of the agriculture observed locally dates from the beginning of the Subatlanticum.

(*) Communication présentée le 6 février 1973, manuscrit déposé le 14 mars 1973.

(**) Laboratoire de Palynologie et de Phytosociologie, 42, de Croylaan, 3030 Héverlé.

(***) Centre National de Recherches Géomorphologiques, Redingenstraat 16bis, Leuven.

Situation du profil étudié

Le profil traversant la vallée de la Petite Nèthe à Herentals, aux lieux-dits « Vuilvoort » et « Addernesten » (Fig. 1) a été creusé en 1967 pendant la construction d'un pipe-line de gaz naturel. La coupe de la vallée ayant une longueur de 600 m et une profondeur moyenne de 2,5-3 m, a été nivelée, levée et échantillonnée en détail sur toute sa longueur. Un nouveau pipe-line, suivant le même tracé, nous a permis de réétudier la coupe en 1972.

Morphologie et Géologie générale de la région (Fig. 1)

Dans les environs de Herentals, la limite septentrionale de la vallée de la Petite Nèthe est formée par la colline allongée de Lichtaart-Kasterlee, qui atteint une hauteur moyenne de 25-30 m. Cette colline asymétrique, dont le versant le plus raide est orienté vers le Sud, forme l'interfluve entre la Petite Nèthe et l'Aa.

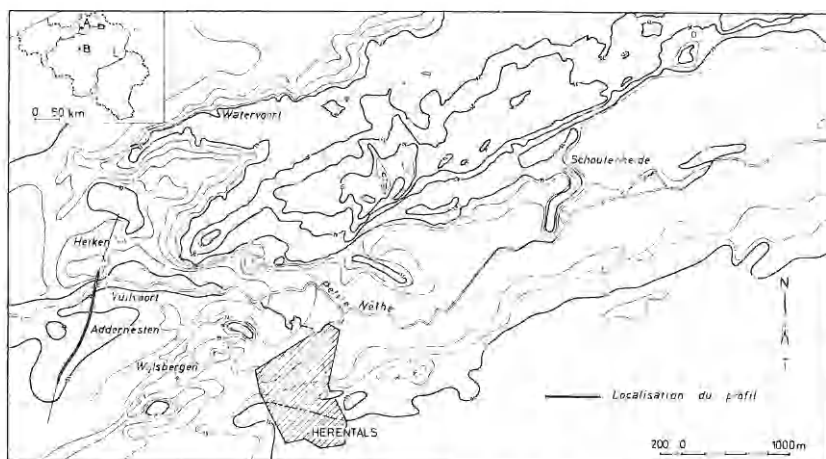


Fig. 1. — Localisation du profil étudié dans le relief des environs de Herentals.

La colline de Lichtaart-Kasterlee est composée d'un sable fin, homogène, très bien classé, faiblement glauconifère. Ces sables sont divisés en 2 parties par une couche de gravier très quartzeux, les quartz ayant une forme typiquement discoïde (Gulinck, 1960). La partie inférieure est interprétée comme Casterlien (Diestien supérieur) (Carte Géologique, 1:40.000; Halet, 1935; e.a.). La partie supérieure a été considérée comme Poederlien (Carte Géologique), comme Scaldésien (Leriche, 1922; Huyghebaert, 1961) ou bien comme Scaldésien ou Merksemien (Gulinck, 1960).

Au Sud un abrupt peu prononcé (2-3 m) marque la limite entre la vallée de la Petite Nèthe et une surface ondulante, qui forme l'interfluve entre la Petite Nèthe et la Grande Nèthe. Cet interfluve se subdivise en 2 grandes unités :

— le plateau de Oevel, à l'Est de Herentals, qui se situe entre 20 et 25 m. Des sondages effectués le long du canal Albert (Halet, 1935) permettent de fixer le sommet du Diestien typique (sable grossier très glauconieux) à une hauteur de 11-15 m. L'inclinaison du sommet du Diestien est de l'ordre de 0,90 m/km vers le Nord.

Le plateau de Oevel est formé entièrement par des sables casterliens, à l'Ouest de Herentals (Fig. 1).

Ajoutons qu'à Oevel, une tourbe s'est formée durant la transition Eemien-Würm au sommet des sables casterliens (Vanhoorne, 1963; Mullenders, Gullentops et Coremans, 1966).

— une surface plane, qui se situe entre 10-12 m. Cette surface s'est formée au sommet du Diestien typique. L'extension occidentale des sables casterliens coïncide probablement avec le léger rebord Nord-Sud, qui se situe à l'Ouest de Noorderwijk. C'est dans cette surface que la Petite Nèthe s'est érodée à l'endroit étudié.

Hydrographie

Le bassin de la Nèthe est orienté vers le Sud, complètement opposé au pendage général N-NE des couches tertiaires. L'axe principal du bassin, orienté NE-SO, forme une droite sur une distance de plus de 30 km. C'est un phénomène assez remarquable. En effet, l'axe principal, étant occupé par des rivières d'une importance tout à fait différente (la Nèthe entre Lier et Walem, la Petite Nèthe entre Lier et Viersel et le Pulderbosbeek en amont de Viersel), n'est pas du tout influencé par les affluents qui ont à chaque confluence un bassin de réception plus important que le bassin de l'axe principal. Le bassin de la Nèthe est asymétrique, les affluents principaux venant de l'Est.

Le bassin de la Petite Nèthe en amont de Kasterlee est dentritique. Entre Kasterlee et Herentals, la Petite Nèthe ne reçoit que des affluents venant du Sud. L'orientation est ENE-OSO, parallèle à l'orientation de la colline.

La pente moyenne de la Petite Nèthe est 20 cm/km. Une rupture de pente très nette (Fig. 1), 2 m sur 1 km, se situe près de Herentals à 1,5 km en amont du profil étudié. La pente du profil longitudinal immédiatement en amont et en aval de cette rupture est respectivement 13 cm/km et 25 cm/km. Cette rupture coïncide avec un rétrécissement de la plaine alluviale vers l'aval et avec un changement de l'orientation de la rivière (de ENE-OSO à E-O). Cette rupture de pente se situe à environ 5 km en amont de la confluence de la Petite Nèthe et de l'Aa, qui ont respectivement à cet endroit, un bassin de 300 et 250 km². La pente de l'Aa est 0,60 m/km, donc plus forte que celle de la Petite Nèthe. Des mesures de débit ne sont connues qu'à Grobbendonk, après la confluence de la Petite Nèthe et l'Aa. Le débit maximal journalier durant la période 1949-1958 pour les deux rivières est 28 m³/sec; le débit moyen annuel est de l'ordre de 6-7 m³/sec. Le niveau d'inondation de la rivière dans son stade naturel, sans endiguement, est atteint presque annuellement.

Il y a de multiples hypothèses pour expliquer cette rupture de pente : reprise d'érosion de la Petite Nèthe en fonction de l'érosion verticale de l'Aa; accumulation des sables dunaires dans la vallée (ils se situent des deux côtés de la plaine alluviale); transition des sables casterliens vers les sables diestiens typiques.

Les différents problèmes concernant l'origine et le développement du bassin de la Nèthe ne seront pas étudiés. Nous avons néanmoins cru nécessaire d'insister sur la position de la coupe étudiée afin d'apporter certains éléments nécessaires à l'interprétation du profil étudié.

CHAPITRE I

DESCRIPTION DU PROFIL (Fig. 2)

Un cailloutis dispersé ou une concentration horizontale de granules (unité II et IX), même absent en différents endroits, sépare les dépôts fluviatiles du Diestien typique (unité I, Fig. 2), qui est un sable grossier verdâtre, compact, très glauconieux, sans structures apparentes, avec des bioturbations à quelques niveaux (601, 602, 603, 637, 649) (*).

Les sables grossiers du Diestien forment partout dans la vallée le sommet des couches tertiaires.

La vallée de la Petite Nèthe, large de 600 m, est peu profonde : en moyenne 2-2,5 m.

Les accumulations fluviatiles se subdivisent en 2 grandes parties. La partie septentrionale est séparée de la partie méridionale par une ligne d'érosion latérale, qui se marque dans la paroi septentrionale de l'élévation allongée (Photo 1).



Photo 1. — La partie septentrionale de la vallée de la Petite Nèthe avec dans l'arrière plan l'élévation allongée.

La partie septentrionale peut être subdivisée en trois unités différentes (Fig. 2).

Unité X

Cette unité a une épaisseur maximale d'un demi mètre (photo 3), et est composée d'un sable moyennement fin, grisâtre, peu glauconieux, avec une stratification horizon-

(*) Numéros des échantillons sédimentologiques. Localisation voir fig. 2.

taie dominante. Au sein de cette couche apparaissent de larges dépressions (10 m), peu profondes, ainsi que des petits creux d'érosion (0,2-0,5 m), remplis de sables à stratification oblique parallèle (Ech. 608, 609, 610).



Photo 2. — La levée (unité XI) près de la Petite Nèthe actuelle, recouverte par la tourbe (unité XII).

Le contact (unité IX, photo 3) avec le Diestien sous-jacent est abrupt et est indiqué parfois par un lit de sables grossiers, granuleux, avec une présence sporadique de quelques cailloux de quartz discoïdes ou de silex grisâtres d'une forme très irrégulière (604).

A une distance de 30 m de la Petite Nèthe l'unité X atteint une épaisseur de 1,5 m (photo 2). La stratification de cette levée est extrêmement bien conservée. Les différentes couches, d'une épaisseur variant entre 1 et 5 cm, peuvent être individualisées sur toute leur étendue. La stratification est toujours lamellaire. Vers la base ($\pm 0,5$ m), la stratification est d'abord horizontale, puis subhorizontale. Les contacts entre les différentes couches ne sont pas érosives. Au fur et à mesure qu'on monte dans le profil, les couches deviennent relativement plus minces. Elles sont horizontales à subhorizontales dans les environs immédiats de la rivière, mais ont une inclinaison plus forte vers le Sud, et la base des couches individuelles peut être érosive. L'inclinaison des couches peut atteindre 5 %. Quelques couches montrent une « ripple lamination ». Beaucoup de modifications secondaires des couches sont dues aux racines pivots. Les couches individuelles présentent la gradation suivante : passage d'un sable grossier à moyennement grossier à un sable fin à moyennement fin, parfois même très argileux (graded). Le contact entre les différentes couches est toujours brusque. Les échantillons sont pris au milieu d'une couche bien individualisée (Ech. 605, 608, 607).

Unité XI

Il s'agit d'une couche de tourbe très pure qui recouvre d'une façon continue l'unité X (photo 3). Elle atteint une épaisseur maximale de 62 cm dans le Sud (Profil palynologique I). Le sommet de la couche est érodé en quelques endroits.

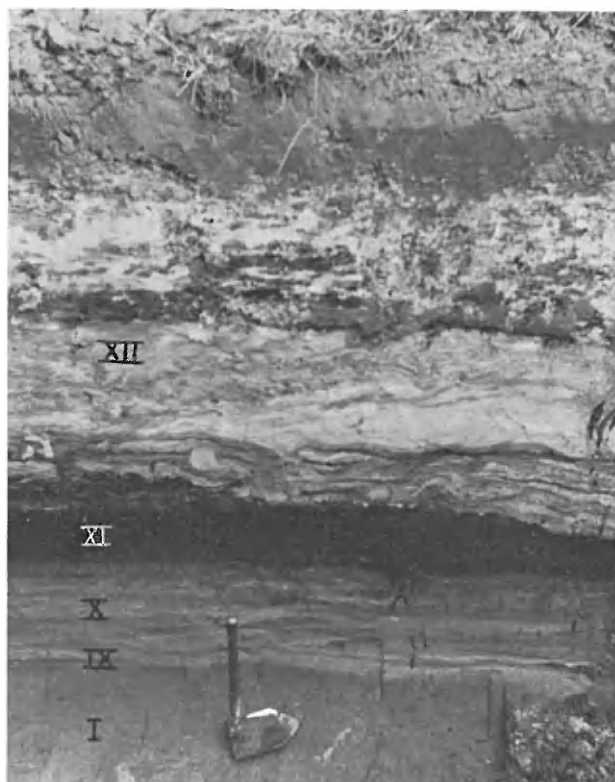


Photo 3. — Profil dans la partie septentrionale de la vallée : Diestien grossier (unité I), base dépôts fluviaux (unité IX), sable (unité X), tourbe (unité XI), sable (unité XII).

Cette couche fossilise aussi la levée située près de la Petite Nèthe. Elle devient progressivement plus mince, et passe à une couche d'argile humifère de 5 cm d'épaisseur. Celle-ci se trouve près de la Petite Nèthe à une profondeur de 80 cm.

Unité XII

Elle forme une surface plane qui s'incline très doucement vers le Nord (photo 1). Elle se compose de 4 couches :

- 0-30 : terre arable, peu compacte, remblayage artificiel.
- 30-70 : sol de marais, formé dans des sables fins homogénéisés, durci par la présence d'un grand nombre de concrétions de limonites.
- 70-140 : sable moyennement fin, grisâtre, peu glauconieux, avec une stratification généralement horizontale, érodé parfois par des dépressions peu profondes

(photo 3). Les dépressions sont remblayées par des couches de sables, légèrement inclinées, qui hors de la dépression montrent une stratification horizontale (Ech. 611-612).

140-170 : sable fin, grisâtre, stratifié horizontalement, avec intercalations de lits de sables grossiers. Plusieurs couches montrent une « ripple-lamination ». A plusieurs endroits, le contact avec la tourbe sous-jacente (unité VIII) est érosif et ondulant. Des plaquettes de tourbe, enlevées de la tourbe sous-jacente, se trouvent remaniées dans cette couche (photo 3).

A l'endroit du prélèvement du profil palynologique, il n'y avait aucune indication d'une érosion postérieure de la tourbe.

La Petite Nèthe, actuellement endiguée et élargie, longe la colline de Lichtaart.

La partie méridionale de la coupe est de toute évidence la plus ancienne puisqu'elle est érodée à sa partie septentrionale.

Unité II

C'est un cailloutis épars qui marque en plusieurs endroits, en lit continu, la base des dépôts fluviatiles.

Ce cailloutis contient dans la fraction supérieure à 8 mm quelques galets de silex parfaitement arrondis, quelques silex très irréguliers, parfois fortement cachalonnés et quelques quartz plats translucides, parfaitement arrondis. Dans les classes 4-8 mm et 2-4 mm les galets translucides, discoïdes dominent de loin (respectivement 87 % et 95 %) les quartz anguleux et les silex. Ce cailloutis a des caractéristiques identiques à celui décrit par Gulink (1960) dans la colline de Lichtaart, ce qui est confirmé d'ailleurs par une analyse pétrographique détaillée de ces cailloux in situ.

L'unité II doit donc être considérée comme un gravier de remaniement d'un gravier de base tertiaire (Scaldésien, Merksemien?) qui provient du sommet des sables casterliens.

Plusieurs unités individualisées peuvent être considérées.

Unité III

Elle comprend tous les sédiments situés au-dessous de la couche tourbeuse (Unité IV), ayant une épaisseur moyenne de 0,5 m. Ils sont homogènes sur de grandes distances et forment un « graded bedding ». Ils sont constitués à la base par des sables grossiers glauconieux, contenant éventuellement des granules, stratifiés horizontalement (622, 623, 628, 638, 650) et devenant plus fins vers le sommet (639, 651, 654).

A environ 250 m de la Petite Nèthe une ancienne dépression profonde de plus de 60 cm, a été retrouvée dans ces sédiments. Elle a été érodée dans les sables tertiaires et est remplie à la base par un sable grossier granuleux, contenant quelques graviers (620), surmonté d'une couche de sable limoneux d'une épaisseur de 50 cm (621).

Cette ancienne vallée plane est limitée vers le Nord par une levée (III') (photo 4) construite par des couches subhorizontales inclinées vers le Sud. La levée est composée par une alternance de sables fins, purs, et des sables fins légèrement argileux ou limoneux (613, 614, 615, 616).

Les sédiments appartenant à cette unité s'amincissent sur le rebord méridional de la vallée (654).

Unité IV

C'est une couche tourbeuse qui fossilise complètement cette ancienne vallée peu profonde (photo 4). Sur la levée septentrionale et sur le rebord méridional cette couche est constituée par une tourbe pure, parfois argileuse. Par contre, au sein de la dépression, la couche devient une argile limoneuse et peut atteindre une épaisseur maximale de 52 cm. Cette couche a été échantillonnée palynologiquement en plusieurs endroits afin de prouver sa continuité et d'examiner l'évolution de la végétation en fonction de la morphologie de la vallée (Profil IIA, IIB, III, IVA, V, VI). Pour la localisation des profils voir Fig. 2.

