

Jan Dylik

Łódź

ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE DES FORMATIONS DE VERSANT REMPLISSANT LES DEPRESSIONS FERMEES AUX ENVIRONS DE ŁÓDŹ

Abstract

Covering formations in small enclosed basins that occur in the region of Łódź have been investigated. As the underlying organic lacustrine deposits have not, so far, been studied palaeontologically it is not yet possible to say whether they correspond to an interglacial or to an interstadial phase. Anyhow, they cannot have originated prior to the Eemian since they are overlain only by slope deposits and the basins occur in an area whose last ice-cap was that of the penultimate glaciation. Hence, the periglacial formations investigated should be attributed to the cold period of the ultimate glaciation or, at least, to one of its phases.

The main object of research was to distinguish the sedimentary characteristics of the formations in question in order to obtain a basis upon which some data relative to the climatic fluctuations occurring during a cold period, could be derived by means of inductive reasoning.

From these sedimentological data, the following sequence of climatic fluctuations and correspondent processes has been deduced: (a) cold and dry — vigorous wind-action and cryoturbation, (b) cold and humid — congelifluxion, (c) relatively warm — vegetation and pedogenic processes, (d) cold and dry — strong wind-action, (e) cold and humid, perhaps warmer — downwash and weak congelifluxion, (f) cold and rather dry — cryoturbation.

Such conclusions relative to the question of climatic fluctuations during a cold period, especially such a sequence in which cold and dry conditions prevail at the onset of a cold period, widely differ from the views commonly held on this problem.

Nous avons souligné tout récemment (J. Dylik 1960) l'importance et même la nécessité de faire connaître au maximum les formations périglaciaires. Cette nécessité provient de traits particuliers du Quaternaire où les évidences paléontologiques ne sont pas suffisantes pour le discerner et le subdiviser. Ce n'est que le climat qui nous permet de faire la limite entre le Tertiaire et le Quaternaire.

Ce sont les manifestations du climat changeant qui nous aident et parfois ce sont seulement elles qui rendent possible la déductions de la succession des périodes et des phases climatiques qui se déroulèrent au Quaternaire.

Les formations glaciaires et périglaciaires sont considérées comme les manifestations climatiques les plus populaires et les plus importantes. C'est l'analyse sédimentologique qui nous amène à la connaissance des processus et du milieu de sédimentation d'une formation examinée. D'une suite de formations bien définies du point de vue dynamique et climatique, nous pouvons déduire une succession de périodes et de phases,

climatiques parfois même bien nuancées. Un tel procédé exige, évidemment, des études détaillées, plutôt restreintes dans l'espace et dans le temps mais minutieuses et précises.

La présente communication ne comporte que les premiers résultats obtenus dans des recherches qui ne sont pas encore achevées. Ces recherches nous ont cependant permis de déchiffrer les phases climatiques d'une seule période froide selon une suite de formations périglaciaires correspondantes. La première tâche fut alors de trouver une succession de dépôts bien définie, appartenant à une seule période froide. Comme nous avons décidé de choisir dans ce but les formations dues à la dernière période froide, il s'agissait de trouver leur base, c'est-à-dire, les formations antérieures à cette période. Parmi celles-ci, il n'y a que deux sortes de formations: celles dues à la période froide pénultième ou celles qui sont attribuées à une période plus chaude, bien marquée, de l'ordre d'un interstade, sinon d'un interglaciaire.

Quant aux premières, aux environs de Łódź, où les recherches ont été exécutées, il s'agissait des parties supérieures des dépôts glaciaires rissiens du stade de la Warta. Dans la zone de moraine terminale, nous avons analysé la surface de la couche supérieure présentant une structure de possée, laquelle constitue la base des formations postérieures dues au milieu climatique périglaciaire wurmien. Nous avons attribué une pareille fonction délimitante aux argiles à varves que l'on doit considérer comme formations proglaciaires déposées pendant une situation lointaine du glacier en retraite. Donc l'argile à varve présente le dernier, ou quasi dernier, dépôt d'une période froide, et en conséquence nous pouvons le traiter comme la base des formations postérieures.

La seconde catégorie d'indices de la limite inférieure d'une suite de couches attribuées à la dernière période froide dépend de la possibilité d'y trouver des formations organiques interglaciaires. Une qualification convenable étant parfois vague et difficile à obtenir, nous avons décidé de ne pas insister sur les preuves indéniables de l'âge interglaciaire des dépôts qui devaient servir de base pour une série qu'on a voulu considérer comme correspondant à une période froide. Il nous a fallu y trouver des formations organiques bien développées dues, sans doute, à une période plus chaude accentuée.

Ce sont les quatre types de situation des formations de versant qu'on a choisis pour y mener des études détaillées, et notamment: les petites dépressions fermées; les versants des collines du plateau; les versants des plus grandes vallées et, enfin, les versants des petites vallées que l'on suppose primitives, situées entre deux croupes de la moraine terminale de pousée.