Les sédiments correspondant au profil palynologique III ont été examinés en détail (629-... 636) (Fig. 4).

A environ 250 m au Sud de la Petite Nèthe, on pouvait noter la présence de deux couches tourbeuses. Un banc de sable moyennement fin (624), dont les couches s'inclinent vers le Nord, s'y intercale. A une dizaine de mètres vers le Nord les deux couches se superposent et se poursuivent (Unité IV). La relation stratigraphique de ces deux couches tourbeuses avec la couche tourbeuse (Unité IV) vers le Sud n'a pas pu être établie.

Les deux couches ont été échantillonnées en vue de l'analyse pollinique (Profil IIB).

Unité V

Elle représente une accumulation importante de 2 m de hauteur, et large d'environ 200 m, établie autour d'un chenal abandonné et rempli de tourbe. Remarquons que cette accumulation se marque dans la morphologie comme deux berges, assez longues mais peu prononcées. Les structures sont homogènes. Les différentes couches de sables fins, parfois légèrement limoneux ou argileux, ont une stratification bien conservée, qui devient subhorizontale vers l'extérieur. Les contacts entre différentes couches peuvent être érosifs. Quelques couches montrent une « ripple lamination ». Les couches présentent un « graded bedding ». Des lamelles de granules forment parfois la base des couches individuelles, mais les échantillons sont pris dans des couches homogènes : 640, 641, 642, 643 dans la levée septentrionale et 645, 646, 647 dans la levée méridionale. Le sommet de l'accumulation est formé par une couche homogène de sable fin limoneux (648). Cette accumulation se poursuit même vers le Sud, l'épaisseur devenant pourtant fortement restreinte (652, 653).

Ces sables recouvrent un sol polygonal de fentes (photo 5) d'un diamètre moyen de 1,5 m, qui s'est formé au sommet de la couche tourbeuse sous-jacente (Unité IV).

Les dépôts de cette unité s'amincissent vers le Nord et atteignent au maximum 60 cm près de l'Unité VIII. Ce sont des sables plus fins, légèrement limoneux (625, 626, 627).

Unité VI (Photo 6)

C'est un lit fluviatile abandonné, qui rejoint la Petite Nèthe actuelle, aussi bien en amont qu'en aval du profil. Le lit abandonné a une largeur de 12 m. La base du lit est formée par un sable grossier, glauconieux, contenant des granules et quelques cailloux. Le lit a été érodé dans les sables tertiaires. Le lit abandonné s'est d'abord rétréci par des accumulations de sables fins peu glauconieux, avec intercalation de petits lits de tourbe.

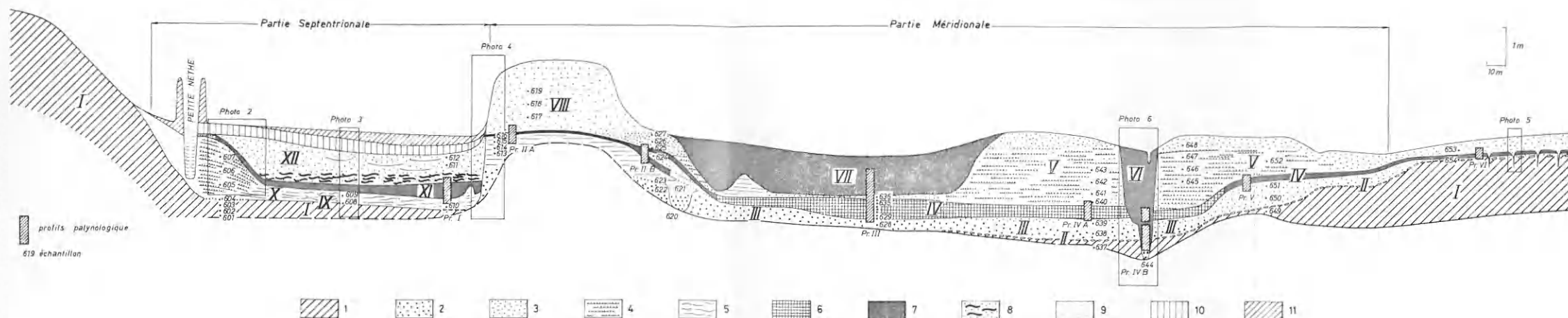


Fig. 2. — Profil à travers de la vallée de la Petite Nèthe. 1 : Diestien grossier; 2 : sable grossier; 3 : sable fin à moyennement fin; 4 : sable fin avec une stratification extrêmement bien conservée; 5 : sable fin à moyennement fin stratifié; 6 : argile limoneuse humifère; 7 : tourbe; 8 : sable fin, avec intercalation des plaquets de tourbe; 9 : sable limoneux; 10 : sol de marais; 11 : remblaiement artificiel.

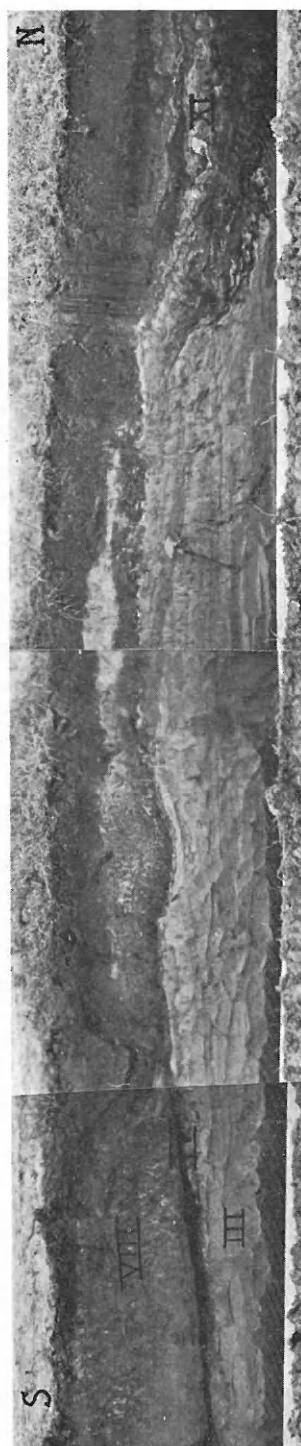


Photo 4. — Profil dans l'élévation allongée : sable (unité IV), tourbe (unité III), sable dunaire (unité VIII).



Photo 5. — Sol polygonal de fentes, postérieur à la couche IV.



Photo 6. — Chenal abandonné (unité VI), rempli de tourbe.

Une première couche continue de tourbe s'est ensuite formée dans le thalweg, large de 6 m. A partir de ce moment l'accumulation organique domine, bien que des sédiments détritiques s'intercalent entre des lits de tourbe superposés. Le sommet de la coupe est formé par des accumulations artificielles.

Un profil de tourbe (Profil IVB) a été échantillonné à partir de la première tourbe continue (Photo 6), qui indique avec certitude la fin de la phase active du lit.

Immédiatement au Sud de ce lit abandonné, un fossé a été creusé, qui s'est rempli complètement par des matériaux organiques.

L'unité VII est une dépression marécageuse large de 150 m. La dépression a érodé presque entièrement les sables sous-jacents de l'unité V. L'érosion s'est quasiment arrêtée au sommet des limons argileux humifères de l'unité IV. La base de cette dépression n'est caractérisée par aucune concentration de particules grossières. La dépression est comblée par une tourbe qui peut atteindre une épaisseur maximale de 1,5 m.

L'unité VIII correspond à une élévation allongée, parallèle à l'orientation de la vallée. Le chemin de Herentals vers Vuilvoort suit le sommet de cette élévation.

Cette élévation est composée d'un sable fin à moyennement fin, légèrement glauconieux à la base, oxydé au sommet. La stratification, peu prononcée dans ces sables presque purs, disparaissait en nettoyant la coupe. La stratification horizon-

tale semblait dominante. Au sein de l'accumulation on pourrait néanmoins reconnaître quelques couches présentant une stratification oblique et une pente orientée vers le Nord. Un podzol humo-ferrique s'est développé au sommet (617, 618, 619).

Cette unité est une *dune de rivière* typique qui s'est construite parallèlement à l'axe de la vallée. Sa position aberrante au milieu de la vallée sera expliquée au chapitre IV.

CHAPITRE II

CARACTÉRISTIQUES GRANULOMÉTRIQUES

1. Les dépôts sableux

Tous les échantillons, excepté ceux prélevés dans l'unité IV (630-635) sont des sables. Ils ont été tamisés à sec jusqu'à $44\ \mu$, avec un intervalle de tamis de $1/4\ \phi$.

Toutes les courbes cumulatives peuvent être divisées en deux parties : une *fraction sableuse* très importante, et une *fraction fine* ($< 44\ \mu$) peu importante (voir tableau I). La fraction fine se caractérise sur les courbes cumulatives par une droite très plate, sans maximum secondaire. Le pourcentage de la fraction silteuse est à négliger. Dans certains échantillons la fraction argileuse est très importante. Les analyses de la fraction légère du sédiment ont montré que ce phénomène est dû à une altération des glauconies, présentes dans les sables originaux.

Afin d'éviter l'influence de la fraction fine (légèrement différente dans les échantillons) sur le classement (Folk and Ward, 1957) calculé suivant les méthodes graphiques, la fraction sableuse (supérieure à $44\ \mu$) est recalculée en 100 %. Le *premier pourcentile*, qui donne une idée de la grossièreté du matériel (Mc Cammon, 1962), a été également calculé à partir de la courbe cumulative. Le tableau I représente les différentes caractéristiques (mode, classement, fraction fine, premier pourcentile) des courbes individuelles.

Les échantillons peuvent être classés en différents groupes possédant chacun des caractéristiques homogènes.

1. 1. Le Diestien grossier (601, 602, 603, 637, 649)

Le mode est $290\ \mu$ (il varie entre $263\ \mu$ et $347\ \mu$); le classement est $0,47\ \phi$ ($\sigma: \pm 0,07$). Le premier pourcentile est assez variable (entre 460 et $1000\ \mu$). Le sédiment est très glauconieux : il renferme jusqu'à 20 % de glauconie. Vers le rebord méridional, le Diestien est très argileux (27 % d'argile dans l'échantillon 649). Cette argile vert foncé provient de l'altération de la glauconie au niveau de la nappe phréatique. En effet, la disparition de la glauconie dans le Diestien coïncide avec une forte augmentation de sa teneur en argile. Le Diestien non altéré a une fraction fine de moins de 10 %. La courbe cumulative (Fig. 3, 1) est assez rectiligne.

1. 2. Les sédiments grossiers fluviaux.

1. 2. 1. Un groupe très semblable au Diestien grossier (610, 622, 623, 628) se situe immédiatement au-dessus du Diestien à des endroits où la limite des dépôts

(*) σ : déviation standard.

TABLEAU I
Caractéristiques granulométriques

	Mode (μ)	Classement (φ)	Premier pourcentile (μ)	Fraction fine (%)
601	281	0,45	550	4,92
602	279	0,35	460	9,88
603	281	0,49	560	7,46
604	255	0,84	1800	7,34
605	123	0,61	380	11,00
606	120	0,46	310	6,04
607	155	0,58	500	8,40
608	175	0,65	600	12,10
609	165	0,82	1250	22,15
610	290	0,49	600	4,25
611	163	0,58	490	8,75
612	162	0,63	740	8,35
613	164	0,65	660	6,65
614	161	0,63	560	8,10
615	153	0,52	380	11,10
616	151	0,55	370	13,05
617	162	0,63	550	9,05
618	163	0,68	730	10,70
619	160	0,63	600	7,10
620	422	0,79	> 2 mm	2,28
621	113	0,69	370	44,84
622	225	0,46	420	12,38
623	260	0,36	435	4,82
624	161	0,59	370	15,65
625	125	0,56	300	20,54
626	120	0,46	297	18,53
627	123	0,44	300	12,89
628	242	0,49	390	8,80
637	347	0,51	1000	26,00
638	250	0,79	1700	4,05
639	164	0,60	> 2 mm	7,70
640	159	0,42	320	15,95
641	160	0,43	370	7,75
642	156	0,38	320	11,65
643	158	0,35	300	4,60
644	351	0,75	> 2 mm	3,80
645	160	0,47	490	6,25
646	166	0,36	330	8,10
647	163	0,40	440	9,35
648	138	0,38	290	13,65
649	263	0,54	900	31,45
650	269	0,68	830	4,60
651	166	0,73	1400	13,30
652	155	0,46	450	6,05
653	158	0,43	500	3,30
654	162	0,59	600	5,75

fluviales n'est pas formée par une couche d'éléments grossiers. La limite brusque peut être reconnue facilement dans le profil grâce à une différence de structure entre le Diestien grossier et le Diestien remanié (photo 3).

Les caractéristiques granulométriques sont : mode : 250μ ; classement : $0,45 \varphi$ ($\sigma: \pm 0,05 \varphi$); premier pourcentile : 460μ ; fraction fine : $5,5 \%$.

La courbe cumulative (Fig. 3, 1a) est parfaitement rectiligne.

1. 2. 2. Un deuxième groupe (604, 638, 650) est formé par la couche de base des dépôts fluviaux ou situé immédiatement au-dessus de cette couche. Le sable est enrichi en éléments grossiers.

Le mode (259μ) et la fraction fine ($5,3 \%$) restent identiques. Le classement par contre est plus mauvais : $0,77 \varphi$ et le premier pourcentile est plus grossier (supérieur à 1000μ).

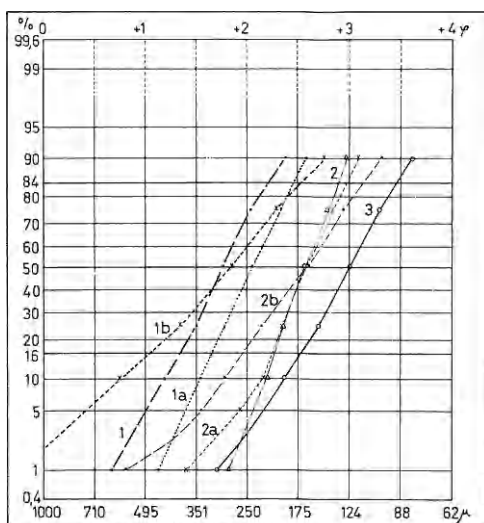


Fig. 3. — Courbes cumulatives moyennes des différents groupes de la fraction sableuse des différents groupes sédimentologiques.

La courbe cumulative (Fig. 3, 1b) est rectiligne, mais sa pente, influencée par la fraction grossière, est plus douce.

Le pourcentage en poids de glauconie de ces sables grossiers est identique au pourcentage de glauconie dans le Diestien typique. Il varie entre 16 et 26 % (sur 4 échantillons).

La source des sables fluviaux grossiers est évidente : ils proviennent du Diestien grossier sous-jacent. La différence observée entre les modes moyens n'est pas significative. Il est important de noter que les sables du groupe 1. 2. 1. (Fig. 3, 1a) ont gardé les caractéristiques du Diestien typique. Les légers déplacements dans la vallée n'ont pas influencé le sédiment autochtone. Les sédiments par contre qui sont mélangés avec des sédiments allochtones par action fluviale (groupe 1. 2. 2., Fig. 3, 1b) ont un classement nettement plus mauvais.

1. 2. 3. Les sables du fond des lits fluviaux (620, 644) sont très grossiers et mal classés.

1. 3. *Les sables fluviaux fins à moyennement fins* se subdivisent en :

1. 3. 1. Un groupe de 22 échantillons avec un mode extrêmement constant : 162μ ($\sigma: \pm 0,05 \varphi$). Ils peuvent être subdivisés en tenant compte de leur classement :

1. 3. 1. 1. Un groupe de 9 échantillons avec un bon classement : $0,41 \varphi$ ($\sigma: \pm 0,04 \varphi$), un premier pourcentile de 385μ ($\sigma: \pm 0,25 \varphi$) et une fraction fine de 8 % (640, 641, 642, 643, 645, 646, 647, 652, 653).

Ce groupe est formé exclusivement par les échantillons prélevés dans l'unité V, qui correspond au grand remblaiement de la vallée autour du lit abandonné (unité VI).