Les recherches entreprises ne sont terminées dans aucun des groupes

mentionnés, et nous n'allons présenter que les premiers résultats obtenus lors des études portant surtout sur les formations du remplissage péri-glaciaire des cuvettes à Józefów, à environ 40 km à l'E de Łódź.

SITUATION ET TOPOGRAPHIE DES DEPRESSIONS FERMEES A JÓZEFÓW

Le terrain étudié se trouve en dehors de l'extension maximale de la dernière glaciation, dans la région qui n'a pas été recouverte d'inlandsis après le stade de la Warta. Les grandes moraines terminales de ce stade se caractérisent par d'immenses structures de poussée qui constituent les traits principaux de la zone d'escarpement du Plateau de Łódź, bien que cette zone soit fortement remaniée grâce aux processus d'érosion postérieurs, surtout sous l'influence répétée du milieu climatique péri-glaciaire.

Les cuvettes en question sont situées dans la zone d'escarpement, mais dans un endroit de relief faible, sur la surface en creux à peine accentuée et presque plane. Les valeurs d'altitude relative n'y dépassent pas 15 m, y compris la plus grande profondeur des cuvettes elles-mêmes (fig. 1).

Dans le village de Józefów et, partiellement, dans la forêt voisine, il y a 3 dépressions fermées l'une tout près de l'autre, sur une petite superficie de 0,14 km². La plus grande d'entre elle, située aux confins de la forêt et nettement allongée dans la direction SW—NE, présente une forme évasée et des versants faiblement inclinés qui se raccordent au fond. Les dimensions horizontales sont de 200 m et 170 m respectivement. La profondeur n'atteint que 1,5 à 3 m. La seconde cuvette à l'Ouest de la précédente présente une forme plus nette, atteignant 5 m de profondeur. Elle dessine une figure presque circulaire de 100 m de diamètre (fig. 2).

Nous n'avons étudié que les deux formes décrites ci-dessus. La troisième, située un peu plus au Nord, où se trouve un petit étang, est aussi très nette, mais moins profonde que la seconde.

FORMATIONS DE REMPLISSAGE DES CUVETTES

Nous avons exécuté trois sondages dans les cuvettes A, B et C. Ce procédé nous a permis de distinguer trois groupes de formations dans chacune de ces formes et notamment: le substratum glaciaire, les formations lacustres d'origine organique, pour la plupart, et les dépôts de versant.