Les courbes cumulatives (Fig. 2a) sont presque rectilignes, mais leur classement est légèrement meilleur dans les fractions fines.

1. 3. 1. 2. Un groupe de 11 échantillons (607, 608, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 624, 639, 654) avec un classement moyen de $0,60 \varphi$ ($\sigma: \pm 0,04 \varphi$), une fraction fine de 10 % et un premier pourcentile de 500μ .

Ces échantillons sont prélevés dans les unités III, X, XII.

Les courbes cumulatives (Fig. 3, 2b) sont rectilignes, avec une pente assez faible. La fraction grossière est mieux représentée.

1. 3. 1. 3. Deux échantillons (609, 651) ont un mauvais classement : $0,78 \varphi$, une fraction fine de 18 % et un premier pourcentile plus grossier (1300μ).

1. 3. 2. Un groupe de 6 échantillons de sables fins à très fins, qui se sont déposés en couche homogène au sommet de l'accumulation de l'unité V (625, 626, 627, 648) et qui apparaissent comme des couches individuelles (605, 606) dans la levée près de la Petite Nèthe (unité IX).

Les caractéristiques moyennes sont : mode 125μ ($\sigma: \pm 0,05 \varphi$); classement : $0,48 \varphi$ ($\sigma: \pm 0,08 \varphi$), premier pourcentile : 310μ . Notons que la fraction fine est plus abondante au sommet de l'unité V (16 %), que dans la levée (8,5 %).

Tous ces sables ont un pourcentage de glauconie assez homogène : 9 % de poids en moyenne (entre 6 et 13 % sur 8 échantillons).

Les sables fluviaux fins à moyennement fins proviennent du remaniement des sédiments qui affleurent en amont, notamment les sables fins tertiaires, surmontant le Diestien grossier et les sables de couverture, ne dépassant presque jamais 1 m dans cette région.

La présence de sables purs de couverture dans le profil peut être exclue. En effet, les sables de couverture ont des structures tout à fait différentes, un pourcentage de glauconie minime et une texture plus limoneuse.

Les 26 échantillons des formations tertiaires fins provenant de Lichtaart (Huyghebaert, 1961) nous ont permis de calculer les paramètres suivants : mode : 156μ ($\sigma: \pm 0,05 \varphi$); classement : $0,29 \varphi$ ($\sigma: \pm 0,03 \varphi$); premier pourcentile : 310μ ($\sigma: \pm 0,2 \varphi$); fraction fine : 5 %. Les 2 échantillons prélevés à Oevel (Mullenders, Gullentops et Coremans, 1966) ont un mode de 150μ , un classement de $0,35 \varphi$, un premier pourcentile de 270μ et une fraction fine de 44 et de 18 %.

Le mode des sédiments originaux n'est pas influencé par le transport fluvial, le classement par contre devient plus mauvais. Le classement des sables de l'unité V (groupe 1. 3. 1. 1.) n'a pas changé fortement par rapport au classement original. Le classement est influencé par un mélange grossier qui ne se marque que par une

queue peu importante à partir de 208μ (Fig. 3, 2a), et par un mélange peu important de sables très fins.

La courbe cumulative, ainsi que le classement des autres fluviatiles (groupe 1. 3. 1. 2), sont tout à fait différents du sédiment original (Fig. 3, 2b).

Il est intéressant de noter que la fraction modale du mélange grossier se trouve toujours dans les environs de 250μ , valeur modale du Diestien grossier.

Les sables fins du groupe 1. 3. 2. (au sommet de l'unité V et dans la levée près de la Petite Nèthe), dont le classement est bon, mais le mode plus petit, ont été probablement déposés par des courants d'une capacité moins importante.

1. 4. *Les sables dunaires* (617, 618, 619) (unité VIII) ont un mode moyen de 158μ , un classement de 0,64 ϕ , une fraction fine de 9 % et un premier pourcentile de 620μ .

Les sables dunaires ont des caractéristiques indentiques aux sables fluviatiles du groupe 1. 3. 1. 2.

2. Les dépôts limono-argileux

Une couche d'argile limoneuse s'est déposée au fond de la vallée pendant la formation de l'unité IV. Les échantillons ont été prélevés dans les différentes couches qui pourraient être distinguées dans les boîtes du profil palynologique III. Voici la description des échantillons (de bas en haut) :

629 : argile limoneuse, tourbeuse, avec des concrétions de limonite (150-141,5 cm)

630 : argile tourbeuse, avec des concrétions de limonite (141,5-137 cm)

631 : argile limoneuse très tourbeuse, peu de concrétions (137-132 cm)

632 : argile limoneuse moins tourbeuse, avec des concrétions (132-126 cm)

633 : argile humifère, peu de concrétions (126-118 cm)

634 : couches de tourbe alternant avec une argile légèrement sableuse (118-110 cm)

635 : limon argileux, humifère, avec un peu de concrétions (110-106 cm)

636 : sable limoneux appartenant à l'unité V (106-98 cm).

Le pourcentage de matériel organique (Fig. 4) est constant à la base (150-137 cm) et atteint son maximum dans la couche de 137-132 cm. A partir de cette couche, le pourcentage de matériel organique diminue progressivement vers le haut.

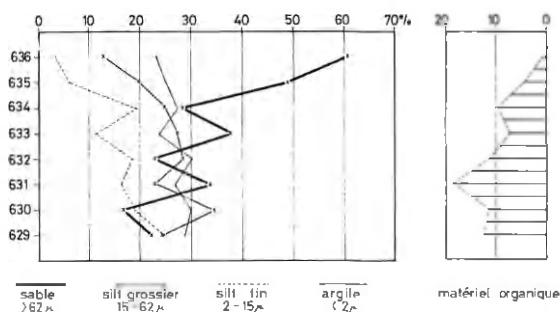


Fig. 4. — Distribution granulométrique et organique de l'argile limoneuse de l'unité IV, déposée au fond de la vallée.

Le matériel détritique (Fig. 4) est assez homogène, et son classement très mauvais. Dans toute la couche, la fraction sableuse, la fraction argileuse et la fraction de silt grossier sont représentées de façon presque égale. La fraction sableuse, variable d'une couche à l'autre de 150 à 110 cm, devient progressivement très importante dans les alluvions à partir de l'échantillon 634, tandis que les autres fractions diminuent.

Le « silt ratio » $\left(\frac{62 - 15}{< 16} \mu \right)$ reste rigoureusement constant de 150 à 110 cm

(sa valeur moyenne est de 62; $\sigma: \pm 4$). Ceci signifie que durant le dépôt de cette couche, la fraction fine a toujours une même composition et la variation de la texture dépend uniquement de l'importance de la fraction sableuse. Le « silt ratio » augmente vers le haut à partir de l'échantillon 634 : les alluvions deviennent plus grossières, même dans les fractions fines. Le silt grossier devient nettement dominant sur les fractions inférieures à 15 μ .

Ces analyses permettent de spécifier la formation de l'unité IV, caractérisée par une accumulation tourbeuse à travers toute la vallée. Pendant la formation de la tourbe, un alluvionnement continu s'est produit au fond de la dépression. La couche de 137 à 132 cm est la plus riche en matières organiques. Les alluvions sont homogènes. La fraction silteuse y est dominante. A partir de 110 cm, la matière organique et la fraction fine deviennent moins abondantes en raison de l'alluvionnement plus important de sable.

CHAPITRE III

LES ANALYSES PALYNOLOGIQUES

Huit profils prélevés en différents points de la coupe dessinée à la Fig. 2 ont été analysés palynologiquement (Figures 5 à 12). Dans ce chapitre, nous présentons un bref aperçu des techniques et méthodes utilisées et une discussion chronologique des diagrammes obtenus. Cette chronologie servira de cadre pour l'étude de l'évolution morphologique de la vallée et pour les considérations écologiques développées dans les chapitres suivants;

1. Techniques et méthodes

Les pollens ont été extraits suivant les procédés usuels (Delcourt, Mullenders et Piérart, 1959). Quelques échantillons très pauvres ont été traités par la méthode de Frenzel décrite par Bastin et Coûteaux (1966).

Les résultats sont présentés sous forme de diagrammes (*) où figurent en abscisses l'échelle des pourcentages et en ordonnées l'échelle relative des profondeurs indiquées en cm (l'origine des profondeurs est constituée par le niveau le plus élevé du diagramme, indépendamment de la surface du sol ou des cotes absolues d'altitude).

Les pourcentages sont calculés en fonction du total des spores et pollens comptés dans chaque niveau. Seul *Sphagnum* est exclu. Les diagrammes comportent successivement de la gauche vers la droite : la référence aux couches stratigraphiques, les périodes reconnues et une échelle des profondeurs.

(*) Les tableaux de comptage en dépôt au Laboratoire de Palynologie et de Phytosociologie à Louvain peuvent être consultés sur demande.

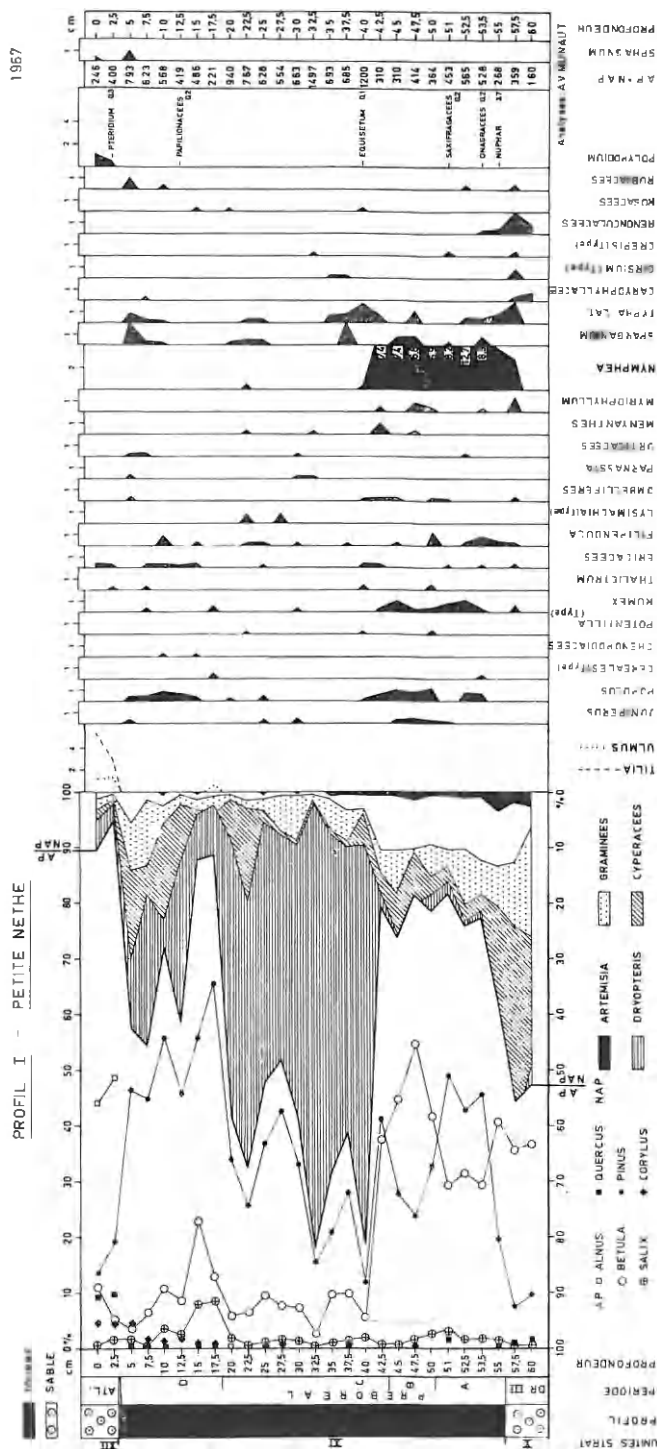
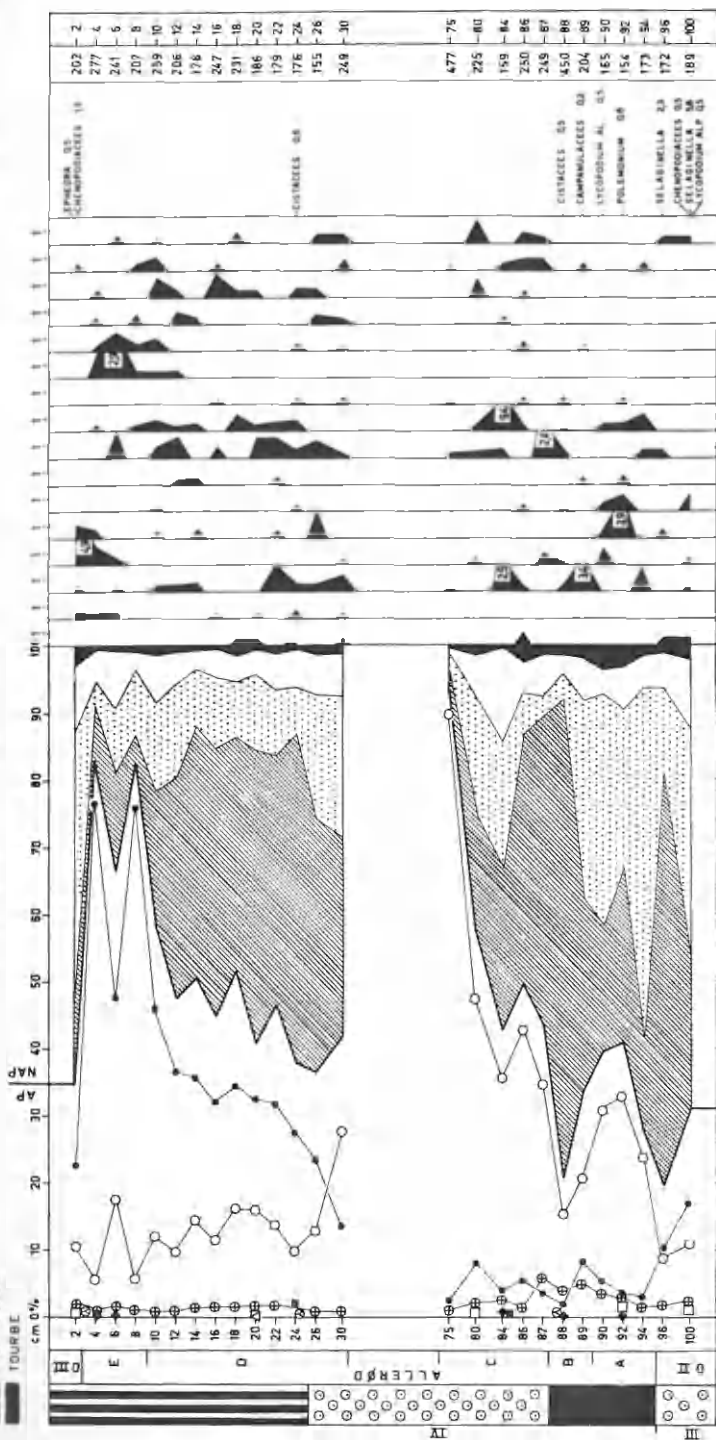


Fig. 5

1972

PROFIL II B PETITE NÈTHE

SABLE
ARG. LIM. HUM.
TOURBE



UNITES STRAT
PERIODE
PROFIL
PROFONDEUR
ALNUS
BETULA
SALIX
JUNIPERUS
GUERCUS
PINUS
CORYLUS
PICEA
ARTEMISIA
CYPERACEES
GRAMINEES
ERICALES
PLANTAGO
CARYOPHYLLACEES
CIRSIUM (type)
DRYOPTERIS
FILIPENDULA
OMBELLIFÈRES
RENONCULACEES
ROSACEES
DIPSACACEES
MYRPHYLUM
NUPHAR
LYPA LAT.
SPARGANIUM
PROFONDEUR
A. B. + N. A. P.

Analyses : AV MUNAUT

Fig. 7

117

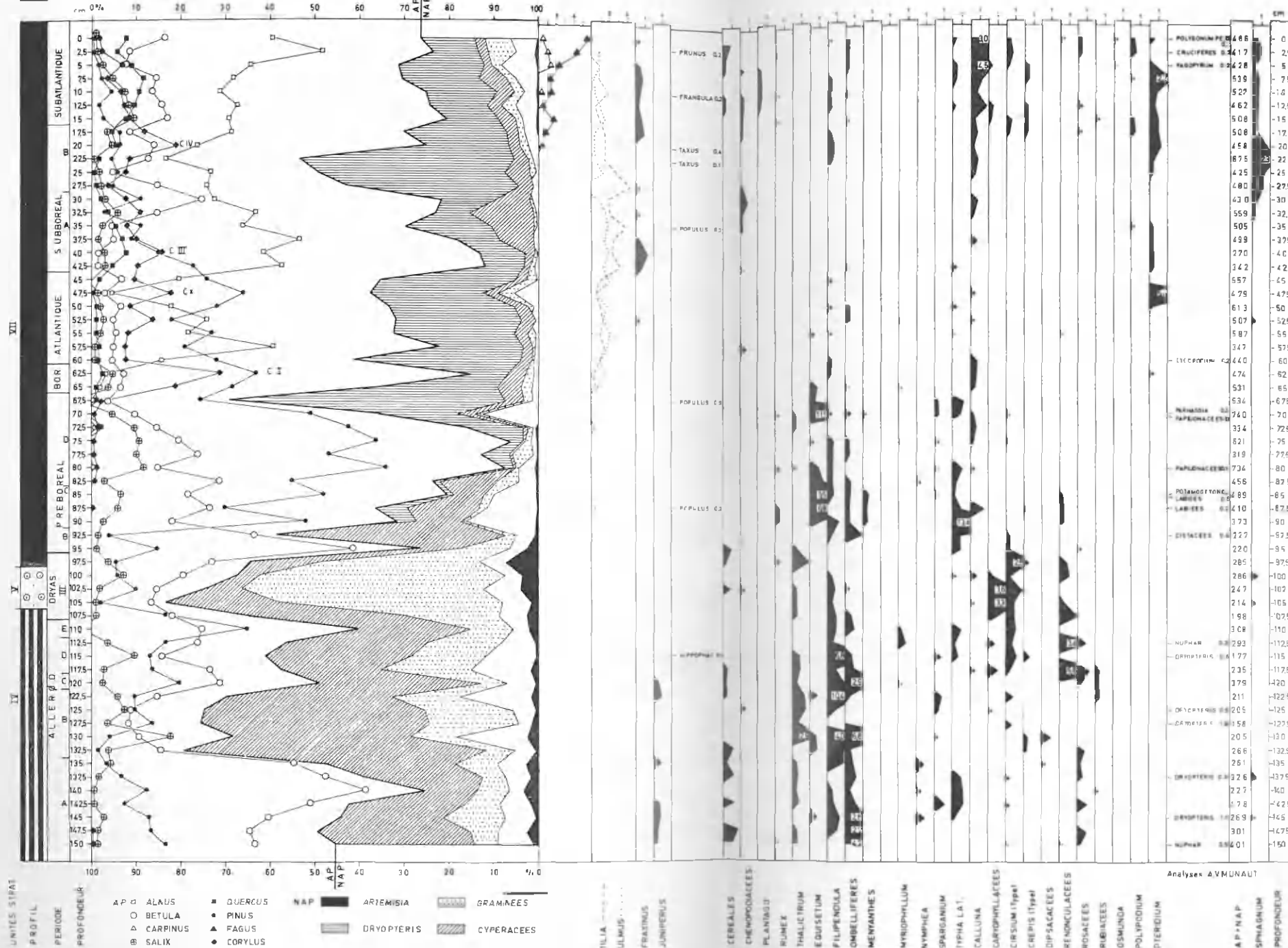


Fig. 8

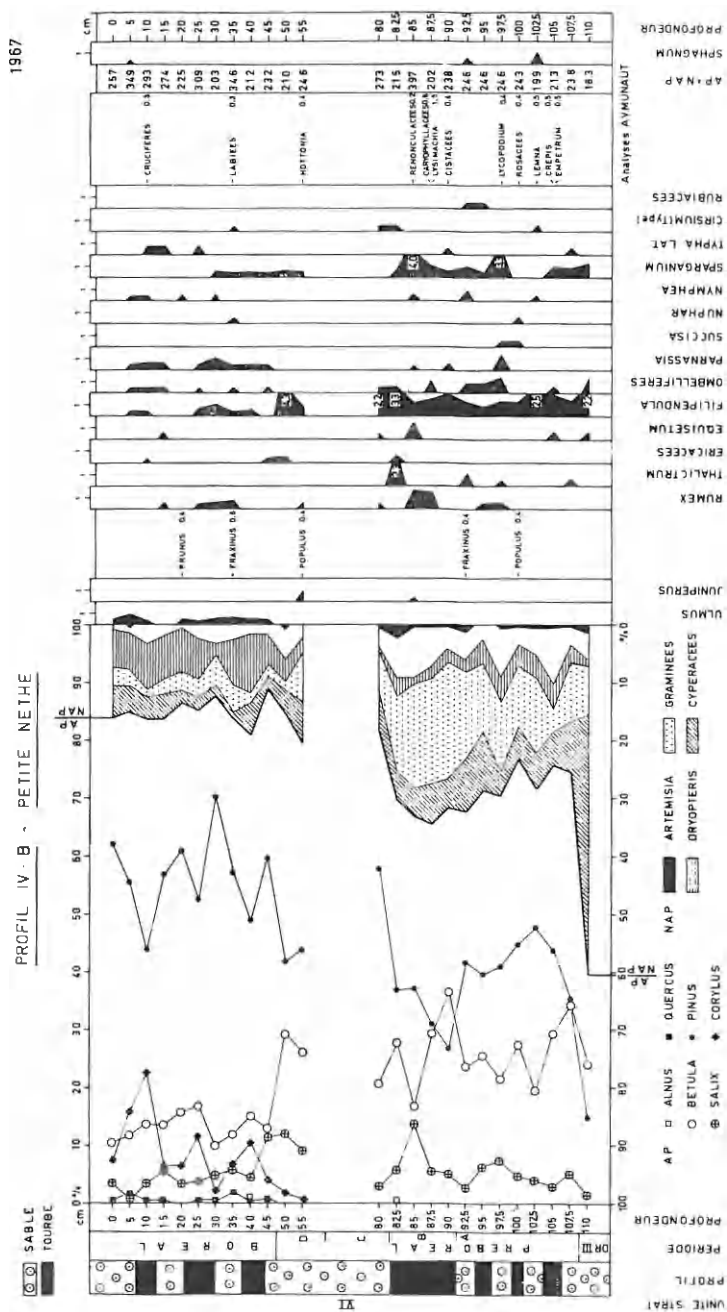


Fig. 10

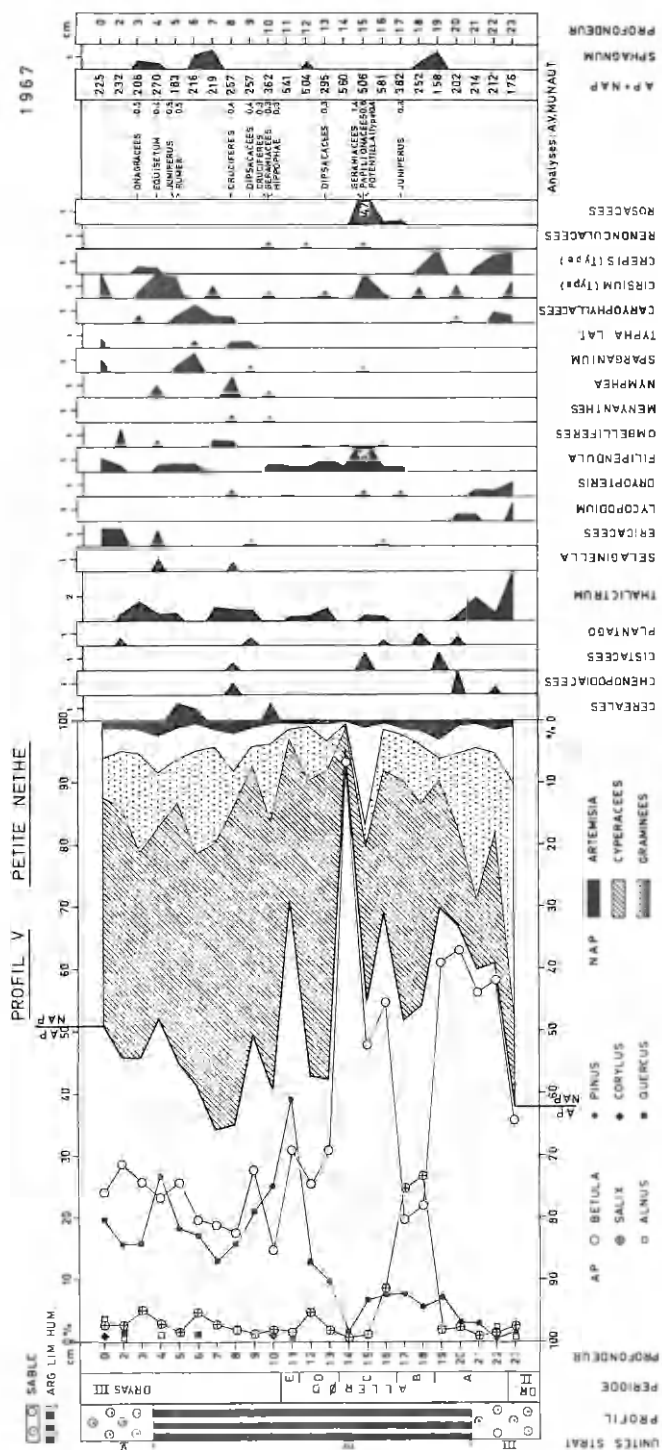
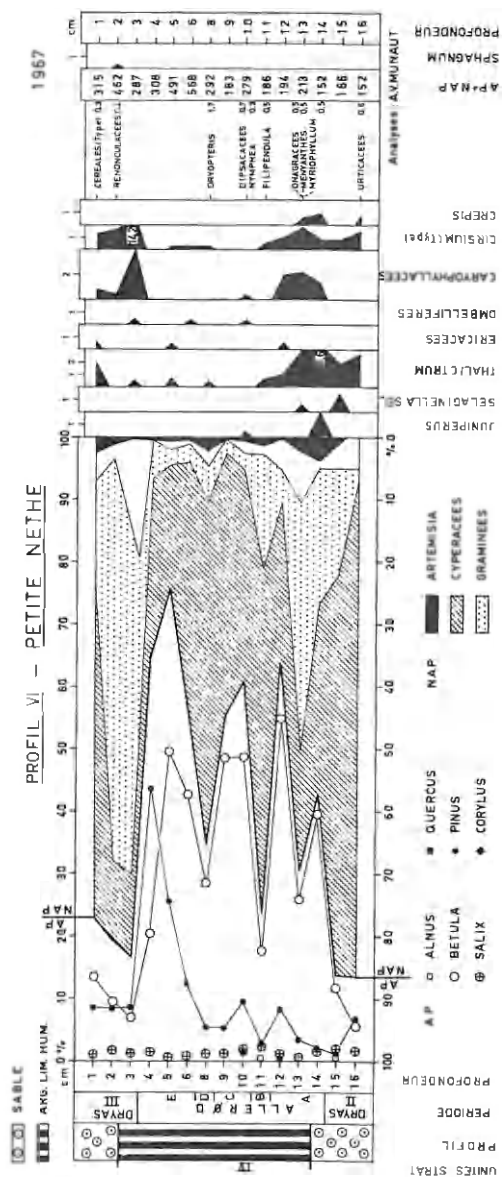


Fig. 11



Ensuite, vient le diagramme principal où figurent les types polliniques les plus importants. Dans ce diagramme, les pourcentages des grains de pollen appartenant à des espèces arborescentes croissent de gauche à droite à l'inverse des espèces herbacées dont l'importance est en outre représentée graphiquement par des surfaces cumulatives.

Dans les colonnes suivantes figurent les espèces moins abondantes dont les courbes sont dessinées suivant une échelle identique. Les grains de pollens isolés sont mentionnés individuellement. Le nombre total de pollen utilisé pour le calcul du pourcentage (AP et NAP) est repris dans une des dernières colonnes. Puis viennent les pourcentages de *Sphagnum* (échelle variable) et une répétition de l'échelle des profondeurs.

Nous avons déjà discuté (Munaut, 1967) l'intérêt de calculer des pourcentages en utilisant une somme de base incluant tous les types de spores et de pollen identifiés. Cette méthode se fonde sur des recherches concernant les rapports entre la végétation actuelle et les spectres polliniques récents (Heim, 1970). Elle permet de présenter de façon synthétique l'ensemble des modifications subies par la végétation environnant le point de prélèvement. Cette manière de procéder facilite l'interprétation des successions écologiques locales, sans empêcher l'établissement de critères chronologiques. Signalons enfin que nous avons inclu dans la somme de base les espèces aquatiques, non retenues en 1967.

2. La chronologie palynologique

Le tableau II présente les synchronisations proposées entre les épisodes mis en évidence dans chacun des diagrammes et la nomenclature chronologique adoptée.

TABLEAU II

Profils : cm	I cm	II A cm	II B cm	III cm	IV A cm	IV B cm	V cm	VI cm
<i>Période :</i>								
Subatlantique	—	—	—	0-15	—	—	—	—
Subboréal	—	—	—	17,5-42,5	—	—	—	—
Atlantique	0-2,5	—	—	45-60	—	—	—	—
Boréal	—	—	—	62,5-65	—	—	—	—
Préboréal	5-55	—	—	67,5-95	—	0-107,5	—	—
Dryas récent (III)	57,5-60	1-3	0-2	97,5-107,5	—	110	0-10	1-3
Allerød	—	4-12	4-94	110-150	0-50	—	11-22	4-14
Dryas ancien (II)	—	—	96-100	—	—	—	23	15-16

2.1. Le Tardiglaciaire

Des épisodes tardiglaciaires ont été décrits à plusieurs reprises dans le nord de la Belgique (Van Hoorne, 1954; De Ploey, 1963; Paulissen et Munaut, 1969) et dans les régions avoisinantes (notamment par Van der Hammen, 1953; Janssen, 1960; Mullenders et al. 1966 et 1972).

Ces travaux ont mis en évidence deux périodes tempérées : le Bølling (dominance de *Betula*) et l'Allerød (succession *Betula-Pinus*), encadrées par des phases froides (Dryas) à végétation herbeuse.

A Herentals, seuls le Dryas moyen (base des profils II B, V, VI), l'Allerød (profils II A, II B, III, IV A, V, VI) et le Dryas récent (profil III, sommet des profils II A, II B, V, VI, et la base des profils I et IV B) ont été observés. La datation précise et la synchronisation de la partie tardiglaciaire des diagrammes se sont parfois avérées délicates. En effet, à cette époque comme durant l'Holocène, la composition pollinique de spectres tardiglaciaires contemporains varie suivant l'environnement immédiat du point de prélèvement. Ces variations affectent non seulement les taxons à écologie très spécialisée (par exemple les espèces aquatiques) mais aussi les espèces dominantes de la couverture végétale (*Pinus*, *Betula*, Cypéracées, Graminées). La synchronisation des diagrammes ne pouvait se réaliser sans tenir compte de ce phénomène. Ce travail a parfois été facilité par des observations stratigraphiques concernant la continuité des couches analysées (couche correspondant à l'unité IV dans les profils II B, III et IV A notamment).

Le prélèvement d'échantillons très rapprochés (1 cm dans certains profils) a permis une subdivision précise de l'Allerød en cinq phases successives :

- phase A — première avancée de *Betula* aux dépens des Cypéracées. Les Graminées sont relativement abondantes.
- phase B — recul de *Betula* au profit des Cypéracées et de *Salix* qui atteint généralement ses pourcentages les plus élevés.
- phase C — deuxième avance de *Betula*.
- phase D — deuxième recul de *Betula* au profit des Cypéracées et des Graminées, tandis que *Pinus* entame son extension.
- phase E — dominance nette mais brève de *Pinus*.

Ces phases s'observent dans chacun des profils, quoique les pourcentages et même les proportions entre espèces puissent varier d'un diagramme à l'autre. Ainsi, on remarque le rôle effacé joué par *Betula* dans le profil IV A où *Pinus* l'emporte dès la phase C, tandis que les herbacées abondent constamment. Cette importance des herbacées s'observe aussi dans le diagramme III.

Dans le diagramme IV, le recul de *Betula* durant la phase B correspond à une extension particulièrement marquée de *Salix*.

Nous reviendrons ultérieurement sur la signification écologique de ces différences.

Les principales caractéristiques reconnues aux Dryas et aux cinq phases de l'Allerød sont mises en évidence dans les graphiques des Figures 13, 14, 15. Nous y avons représenté les pourcentages moyens atteints par les espèces les plus abondantes, après sommation des pollens comptés dans chacun des profils au cours d'un même épisode.

Ces graphiques fournissent également des arguments pour résoudre un problème chronologique commun à l'ensemble de nos diagrammes, mais posé d'une manière particulièrement nette par le profil III.

Au vu de ce dernier, on peut se demander si la phase A de l'Allerød ne doit pas être considérée comme le Bølling, tandis que la phase B correspondrait alors au Dryas moyen.

% T MOYENS PAR PHASE

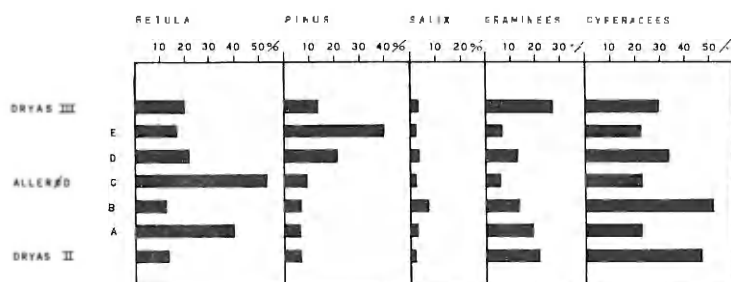


Fig. 13

On peut cependant constater que les espèces dont la fréquence est la plus élevée durant les Dryas ne montrent jamais une extension marquée durant la phase B (Graminées [Fig. 13]; *Thalictrum*, *Artemisia*, *Cirsium* [Fig. 14]; Chenopodiacees, Ericales, *Sellaginella*, *Lycopodium* [Fig. 15]). Seul *Filipendula* (Fig. 14) qui par ailleurs possède certaines exigences thermiques (moyenne de juillet égale à 10° C d'après Iversen, 1954) atteint ses valeurs les plus élevées durant cet épisode.

De plus, des analyses granulométriques détaillées ont été effectuées sur les sédiments du profil analysé (Fig. 4). À l'exception de la couche formée durant le Dryas récent qui est nettement plus sableuse, les échantillons sont peu différents et appartiennent à un ensemble lithologique (argiles limoneuses, humifères) déposé au cours d'une période homogène d'inondation.

% MOYENS PAR PHASE

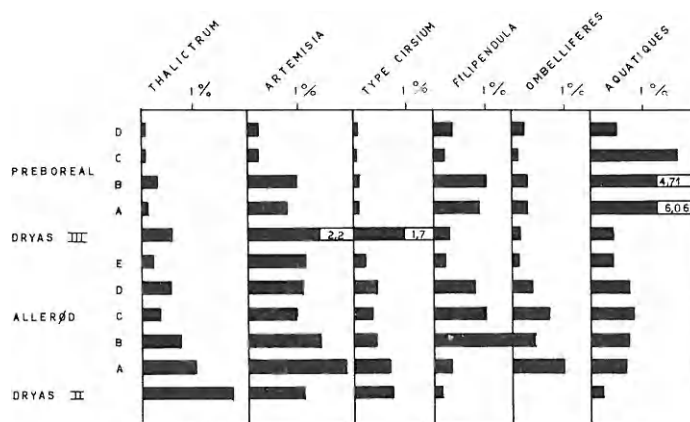


Fig. 14

De ces observations palynologiques et granulométriques réalisées dans le profil III on ne peut pas conclure à un refroidissement sévère durant la phase B.

% MOYENS PAR PHASE

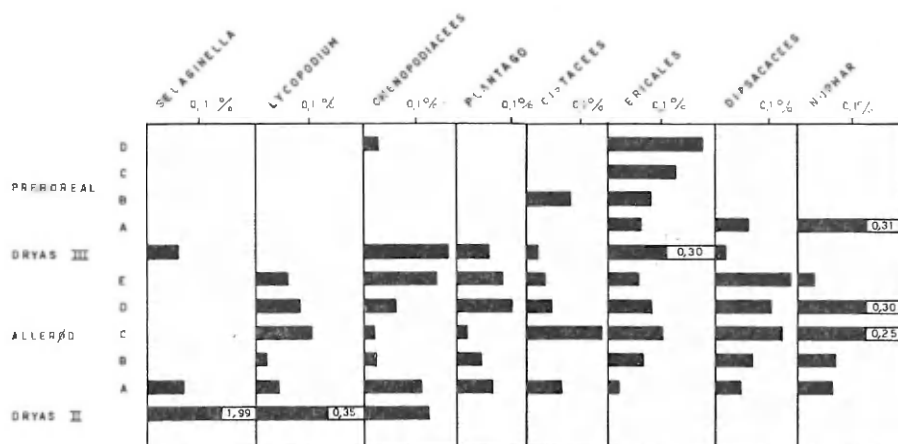


Fig. 15

2. 2. Préboréal

Le préboréal est caractérisé par le retour définitif de la forêt précédant l'invasion massive des espèces arborescentes thermophiles.

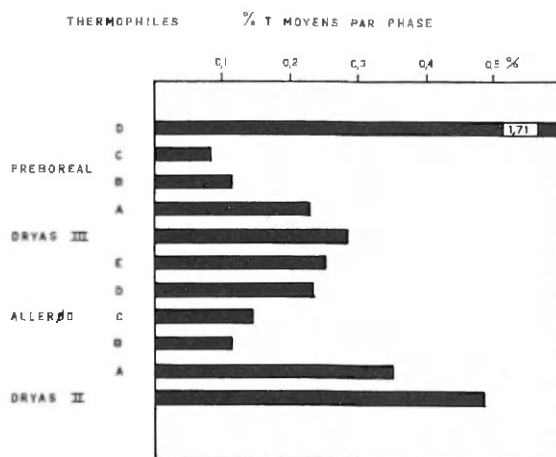


Fig. 16

Cette période est représentée dans les profils I, III, IV B. Dans les diagrammes I et IV B on note tout d'abord une avance de *Pinus* suivie d'un retrait temporaire de cette espèce au profit de *Betula*. Ce phénomène pourrait résulter d'un refroidissement climatique modéré décrit par Zoller (1960) dans les Alpes sous le nom de Piottino et daté entre 8100 BC et 7700 BC. Ce refroidissement a depuis été mis en évidence

dans d'autres régions : Frise (Behre, 1966), Belgique (Mullenders et al. 1966 et 1972; Heim-Thomas, 1969) et peut-être aux Pays-Bas par Vander Hammen (1971) qui observe au début du Préboréal une phase plus froide qu'il dénomme Ramelbeek sans la synchroniser formellement avec le Piottino.

Dans le profil III la phase initiale à pin ne se marque pas. Un hiatus entre le sable déposé au Dryas et la tourbe préboréale peut en être la cause.

Après le Piottino, nous distinguons encore deux phases dans le Préboréal. L'une voit le retour de *Pinus* comme espèce arborescente principale. Durant la dernière, *Corylus* fait une apparition discrète mais constante, en compagnie d'*Ulmus* et de *Quercus*.

Deux datations ^{14}C ont été réalisées par E. Gilot (1971) sur du matériel provenant respectivement de la base et du sommet du profil IV B. Ces datations sont les suivantes :

Lv 459	7.990 BC \pm 120	niveau 50 à 55 cm
Lv 460	7.140 BC \pm 160	niveau 10 à 17,5 cm.

Ces dates sont proches des valeurs attendues pour des couches respectivement postérieures à la transition Dryas-Préboréal (8.300 BC) et antérieures à la transition Préboréal-Boréal (6.500 B.C.).

Cette dernière limite a déjà été datée à Obourg (près de Mons, alt. 35 m) de 7.100 BC \pm 240 (Lv 204, Gilot et al., 1969) ce qui correspond précisément à la date obtenue à Herentals.

2.3. Boréal

Le Boréal, marqué par l'extension de *Corylus*, l'apparition d'*Ulmus* et de *Quercus* en courbe continue, s'observe au sommet du profil IV B et dans le profil III.

On y remarque respectivement à 10 cm (profil IV B) et à 62,5 cm (profil III) un premier maximum de *Corylus* (C I) qui reste subordonné à *Pinus*. Le même phénomène a été observé par Mullenders et Coremans (1961) à Geel dans la vallée de la Grande Nèthe.

2.4. Atlantique

L'Atlantique comme les périodes ultérieures s'observe exclusivement dans le profil III (de 60 à 45 cm). Cette période est caractérisée par l'extension massive d'*Alnus* et celle très discrète de *Tilia*. On remarque qu'*Alnus* reste souvent subordonné à *Pinus*; *Tilia* (moyenne 0,9 %) est moins abondant qu'*Ulmus* (moyenne 1,3 %).

2.5. Subboréal

En Basse et Moyenne Belgique, la période s'étendant de la fin de l'Atlantique au début du Subatlantique, s'accorde mal du schéma généralement adopté en Europe occidentale et fixant à 3.000 BC une limite Atlantique/Subboréal mise en évidence par la chute d'*Ulmus*.

Nous avons préféré adopter (Munaut, 1967) une limite voisine de 2.500 BC précédant une phase durant laquelle *Ulmus* montre une certaine extension et *Corylus* atteint son quatrième maximum (C III).

Ces deux phases s'observent dans le profil III de la Petite Nèthe.

— de 42,5 à 30 cm :

Ulmus atteint en moyenne 1,4 %, *Fraxinus* apparaît et on observe le maximum de *Corylus*, le C III. Les pourcentages de *Tilia* sont plus élevés qu'à l'Atlantique (moyenne 2,6 %). Cette phase s'achève avec une chute bien marquée d'*Ulmus* datée à plusieurs reprises par le ^{14}C aux environs de 1.800 B.C. (Gilot et al., 1969).

— de 27,5 à 17,5 cm :

Le recul d'*Ulmus* est sensible (moyenne 0,4 %) durant cette phase où se marque le dernier maximum de *Corylus* (C IV vers 1.300 BC). *Fagus* fait son apparition en courbe continue, tandis que *Tilia* recule de façon à peine perceptible (moyenne 2,3 %).

2. 6. Subatlantique

La limite Subboréal est placée lors de la première extension de *Fagus*. Celui-ci atteint en surface 5,4 % et à ce niveau, *Tilia* disparaît. Ce comportement de *Tilia* est fréquent en Basse et Moyenne Belgique à partir du F.I (premier maximum de *Fagus*) daté par le ^{14}C vers 400 BC dans la région d'Anvers; le F.I est plus tardif en Haute Ardenne (entre 310 BC et 330 AD [Gilot et al., 1969]).

On peut donc admettre que la tourbe a cessé de s'accumuler dans le profil III vers le début de notre ère.

Durant cette première partie du Subatlantique, on note également l'apparition de *Carpinus* et par rapport à la deuxième phase du Subboréal une extension minime d'*Ulmus* (moyenne 0,6 %) et de *Fraxinus* (moyenne 0,4 %) et la disparition presque totale de *Pinus*.

3. Les datations stratigraphiques

A l'aide de ces analyses palynologiques et de datations ^{14}C il devenait possible de dater avec précision diverses unités de la coupe représentée à la Fig. 2.

Unité IV — Allerød

Unité VI — dès le Préboréal

Unité VII — Préboréal à Subatlantique

Unité XI — Préboréal

CHAPITRE IV

ÉVOLUTION DE LA VALLÉE

Les périodes chrono-stratigraphiques mises en évidence par la palynologie ont permis de dater l'évolution de la Petite Nèthe. Les résultats obtenus par l'étude complète d'un profil transversal dans cette vallée permettent de préciser et de nuancer les observations faites précédemment dans des vallées dont la superficie est comparable à celle de la Petite Nèthe.

Dans la vallée de la Dyle Moyenne, la couche de tourbe décrite, s'est formée depuis le Tardiglaciaire jusqu'au début de l'Atlantique (Mullenders et Gullentops,

1956). Dans la vallée de la Nèthen, affluent de la Dyle, la tourbe s'est accumulée dès l'Allerød (Mullenders, Gullentops, Lorent, Coremans et Gilot, 1966).

Par contre, De Ploey (1961) constate, dans les vallées principales de la Campine septentrionale, une absence presque totale des couches pré-holocènes. Une tourbe continue ne commence à s'édifier qu'au début de l'Holocène. Cette édification sera interrompue par un alluvionnement durant l'Atlantique. Dans la vallée de la Grande Nèthe, Mullenders et Coremans (1961) ont également étudié une tourbe qui débutait au Préboréal.

Tous ces auteurs se basent sur des données de sondages. Vermeersch (1972), en étudiant des profils, distingue dans l'évolution post-Würmienne de la vallée de la Winge, affluent de la Dyle, au site Holsbeek-Marrant, une érosion pré-Allerød, une formation de tourbe durant l'Allerød et le début du Dryas récent, un alluvionnement durant la deuxième partie du Dryas récent et le Préboréal et une réinstallation de tourbières dès le Boréal.

L'évolution de la Petite Nèthe sera décrite en fonction des différentes périodes chrono-stratigraphiques.

1. Période Pré-Allerød

Les dépôts Pré-Allerød sont très peu abondants dans la vallée de la Petite Nèthe. Ce fait est d'autant plus remarquable que les quelques couches observées sont les seuls témoins d'une évolution fluviale quaternaire. En effet, en suivant la tranchée du pipe-line depuis la vallée de la Petite Nèthe jusqu'à celle du Wimpbeek à 6 km au sud, aucun dépôt fluvial important n'a été retrouvé.

Les dépôts dans la vallée semblent correspondre à une seule phase d'érosion correspondant au creusement de la vallée. Les dépôts fluviaux les plus épais, visibles sous la dune (Unité VIII) sont nettement « graded » (voir tableau I, 613 ... 616). Les pollens tardiglaciaires présents dans le sommet de cette couche peuvent être rattachés au Dryas moyen.

2. Période Allerød

Tous les dépôts antérieurs à l'Allerød sont complètement recouverts par une couche formant l'unité V et datée de l'Allerød. Durant cette période une tourbière basse s'étendait à travers toute la vallée tandis que des dépôts argilo-limoneux se déposaient dans les zones les plus déprimées.

Tout au long de l'Allerød, les caractéristiques granulométriques des alluvions restent identiques (Fig. 4) sauf à la fin de la phase E où le recul palynologique de *Pinus* correspond à une augmentation nette de la fraction sableuse (Fig. 4, 635).

Ces observations granulométriques constituent un argument de plus en faveur de l'interprétation climatique donnée à la phase B de l'Allerød. En effet, s'il s'agissait d'un refroidissement climatique, on pourrait s'attendre à une augmentation de la proportion de sable dans les sédiments correspondants. Ce phénomène qui se marque très clairement dans les couches antérieures à l'Allerød et dans celles formées durant le Dryas récent serait le résultat d'une érosion accélérée du bassin, à la suite d'une diminution de la couverture forestière des sols.

Par contre, il ne peut y avoir d'apport de sable si l'extension des Cypéracées est un phénomène local dû à une augmentation de l'humidité et à un engorgement des sols. L'augmentation du pourcentage des matières organiques à la transition de la phase A à la phase B est apparemment liée à la même cause.

Constatons enfin que le seul endroit où on pourrait localiser le lit de la rivière au cours de l'Allerød correspond au lit abandonné (unité VI). Le sable séparant les deux couches tourbeuses à l'emplacement du profil palynologique II B (Fig. 2) date du milieu de l'Allerød (fin de la phase C, début de la phase D).

L'unité V, bien caractérisée du point de vue de la litho-, de la bio- et de la chrono-stratigraphie, sera appelée *le membre de Vuilvoort* d'après le hameau le plus proche du profil.

3. Période du *Dryas récent*

Le *Dryas récent* qui est la période la plus importante dans l'établissement définitif de la vallée, se caractérise par un remblaiement fluvatile très important.

3. 1. *Évolution fluvatile*

Dans la partie méridionale de la coupe, les sédiments du *Dryas récent* sont enserrés entre le membre de Vuilvoort (Allerød) à la base, et une tourbe datant du début du Préboréal au sommet (base des unités VI et VII).

Les sédiments situés sous la tourbe dans la partie septentrionale de la vallée (unité X) datent aussi du *Dryas récent* : ils sont antérieurs au Préboréal (unité XI) et postérieurs à l'Allerød. En effet, la rivière, qui a déposé cette unité, a érodé le membre de Vuilvoort.

Les observations morphologiques permettent de reconstituer la succession des phénomènes. Durant la première période du *Dryas récent*, le chenal correspondant à l'unité VI était encore actif. Des levées naturelles, hautes de deux mètres environ, se sont édifiées le long de ce chenal. La partie méridionale de la vallée qui a été remblayée se trouve à un niveau nettement plus élevé que la partie septentrionale. Pendant une période d'inondation au cours du *Dryas récent*, la Petite Nèthe s'est déplacée vers le Nord. Après une phase initiale d'érosion latérale durant laquelle le rebord septentrional de l'élévation allongée et le membre de Vuilvoort furent érodés (Photos 1 et 4), la rivière s'est à nouveau fixée et a recommencé à déposer des levées naturelles.

Notons que les structures apparentes dans les levées naturelles sont extrêmement bien conservées (voir chapitre I), ce qui indique une accumulation très rapide dans un milieu couvert d'une végétation peu dense (Photo 2).

On trouve rarement, dans la littérature, une description détaillée des structures observées dans les levées naturelles (Allen, 1963, et Coleman, 1959. dans le Brahmapoutre). Remarquons de plus que dans les levées naturelles actuelles les sédiments sont souvent homogénéisés par bioturbation.

Un autre fait important est à signaler : durant le *Dryas récent* la Petite Nèthe est déjà *une rivière à lit simple*. Rappelons que la Meuse était anastomosée durant le Tardiglaciaire (Paulissen, 1973).

Étant donné l'importance des accumulations fluvatiles déposées durant le *Dryas récent*, l'homogénéité de la lithologie et des structures observées, et le fait que des limites litho- et chrono-stratigraphiques précises ont pu être définies, nous appellerons cette unité *le membre d'Addernasten* (nom du lieu-dit).

3. 2. *Accumulation dunaire*

C'est aussi durant le Dryas récent que la dune (unité VIII) s'est formée. Les structures visibles dans cette dune indiquent l'influence prépondérante de vents dont l'origine devait avoir une composante méridionale. Il s'agit typiquement d'une dune fluviale (Peeters, 1943), puisqu'elle est en relation directe avec une vallée. L'accumulation éolienne s'est produite pendant l'édification du membre d'Addernesten. La zone de déflation éolienne correspond à la dépression (unité VII) située au sud de la dune. En effet, toute concentration d'éléments grossiers, témoignant d'une action fluviale, manque sur le fond de cette dépression.

L'arrêt de l'érosion peut également s'expliquer si on accepte l'hypothèse d'un creusement par voie éolienne au sommet des dépôts résistants du membre de Vuilvoort.

Cette dune fluviale est une dune d'obstacle qui s'est déposée sur la face exposée au vent d'un obstacle situé au milieu de la vallée. Notre étude confirme l'âge Tardiglaciaire généralement admis pour les dunes fluviales (Tavernier, 1954; Gullentops, 1957), mais précise qu'à cet endroit la dune complète s'est accumulée durant le Dryas récent, ce qui confirme l'hypothèse de Gullentops (1957) suivant laquelle les dunes fluviales sont stabilisées au début du Préboréal. Notons cependant qu'il n'y a encore aucune indication permettant de généraliser cette conclusion pour les dunes continentales (De Ploey, 1961; Paulissen et Munaut, 1969).

4. *L'Holocène*

La grande accumulation du Dryas récent a provoqué une diversification morphologique dans la vallée (Fig. 2).

La dune et les levées naturelles longeant le lit abandonné sont devenues des endroits plus élevés, indépendants de l'évolution fluviale de la vallée.

La plaine alluviale n'occupe plus que la partie septentrionale de la vallée. Deux dépressions, dont les caractéristiques sont différentes, existent encore dans la partie méridionale : le lit abandonné (unité VI) et la zone de déflation (unité VII).

4. 1. *Le Préboréal*

Le Préboréal est une période de stabilité parfaite. Une tourbe s'est développée dans les parties les plus basses de la vallée : la plaine alluviale, la zone de déflation et le lit abandonné. La réinstallation de la forêt au début de cette période a provoqué la fin de l'érosion fluviale et de la déflation éolienne. Les accumulations importantes, tant fluviales qu'éoliennes, du Dryas récent sont arrêtées.

Remarquons que le début de la formation de tourbe n'est pas tout à fait simultanée dans les différentes unités morphologiques. La tourbe commence à s'accumuler dès le début du Préboréal dans la plaine alluviale et dans le lit abandonné, un peu plus tard dans la zone de déflation.

Dans la plaine alluviale une tourbe extrêmement pure s'est formée. Aucune accumulation détritique ne s'est donc effectuée à cet endroit durant le Préboréal. C'est uniquement dans les environs immédiats de la rivière qu'une couche peu épaisse d'argile de décantation s'est déposée.

La Petite Nèthe coulait déjà à son emplacement actuel. Le lit abandonné est occupé sporadiquement par des eaux de la rivière et une couche de sable grossier s'y est déposée dans la seconde moitié du Préboréal.

5. *Durant les périodes postérieures au Préboréal*, l'évolution est différente dans les trois unités morphologiques.

5. 1. Dans la dépression provenant de la déflation, la tourbe s'accumule d'une façon continue jusqu'au Subatlantique.

5. 2. Dans le chenal abandonné, la formation de tourbe est épisodiquement arrêtée par des dépôts de sable fluviatile grossier.

5. 3. Dans la plaine alluviale proprement dite, l'action des 9.000 dernières années se résume à une accumulation de sable fluviatile épaisse de 1 m sur une largeur de 150 m.

A l'endroit du profil palynologique I, la base des dépôts sableux montrait un spectre Atlantique et il n'est pas possible de préciser davantage l'évolution postérieure au Préboréal. Le présence des chenaux dans ces dépôts témoigne d'inondations importantes de la Petite Nèthe. Ces inondations n'ont cependant pas influencé la position du lit de la rivière qui n'a pas changé depuis la deuxième période du Dryas récent.

CHAPITRE V

CONSIDÉRATIONS ÉCOLOGIQUES

1. *Le Tardiglaciaire*

1. 1. *La diversification de la végétation au Tardiglaciaire*

L'étude des relations existant entre la végétation actuelle et les spectres polliniques récents (HEIM, 1970) montre clairement l'influence exercée par la couverture végétale locale sur la composition des spectres correspondants.

Cette influence du milieu explique les difficultés rencontrées pour synchroniser des profils rapprochés lorsque la couverture végétale est fortement diversifiée et qu'un gradient écologique marqué existe entre les points de prélèvement.

Ces problèmes ayant été discutés précédemment (MUNAUT, 1967) pour des diagrammes holocènes, la traversée de la Petite Nèthe nous donnait l'occasion d'étendre nos observations au Tardiglaciaire.

En effet, l'alignement des profils le long d'un transect perpendiculaire à l'axe d'une vallée dont le relief transversal avait pu être reconstitué nous a incité à vérifier si les différences palynologiques observées entre les profils pouvaient être interprétées en tenant compte des conditions locales qui prévalaient au point de prélèvement.

Pour réaliser ce travail, nous nous sommes inspiré de la méthode des transects de surface utilisée pour étudier les spectres polliniques récents : représentation des points de prélèvement en abscisses et des pourcentages polliniques correspondants en ordonnées (Fig. 17). Comme il était impossible d'isoler des spectres absolument synchrones, nous avons porté nos comparaisons sur des spectres moyens obtenus en sommant, dans chacun des diagrammes, tous les pollens dénombrés au cours d'un même épisode.

Nous avons conscience des limites de ce procédé, tributaire d'un découpage chronologique. Les informations paléoécologiques qui apparaissent dans le graphique

nous incitent néanmoins à présenter ce premier essai de reconstitution d'un transect palynologique tardiglaciaire.

1. 1. 1. *Dryas moyen*

Remarque : nous avons attribué au *Dryas* moyen tous les spectres froids précédant l'Allerød.

Durant cette période, la vallée est déboisée, la somme des espèces arborescentes n'atteint pas 50 %. Quelques bouleaux peut-être plus abondants sur les sols mieux drainés (profil V) parsèment une végétation herbeuse à Cypéracées et Graminées abondantes.

1. 1. 2. *Allerød — Phase A.*

Une forêt claire de bouleaux s'installe. Au centre de la vallée (IV A) une végétation herbeuse (bas marais) subsiste.

1. 1. 3. *Allerød — Phase B.*

Les bouleaux disparaissent de la vallée où s'étendent des fourrés de *Salix*. Ceux-ci sont particulièrement denses au point V sur la digue naturelle bordant la dépression de la vallée.

D'après HEIM (1970) lorsque *Salix* représente près de la moitié du recouvrement végétal (47,6 %) ses pourcentages polliniques atteignent en moyenne 16,6 %. Des valeurs polliniques de 2,7 % correspondent déjà à un recouvrement moyen de près de 15 % de la surface. Ces valeurs actuelles permettent d'interpréter les pourcentages obtenus à la Petite Nèthe et qui varient en moyenne entre 2,4 % (point IV A) et 21,8 % (point V).

Il semble que cette phase représente avant tout une modification du régime hydrique des sols de la vallée. On aurait successivement : un relèvement de la nappe phréatique, l'asphyxie des bouleaux et l'extension des peuplements de *Carex*, puis la recolonisation par des fourrés de *Salix*.

Le retour de *Betula* dans la phase suivante constituerait le terme de cette nouvelle évolution progressive.

La cause du relèvement phréatique est plus délicate à déterminer : phénomène accidentel et local ou résultat d'une modification climatique ? Un phénomène climatique peut être envisagé. En effet, dans des zones mal drainées, une légère augmentation de la pluviosité peut suffire à provoquer un engorgement total des sols. Cet effet ne se manifeste pas nécessairement dans une zone mieux ou mal drainée.

1. 1. 4. *Allerød — Phase C.*

La forêt de bouleaux se réinstalle manifestement en bordure de la vallée. Elle est absente dans les zones plus humides (III et IV A) où subsiste une cariçaie.

Le relèvement de la courbe de *Pinus* au centre de la vallée (III et IV A) peut s'expliquer par un apport pollinique relativement lointain et n'implique pas nécessairement une installation du pin aux points même où il est plus abondant. Une sur-représentation de *Pinus* dans les espaces déboisés est un phénomène fréquemment observé dans les spectres récents (HEIM, 1970).

1. 1. 5. *Allerød* — *Phase D*.

Cette phase correspond à un recul de *Betula* sur les sols secs. On remarque que les spectres restent pratiquement inchangés au centre de la vallée (III et IV A).

La faible avance de *Pinus* peut résulter du jeu des fréquences relatives ou éventuellement témoigner d'une extension régionale modérée précédant l'installation de véritables pineraies durant la phase suivante.

La phase D présente beaucoup d'analogies avec la phase B (*Salix* est également légèrement plus abondant) et peut être interprétée de la même manière.

1. 1. 6. *Allerød* — *Phase E*.

Le pin l'emporte sur le bouleau. Dans la vallée proprement dite, les herbacées restent abondantes. Les profils II A et II B (avec des pourcentages moyens de pin atteignant 58,1 et 66,6 %) montrent la présence de véritables pineraies sur la rive nord de la vallée.

Les valeurs notées pour *Pinus* dans les autres profils indiquent certainement la présence d'une strate arborescente plus claire dans la partie basse de la vallée.

1. 1. 7. *Allerød* — *Dryas récent*

Les forêts de pins disparaissent, la vallée et les sols avoisinants reprennent une couverture herbacée piquetée de quelques bouleaux.

1. 1. 8.

Dans ces transects successifs, on constate d'une part la localisation préférentielle des formations les plus densément boisées sur les bords ou sur les levées plus sèches de la vallée et d'autre part, l'importance permanente des Graminées au point IV A situé le plus bas dans la vallée.

Sans préjuger de la durée réelle des cinq phases Allerød, durée qu'il faudrait préciser par des datations ¹⁴C, on peut observer que cinq types de végétation se succèdent au cours de 1000 ans environ. Chaque phase observée pourrait s'étendre en moyenne sur 200 ans.

En ce qui concerne la phase à *Pinus*, rappelons qu'à Terneuzen, durant l'Holocène l'installation, le développement et la disparition d'une génération de pins s'est effectuée sur un peu moins de trois siècles (MUNAUT, 1967). Il se pourrait donc que dans nos régions, la phase à pin qui termine l'Allerød corresponde à une seule génération d'arbres.

Ces transects successifs ayant mis l'accent sur les espèces les plus abondantes du paysage végétal, il nous a paru intéressant de vérifier le comportement d'autres taxons représentés en plus faible quantité. Leur rareté relative ne nous permettait pas de calculer des pourcentages significatifs pour toutes les phases reconnues. Nous avons repris, dans le graphique (Fig. 18) les pourcentages moyens atteints par quelques espèces durant l'entièreté de l'Allerød.

On peut y constater que le groupe des plantes aquatiques ou communes dans les pièces d'eau en voie d'atterrissement (*Equisetum*, *Myriophyllum*, *Nymphaea*,

Nuphar, *Sparganium*, *Typha*) ne sont bien représentées qu'au centre de la vallée (profils II B, III et IV A). A ces endroits devaient donc subsister les surfaces d'eau libre nécessaires au maintien de ces pièces.

Filipendula ulmaria, caractéristique des prairies humides à hautes herbes est également plus abondante dans les parties basses de la vallée et spécialement au point III. On remarque de plus le parallélisme des courbes de *Filipendula* et des Ombellifères. L'écologie de ces dernières doit être semblable à celle de *Filipendula*. A l'heure actuelle, de nombreuses Ombellifères se retrouvent d'ailleurs dans les prairies humides ou au bord des eaux.

Le comportement d'*Artemisia*, de *Thalictrum*, et des Composées du type *Cirsium* est au contraire différent car leur pourcentages ne varient guère d'un profil à l'autre. Dans les transects de surface (HEIM, 1970), ce phénomène s'observe pour les espèces dont le recouvrement est identique dans tous les milieux traversés, ou pour les espèces absentes de ces milieux, mais dont le pollen est produit en abondance dans les milieux voisins (par exemple, pollen des plantes cultivées au sein d'un massif boisé).

Cette observation est particulièrement intéressante en ce qui concerne *Thalictrum*. En l'absence de critères palynologiques nous ne pouvons distinguer *Thalictrum alpinum*, espèce arctique-alpine à exigence édaphique peu spécialisée, de *Thalictrum minus*, calcicole, et de *Thalictrum flavum*, hygrophile, tous deux moins spécifiques d'un climat déterminé. L'indépendance des pourcentages de *Thalictrum* vis-à-vis du milieu nous incite à attribuer les pollens observés à l'espèce alpinum. Nous ne pouvons cependant pas rejeter totalement *Thalictrum minus* qui pourrait être favorisé à cette époque par la présence de sols plus ou moins calcaires.

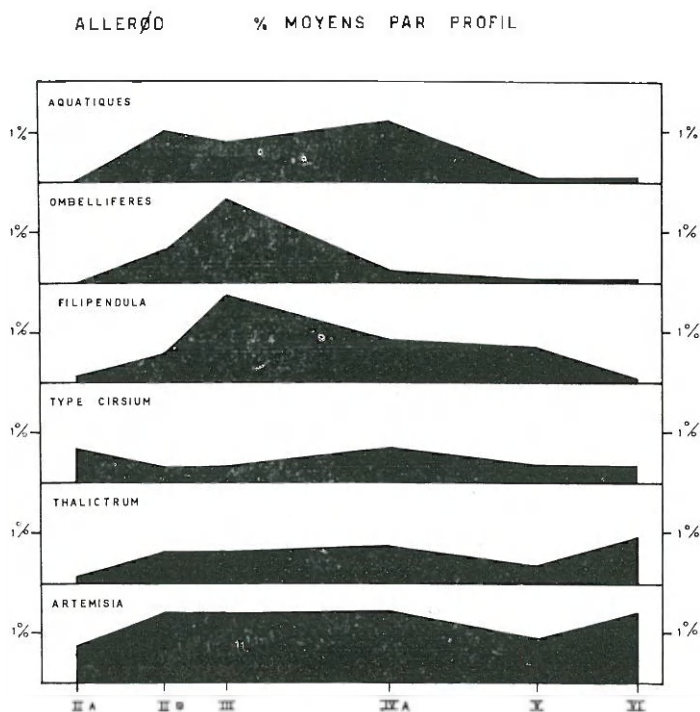


Fig. 18

1. 2. Quelques indicateurs écologiques

Parmi les espèces jouant un rôle secondaire dans la physionomie de la couverture végétale, il en est certaines dont les exigences écologiques permettent de mieux définir le milieu tardiglaciaire.

D'une façon générale, les espèces caractéristiques du Tardiglaciaire sont des héliophytes. Si certaines d'entre elles croissent encore dans la région étudiée, d'autres au contraire ont complètement disparu de la flore locale.

1. 2. 1. Taxons actuellement absents dans le district phytogéographique campinien.

Ce groupe comprend les Cistacées, *Ephedra distachya*, *Hippophae rhamnoides*, *Lycopodium alpinum*, *Polemonium* cfr *caeruleum*, *Thalictrum alpinum* et *minus*, *Selaginella selaginoides*.

Ephedra distachya et *Hippophae rhamnoides* sont des espèces à exigences affines. Toutes deux ont une aire de répartition centrée sur la région Ouest-Asiatique avec des îlots isolés dans les régions méditerranéennes et euro-sibériennes (WALTER et STRAKA, 1970). Elles supportent une sécheresse climatique et édaphique mais craignent un enneigement prolongé (IVERSEN, 1954).

En l'absence de détermination spécifique, l'écologie des Cistacées est plus difficile à préciser. Au Danemark, IVERSEN (1954) attribue les grains de Cistacées trouvés au Tardiglaciaire à *Helianthemum oelandicum*, tandis qu'en Angleterre, GODWIN (1956) les rapproche d'*Helianthemum canum*.

Ces deux espèces sont héliophiles, calcicoles et s'observent sur des substrats fortement drainés. Elles sont en outre continentales et subméditerranéennes (WALTER et STRAKA, 1970). La thermophilie relative des Cistacées d'Herentals se marque dans la Figure 15. Absent au Dryas moyen, ce taxon s'étend à l'Allerød pour reculer au Dryas récent.

Polemonium (cfr *caeruleum*) dont un grain a été observé durant l'Allerød, est une espèce subboréale à tendance continentale (WALTER et STRAKA, 1970) et relativement hygrophile. *Polemonium* complète la liste des taxons donnant une note continentale au climat tardiglaciaire d'Herentals.

Dans le groupe des espèces arctiques-alpines, nous rangeons *Thalictrum* et *Lycopodium*. Dans l'impossibilité de déterminer spécifiquement *Thalictrum* d'après des critères de morphologie pollinique, nous nous sommes basé sur son comportement (Fig. 14) pour attribuer les pollens de ce genre à l'espèce *alpinum*. C'est d'ailleurs durant un épisode froid, le Dryas moyen, que ce taxon a donné ses pourcentages les plus élevés.

En ce qui concerne *Lycopodium*, la courbe présentée à la Figure 15 comporte éventuellement quelques *Lycopodium clavatum* non distingués au cours du comptage. Un contrôle ultérieur a néanmoins démontré la prédominance presque exclusive du type *alpinum*. C'est également au cours du Dryas moyen que *Lycopodium* est le plus fréquent.

Selaginella selaginoides est classé par WALTER et STRAKA (1970) dans le groupe des plantes subarctiques — subalpines. Néanmoins à Herentals, elle semble davantage liée aux épisodes froids (Fig. 15) que *Lycopodium* et *Thalictrum*. A Opgrimbie, en Campine (PAULISSEN et MUNAUT, 1969) les tétrades de *Selaginella* atteignent jusque 33 % au cours du Dryas le plus ancien.

Signalons qu'*Ephedra distachya* (Dryas récent) et *Polemonium* (Allerød) sont identifiés pour la première fois en Moyenne Belgique, quoiqu'ils aient été notés

depuis longtemps déjà dans les régions avoisinantes (IVERSEN, 1954 pour le Danemark; VAN ZEIST, 1955 pour les Pays-Bas; GODWIN, 1956 en Angleterre; BEHRE, 1966 en Allemagne). Dans le sud de la Belgique, *Ephedra* a été reconnu à Vance (HEIM-THOMAS, 1969) durant le Dryas récent. *Polemonium* est noté dans la même localité durant l'Allerød (HULSHOF, JUNGRIUS et RIEZEBOS, 1968) et dans le Brackven (Haute Ardenne) au cours du Préboréal (G. WOILLARD — communication orale).

1. 2. 2. — *Taxons tardiglaciaires persistants comme rudérales.*

Il s'agit du cortège des héliophytes à pouvoir concurrentiel faible : *Artemisia*, Chenopodiacees, *Plantago*, Urticacees, Outre l'existence de vastes clairières ou de paysages presque déboisés, ces taxons indiquent la présence de sols jeunes ou remaniés. L'extension des Chenopodiacees durant les Dryas (Fig. 15) pourrait être liée à l'accumulation de sédiments fluviaux instables qui caractérisent ces périodes dans la vallée de la Nèthe.

1. 2. 3. — *Taxons liés aux prairies humides.*

Outre *Filipendula*, nous rangeons dans ce groupe les Ombellifères, les Dipsacacees (type *Succia*) et éventuellement les quelques Géraniacees observées. Le comportement de *Filipendula* (Fig. 14) confirme le caractère légèrement thermophile signalé par VAN DER HAMMEN (1953) et IVERSEN (1954). Cette espèce montre ses pourcentages les plus bas durant les Dryas. Les Dipsacacees réagissent de la même manière.

Toutes ces espèces hygrophiles sont également héliophiles. Elles indiquent donc la persistance au cœur même de l'Allerød de vastes clairières humides au centre de la vallée.

1. 2. 4. — *Taxons liés au milieu inondé.*

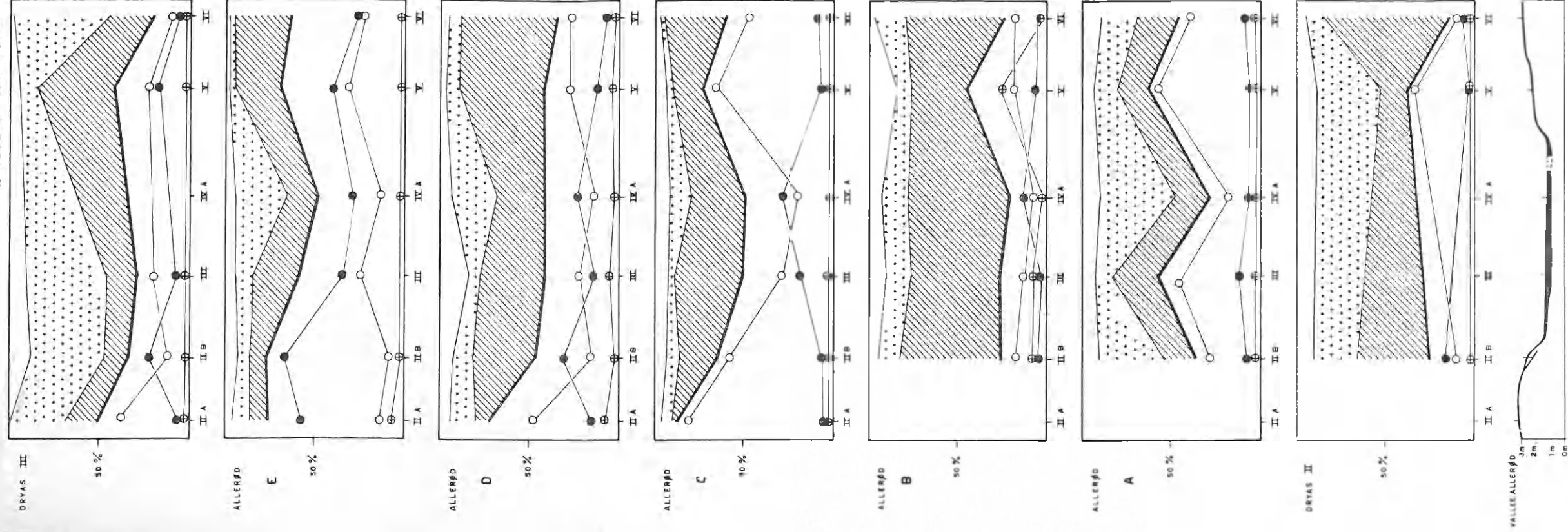
Dans l'ensemble, les taxons que nous avons groupés sous le nom d'Aquatiques (*Equisetum*, *Myriophyllum*, *Nuphar*, *Nymphaea*, *Sparganium* et *Typha latifolia*) sont légèrement mieux représentés durant l'Allerød que durant les Dryas. Les variations de pourcentages sont cependant assez irrégulières pour chacun des taxons pris individuellement. Seul, *Nuphar* montre un comportement (Fig. 15) qui laisse supposer certaines exigences thermiques.

1. 2. 5. — *Taxons indicateurs de sols acides.*

Les acidiphytes typiques sont très peu abondantes à Herentals. *Sphagnum* n'apparaît que très sporadiquement. Les Ericales (parmi lesquelles on note de rares grains d'*Empetrum*) sont à peine moins rares (Fig. 15). Le pourcentage le plus élevé est atteint durant le Dryas récent.

D'après VAN DER HAMMEN (1953) l'extension des Ericales, caractéristique de la fin de l'Allerød et du Dryas récent, résulterait essentiellement de l'instauration d'un climat plus océanique. Cet effet du climat est cependant contrarié par les caractéristiques édaphiques du substrat. A Herentals les limons lourds de la vallée et les sables glauconifères de l'assise tertiaire qui constitue les sols avoisinants, ont entravé le développement des espèces acidiphiles, alors qu'à Opgrimbie, situé à 65 km plus à l'est, mais sur un substrat moins riche, la phase océanique est beaucoup mieux marquée (PAULISSEN et MUNAUT, 1969).

RECONSTITUTION DE TRANSECTS TARDIGLACIAIRES
% MOYENS PAR PHASE



1. 2. 6. — *Les espèces arborescentes thermophiles* (*).

Ces espèces qui constituent les forêts climaciques sous des climats tempérés, apparaissent fréquemment en très faible quantité au Tardiglaciaire.

Quoique leur présence soit irrégulière, certains auteurs en tirent argument pour décrire en Europe nord-occidentale un épisode plus tempéré au cours de l'Allerød (A. LEROI-GOURHAN, 1967). Ces espèces ne croissaient pas nécessairement sur place, mais leur extension dans les régions méridionales, serait la cause d'un apport lointain plus abondant. Dans les mêmes régions, d'autres auteurs considèrent la totalité de ces pollens comme secondaires et les utilisent éventuellement comme indicateurs d'une pollution (CASPARIE et VAN ZEIST, 1959).

A Herentals, nous avons calculé pour les différentes phases du Tardiglaciaire et du Préboréal, les pourcentages moyens atteints par l'ensemble des thermophiles comptés dans chacun des diagrammes.

Les résultats sont repris dans le graphique de la Figure 16.

On constate tout d'abord que ces espèces ne représentent qu'une fraction minime des spectres polliniques. Leur inclusion ou exclusion dans les spectres ne modifient pas l'importance relative des autres types polliniques.

Dans nos profils, les fréquences relatives les plus élevées sont atteintes durant les Dryas et la Phase D du Préboréal. A la fin du Préboréal, cette extension pollinique s'explique parfaitement par l'immigration des premiers individus précédant l'expansion massive de leurs descendants durant les époques ultérieures. Par contre, les extensions notées durant les deux Dryas peuvent difficilement trouver une explication climatique. Dans le cas de la Petite Nèthe, nous pouvons donc admettre une augmentation relative due à une incorporation de pollen secondaire plus ancien. La présence de *Picea*, limitée au Tardiglaciaire et de *Carpinus* (qui réapparaît au Subatlantique), espèces abondantes durant l'Eemien, constituerait un argument supplémentaire en faveur de l'origine secondaire des pollens « thermophiles ».

2. *Le Préboréal*2. 1. *Les grands traits de la végétation préboréale.*

La végétation préboréale ressemble à celle de l'Allerød. Les dominantes restent les mêmes, à l'exception des fougères à spores monolètes qui, rares au Tardiglaciaire, s'étendent abondamment. On remarque cependant une réduction en variété et en pourcentage des plantes steppiques et arctiques alpines (Fig. 14 et 15). Ce phénomène peut traduire l'installation d'un climat moins continental et peut être plus tempéré qu'à Allerød. Ces plantes étant également des héliophytes, leur disparition peut être liée à une augmentation de la densité des forêts au cours du Préboréal. Cette densité accrue de la forêt protège mieux le sol et le relief se stabilise. La fixation des sols atténue les phénomènes d'érosion qui jusqu'alors mettaient des sols vierges et peu stables à la disposition des plantes à faible pouvoir concurrentiel. Celles-ci disparaissaient progressivement pour réapparaître après l'introduction de l'agriculture.

Les plantes herbacées liées aux milieux humides ou marécageux, ne subissent pas la même réduction, ce qui indique la persistance de clairières dans la vallée.

(*) *Alnus*, *Carpinus*, *Corylus*, *Picea*, *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*.

La densité des forêts de pins et de bouleaux s'accommode de la présence d'espèces pionnières héliophiles comme *Populus*. Ce taxon apparaît en courbe discontinue dans le profil I et de façon sporadique dans les profils III et IV B.

HEIM (1970) a montré que pour un recouvrement moyen de 7,8 % la proportion pollinique moyenne du peuplier atteint à peine 0,6 %. Les pourcentages atteints dans le profil III varient de 0,1 à 1,1 %. Aux environs des points de prélèvement, *Populus* recouvrait peut-être près de 10 % de la surface.

2. 2. Les successions locales.

Le Dryas récent a profondément bouleversé le relief de la vallée et les trois profils palynologiques du Préboréal proviennent de trois unités morphologiques nettement séparées. Les successions végétales seront décrites séparément.

2. 2. 1. — Profil I.

Le profil I s'est formé par accumulation de tourbe, dans une dépression très humide mais protégée des inondations comme en témoigne l'absence totale de matière minérale.

On peut y déceler une succession typique :

- de 55 à 42,5 cm : existence d'un plan d'eau libre caractérisé par l'abondance de *Nymphaea*, plante réellement aquatique;
- de 20 à 40 cm : comblement de l'étang et extension d'une fougeraie dense. Parmi les nombreuses spores monolètes, nous avons observé quelques individus munis d'un périspore et appartenant de façon indubitable à *Polystichum thelypteris*. Il semble possible dans ces conditions d'attribuer une grande partie, sinon l'ensemble des spores monolètes à cette fougère des marais.
- de 15 à 17,5 cm : envahissement de la fougeraie par des fourrés de *Salix*.

Si on se base sur les chiffres obtenus par HEIM (1970), ces fourrés couvrent de 25 à 50 % de la surface. Toujours d'après le même auteur, *Polystichum thelypteris*, même présent en abondance, ne produit pas de spores sous un tel couvert. Il devait donc exister des trouées dans les saulaies.

- de 5 à 12,5 cm : disparition des fourrés de *Salix*. Les fougères restent en quantité modérée, tandis que s'étendent les Graminées et les Cypéracées. *Sparganium* et *Typha latifolia*, espèces des plans d'eau peu profonds, réapparaissent.

Dans les trois premières phases, on peut suivre tout d'abord une succession progressive, correspondant à un assèchement édaphique semblable à ceux décrits dans le nord de la France (WATTEZ, 1968) suivi d'un retour à des conditions plus humides.

2. 2. 2. — Profil III.

La succession notée dans le profil I s'observe aussi dans le profil III. Celui-ci s'est développé dans une dépression séparée de la première par une dune tardiglaciaire,

- de 95 à 82,5 cm : pièce d'eau peu profonde avec *Equisetum* et *Typha latifolia*, *Menyanthes*.

- de 80 à 72,5 cm : envahissement par des fourrés de saules.
- niveau 70 cm : retour d'*Equisetum*, *Typha*, *Menyanthes* et *Sparganium*.

Remarquons toutefois le rôle réduit des fougères qui ne s'étendent à cet endroit qu'à la fin du Préboréal.

Lorsqu'on tient compte du découpage chronologique du Préboréal, basé sur le comportement d'autres espèces, on constate que les phases écologiques que nous venons de décrire sont synchrones dans les diagrammes I et III. Elles résultent donc de phénomènes affectant le niveau phréatique en plusieurs points de la vallée.

La phase plus humide datée de la fin du Préboréal n'apparaît pas dans d'autres diagrammes de la même région (DE PLOEY, 1961; MULLENDERS et COREMANS, 1961; MULLENDERS et alii, 1966).

Il pourrait à nouveau s'agir d'une modification de l'économie en eau de la vallée, elle même liée, comme durant l'Allerød, à une légère modification de la pluviosité.

2. 2. 3. — Profil IV B.

Ce profil qui était constitué dans un chenal périodiquement inondé (alternance de sable grossier et de couches humifères) montre un aspect différent. L'abondance relative de *Filipendula* et de *Salix* tout au long du Préboréal, indique le maintien au bord de ce chenal de formations où s'entremêlent prairies humides et fourrés de saules.

3. L'Holocène, du Boréal au Subatlantique

Ces périodes ne sont mises en évidence que dans un seul profil (profil III). Du point de vue écologique signalons l'extension des héliophytes acidiphiles, *Pteridium*, *Calluna*, *Sphagnum*, *Fragula*, à partir du Subboréal. Les espèces cultivées (Céréales et *Fagopyrum*) apparaissent au début du Subatlantique en même temps que les rudérales (*Artemisia*, *Chenopodiaceae* et *Plantago*). Remarquons également à la fin du Subboréal A, l'extension de *Betula* qu'accompagne l'apparition de quelques *Chenopodiaceae*. Il pourrait s'agir vers 1500 BC d'une sorte de « landnam » causé par l'établissement d'une communauté de pasteurs ne pratiquant pas l'agriculture.

4. La diversité floristique au cours des périodes tardiglaciaire et holocène

La diversité floristique telle qu'elle peut se traduire dans la pluie pollinique diffère grandement d'une période à l'autre, comme en témoigne le Tableau III.

TABLEAU III

Période :	Nombre de taxons identifiés :
Subatlantique	33
Subboréal	27
Atlantique	21
Boréal	28
Préboréal	52
Dryas récent	39
Allerød	50
Dryas moyen	29

Ces variations dans la diversité peuvent être facilement mises en parallèle avec les différentes phases du cycle glaciaire-interglaciaire décrit par IVERSEN (1958).

La richesse du Préboréal s'explique notamment par la position privilégiée de cette période dans le cycle mentionné.

Sous l'influence de l'amélioration climatique et des migrations qui en résultent, des éléments floristiques très divers se retrouvent côte à côte : reliques de la période froide, espèces pionnières des forêts climaciques ultérieures et espèces à pouvoir concurrentiel faible dont l'extension est favorisée par les conditions édaphiques particulières de cette période : sol dénudé, non encore stabilisé, couvert forestier clair, présence de surfaces aquatiques, déposition récente de sédiments calcarifères, etc...

Le Préboréal partage d'ailleurs avec l'Allerød cette richesse propre aux périodes de transition, tandis que l'Atlantique est particulièrement pauvre.

Durant cette dernière période en effet, tous les éléments caractéristiques des phases précédentes (éléments cryocratiques et protocratiques) ont disparu. Les espèces dominantes de la forêt climacique laissent peu de place à une flore herbacée diversifiée ou du moins celles-ci ne produisent guère de pollen dans ces conditions. Il faut attendre le Subboréal et surtout le Subatlantique pour qu'aux éléments telocratiques, tels *Fagus* et *Carpinus*, s'ajoutent des espèces favorisées par l'agriculture et que le nombre de taxons augmente à nouveau.

CONCLUSIONS

L'étude d'une coupe traversant de part en part la vallée de la Petite Nèthe à Herentals, nous a fourni un aperçu assez complet des événements qui se sont déroulés en cet endroit au cours du Tardiglaciaire et de l'Holocène.

En effet, l'observation directe des couches sédimentaires que complétaient de nombreuses analyses granulométriques a permis de reconstituer l'évolution morphologique de la vallée.

L'analyse pollinique de plusieurs profils a fourni un cadre chronologique à cette évolution.

Inversément, le fait de pouvoir localiser les diagrammes palynologiques dans un milieu bien défini, constituait un élément favorable pour émettre des considérations paléo-écologiques.

A l'occasion de ce travail, deux unités locales clairement caractérisées du point de vue de la litho-, de la chrono- et de la biostratigraphie ont été définies :

— *Le membre de Vuilvoort*

Ce membre est constitué par une couche tourbeuse qui s'étend à travers toute la vallée et qui s'enrichit en alluvions fines homogènes dans le fond. Cette unité correspond à une période de stabilité fluviale au cours de l'Allerød et elle peut s'expliquer par la présence d'une couverture forestière sur les sols du bassin de la rivière. Les dépôts appartenant à ce membre recouvrent entièrement les rares témoins d'une évolution fluviale antérieure.

— *Le membre d'Addernesten*

Ce membre est caractérisé par des couches de sables fins qui montrent une strati-

fication horizontale et subhorizontale très nette. Il est constitué par d'importantes accumulations fluviales datées du Dryas récent. Ces accumulations peuvent être mises en relation avec une érosion accélérée dans le bassin, causée par la disparition de la couverture forestière.

Une dune fluviale s'est également formée durant le Dryas récent.

Le préboréal est caractérisé par une stabilité fluviale parfaite : des tourbes homogènes s'édifient dans les zones basses.

Au cours des périodes ultérieures la tourbe s'édifie dans les dépressions protégées de l'influence fluviale. Celle-ci ne se marque plus que par une accumulation sableuse peu importante.

Du point de vue palynologique, signalons la mise en évidence de cinq phases successives au cours de l'Allerød. Les quatre premières qui voient une alternance entre des poussées de bouleau et l'avancée d'herbacées hygrophiles peut s'expliquer par des petites oscillations climatiques affectant le régime hydrique des sols de la vallée. La cinquième phase correspond à l'extension de *Pinus*.

La comparaison des diagrammes prélevés en divers points de la vallée a montré l'existence d'une diversification assez marquée de la végétation tardiglaciaire sous l'influence de modifications édaphiques. Un premier essai de reconstitution de transects de surface tardiglaciaire a été tenté.

Le Préboréal a pu être subdivisé en quatre phases dont la seconde a été rattachée au Piottino des Alpes et la dernière voit l'apparition régulière des thermophiles.

Des successions écologiques locales ont été mises en évidence dans les trois dépressions où s'accumulait de la tourbe. Elles montraient un assèchement édaphique progressif suivi par un retour à des conditions plus humides à la fin du Préboréal.

L'édification de la tourbe s'étant poursuivie en un point au moins de la vallée, nous avons pu retracer les péripéties de la végétation holocène et noter l'apparition locale de l'agriculture au début du Subatlantique.

REMERCIEMENTS

Nous remercions : les dessinateurs Madame Riguelle, Mademoiselle B. van Dormael et Monsieur R. Geraerts; Mesdemoiselles M. Dirickx et L. van der Linden qui ont effectué des extractions polliniques; Monsieur G. Notré qui a réalisé les tamisages de sable; Mademoiselle J. Vermeulen chargée de la dactylographie.

Nous exprimons notre reconnaissance à Monsieur P. Vermeersch qui nous a aidés à niveler le profil et à Monsieur E. Gilot du Laboratoire ^{14}C de l'U.C.L. qui a réalisé les datations ^{14}C .

Nos remerciements s'adressent également à la Société Distrigaz et aux Entreprises Danheux et Maroye qui nous ont permis l'accès aux chantiers.

Les recherches ont été effectuées dans les Laboratoires du Professeur W. Mulenders, U.C.L. (Palynologie et Phytosociologie) et du Professeur F. Gullentops, Geomorfologie en Recente Sedimenten, K.U.L.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN, J. R. L., 1965. — A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. *Sedimentology*, Special Issue, **5** : 89-191.
- BASTIN, B. et COUTEAUX, M., 1966. — Application de la méthode de Frenzel à l'extraction des pollens dans les sédiments archéologiques pauvres. *L'Anthropologie*, **70** : 201-203.
- BEHRE, Karl-Ernest, 1966. — Untersuchungen zur spätglazialen und frühpostglazialen Vegetationsgeschichte Ostfrieslands. *Eiszeitalter und Gegenwart*, **17** : 69-84.
- CASPARIE, W. A. et VAN ZEIST, W., 1960. — A Late-Glacial lake deposit near Waskemeer (Prov. of Friesland). *Acta Botanica Neerlandica*, **9** : 191-196.
- COLEMAN, J. M., 1969. — Brahmaputra river : channel processes and sedimentation. *Sedimentary Geology*, **3** : 129-239.
- DELCOURT, A., MULLENDERS, W., PIERARD, P., 1959. — La préparation des spores et des grains de pollen actuels et fossiles. *Les Naturalistes Belges*, **40** : 90-120.
- DE PLOEY, J., 1961. — Morfologie en kwartair-stratigrafie van de Antwerpse Noorderkempen. *Acta Geographica Lovaniensia*, **1** : 130 p.
- DE PLOEY, J., 1963. — Palynological Investigations of Upper Pleistocene and Holocene deposits in the lower Kempenland (Belgium). *Grana Palynologica*, **4** : 428-438.
- FOLK, A. L. and WARD, W. A., 1957. — Brazos river bar : a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, **27** : 3-26.
- GILOT, E., MUNAUT, A. V., COUTEAUX, M., HEIM, J., CAPRON, P. et MULLENDERS, W., 1969. — Datations ^{14}C et Palynologie en Belgique et dans les régions voisines. *Bull. Soc. Belge Géol. Paléont. Hydr.*, Bruxelles, **78** : 21-29.
- GILOT, E., CAPRON, P. C., 1971. — Louvain Natural Radiocarbon XI. *Radiocarbon*, **13** : 358-362.
- GODWIN, H., 1956. — The History of the British Flora. *Cambridge Univ. Press*, 384 pp.
- GULLENTOPS, F., 1957. — Quelques phénomènes géomorphologiques depuis le Pléni-Würm. *Bull. Soc. Belge Géologie*, **66** : 86-95.
- GULINCK, M., 1960. — Un gisement de Kiezeloolithes à Lichtaart (Campine). Comparaison avec les cailloutis à Kiezeloolithes des collines flamandes. *Bull. Soc. Belge Géologie*, **69** : 191-204.
- HALET, F., 1935. — A propos des formations dites Casterliennes des environs d'Hérentals en Campine. *Bull. Soc. Belge Géologie*, **35** : 290-297.
- HEIM, J., 1970. — Les relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale. *Université de Louvain — Laboratoire de Palynologie et de Phytosociologie*, 182 pp.
- HEIM-THOMAS, D., 1969. — Étude palynologique du marais de Vance (Belgique). *Acta Geographica Lovaniensia*, **7** : 113-139.
- HULSHOF, A. K., JONGERUS, P. D., RIEZEBOS, P. A., 1968. — A Late-Glacial volcanic ash deposit in Southeastern Belgium. *Geol. en Mijnbouw*, **47** : 106-111.
- HUYGHEBAERT, L., 1961. — Problèmes soulevés par l'étude microstratigraphique de la sablière de Lichtaart et de deux sondages en Campine. *Bull. Soc. Belge Géologie*, **70** : 104-112.
- IVERSEN, J., 1954. — The Late-Glacial Flora of Denmark and its relation to climate and soil. *Danmarks Geologiske Undersøgelse*, **2** : 87-119.
- IVERSEN, J., 1958. — The bearing of glacial and interglacial epochs on the formation and extinction of Plant Taxa. *Uppsala Universitets Årsskrift* : 210-215.

- JANSSEN, C. R., 1960. — On the Late-Glacial and Post-Glacial vegetation of South Limburg (Netherlands). *North Holland Publishing Cy.* Amsterdam : 112 pp.
- LERICHE, M., 1922. — Les terrains tertiaires de la Belgique. Congrès géologique international. Livret-guide pour la XII^e session, Belgique, 1922, Exc. A 4 et C.R. XIII session, 3 : 1739-1741.
- LEROI-GOURHAN, Arlette, 1967. — Pollens et datation de la Grotte de la Vache (Ariège). *Bull. Sté Préhistorique de l'Ariège*, **22**, 115-127.
- MC CAMMON, R. B., 1962. — Efficiencies of percentile measures for describing the mean size and sorting of sedimentary particles. *Journal of Geology*, **70** : 453-465.
- MULLENDERS, W. et GULLENTOPS, F., 1956. — Évolution de la végétation et de la plaine alluviale de la Dyle à Louvain depuis le Pléni-Würm. *Acad. Roy. de Belgique — Bull. de la Classe des Sciences*, **42** : 1123-1137.
- MULLENDERS, W. et COREMANS, M., 1961. — Recherches palynologiques dans la vallée de la Grande Nèthe à Geel (Campine Belge). *Bull. Soc. Roy. Bot. Belgique*, **23** : 131-136.
- MULLENDERS, W., GULLENTOPS, F., LORENT, J., COREMANS, M. et GILOT, E., 1966. — Le remblaiement de la vallée de la Nethen. *Acta Geographica Lovaniensia*, **4** : 169-181.
- MULLENDERS, W., GULLENTOPS, F. et COREMANS, M., 1966. — Les sédiments de la transition Eemien-Würm à Oevel. *Acta Geographica Lovaniensia*, **4** : 57-67.
- MULLENDERS, W., DESAIR-COREMANS, M., GILOT, E., 1972. — Recherches palynologiques et datations ¹⁴C sur des dépôts tourbeux à Holsbeek. in Vermeersch 1972. Twee mesolitischen sites te Holsbeek. *Archaeologia Belgica*, **138** : 141 p.
- MUNAUT, A. V., 1967. — Étude paléo-écologique d'un gisement tourbeux situé à Terneuzen (Pays-Bas). *Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek*, **17** : 7-27.
- MUNAUT, A. V., 1967. — Recherches paléo-écologiques en Basse et Moyenne Belgique. *Acta Geographica Lovaniensia*, **6** : 191 pp.
- PAULISSEN, E. et MUNAUT, A. V., 1969. — Un horizon blanchâtre d'âge Belling à Opgrimbie. *Acta Geographica Lovaniensia*, **7** : 65-91.
- PAULISSEN, E., 1973. — De morfologie en de kwartairstratigrafie van de Maasvallei in Belgisch Limburg. *Verh. van de Koninklijke Academie voor Wetenschappen, Letteren en Schone Kunsten van België. Kl. der Wetenschappen*, Jrg. XXXV, 127, 266 pp.
- PEETERS, L., 1943. — Les dunes continentales de la Belgique. *Bull. Soc. Belge de Géologie*, **52** : 51-60.
- TAVERNIER, R., 1954. — Le Quaternaire. dans Prodrôme d'une description géologique de la Belgique. *Société Géologique de Belgique* : 555-590.
- VAN DER HAMMEN, Th., 1953. — Late-Glacial flora and periglacial phenomena in the Netherlands. *Leidse Geol. Mededelingen*, **17** : 71-184.
- VAN DER HAMMEN, Th., 1971. — The Upper Quaternary of the Dinkel Valley. *Med. Rijks Geologische Dienst*. N.S. 22; 59-72.
- VAN HOORNE, R., 1954. L'oscillation d'Allerød en Belgique. *Inst. Roy. des Sc. Nat. de Belgique, Volume jubilaire V. Van Straelen*, **1** : 141-147.
- VAN HOORNE, R., 1963. — La tourbe fin Eemien et début Würm du plateau d'Oevel (Belgique). *Bull. Inst. Roy. des Sc. Natur. de Belg.*, **39** : 1-7.
- VERMEERSCH, P., 1972. — Twee Mesolitische sites te Holsbeek. *Archaeologia Belgica*, **138** : 141 pp.
- VAN ZEIST, W., 1955. — Pollen analytical investigations in the Northern Netherlands, with special reference to Archaeology, *North-Holland Publishing Cy.* Amsterdam : 81 pp.

- WALTER, H. et STRAKA, H., 1970. — Areal Kunde. Floristisch-Historisch Geobotanik. Verlag Eug. ULMER, Stuttgart : 478 pp.
- WATTEZ, J. R., 1968. — Contribution à l'étude de la végétation des marais arrière-littoraux de la plaine alluviale picarde. Thèse Doctorat d'État en pharmacie — Lille; 378 pp.
- ZOLLER, H., 1960. — Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte der Insubrischen Schweiz. *Mémoire Sté Helvétique Sc. Natur.*, **83** : 45-156.