Les parties intérieures des formations lacustres se trouvent à des pro-

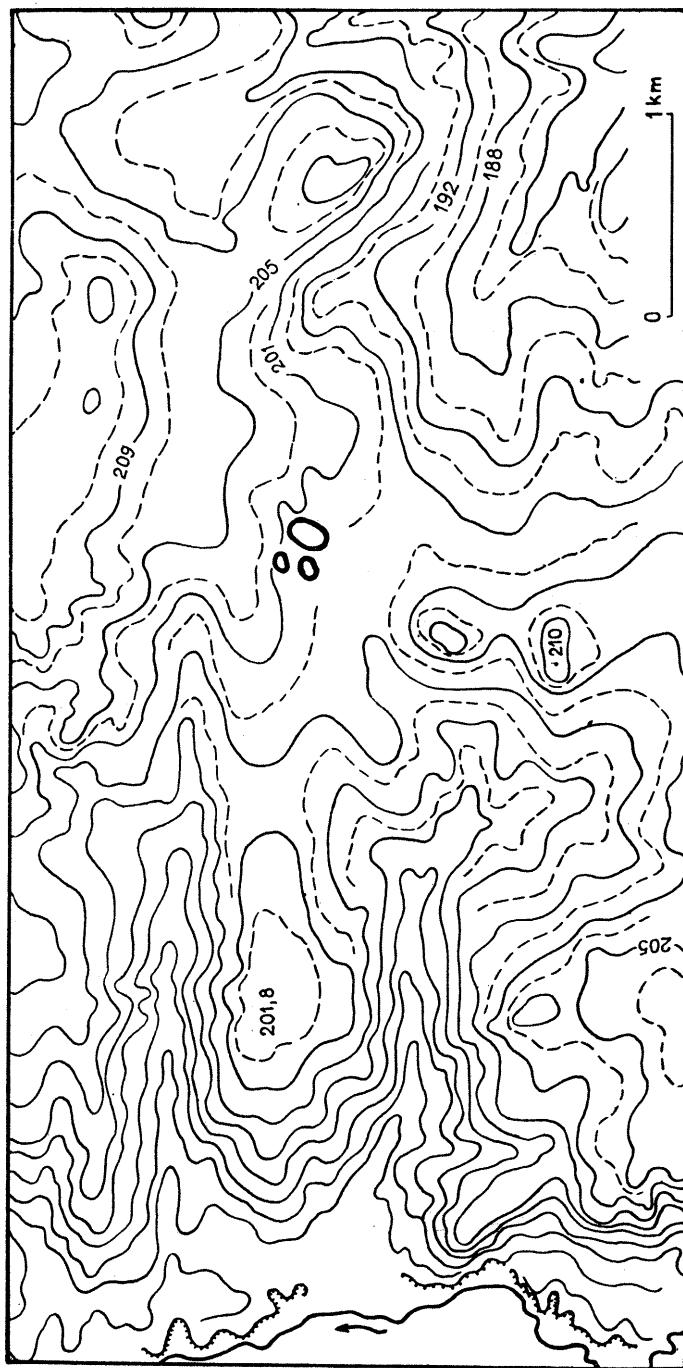


Fig. 1. Situation des dépressions fermées à Józefów

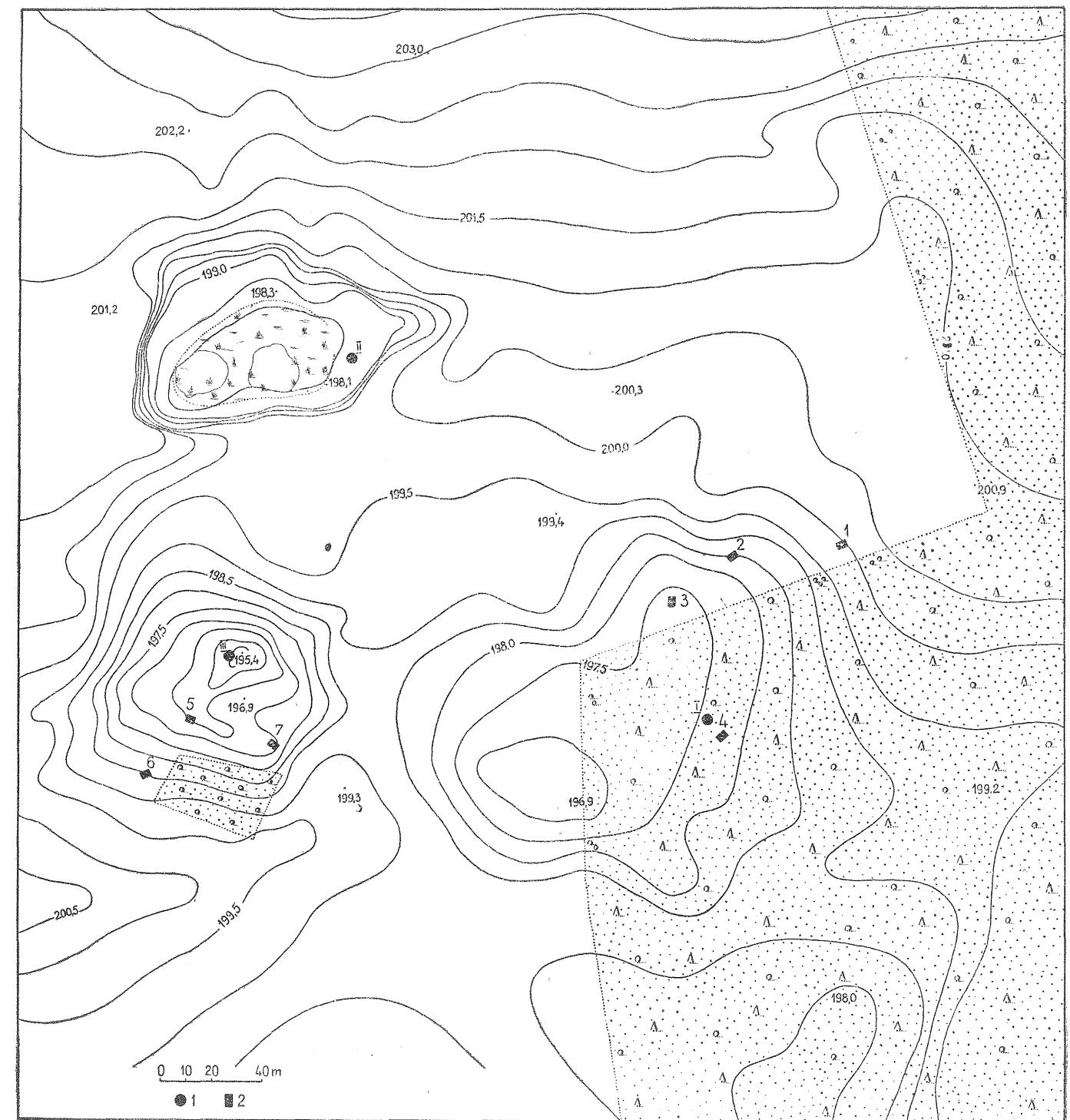


Fig. 2. Depression fermée à Józefów

1. sondages; 2. excavations; isohyps tous les 0,5 m; altitudes en mètres au-dessus du niveau de la mer

fondeurs différentes selon les sondages respectifs. Nous avons constaté leur présence dans la cuvette: A — 5 m, B — 6 m au-dessous de la surface contemporaine. Les dépôts sous-jacents sont considérés ici comme substratum d'origine glaciaire de l'âge du stade de la Warta. Il se peut, cependant, que certaines couches supérieures du substratum représentent les formations de versant antérieures aux dépôts lacustres.

Les formations lacustres d'une épaisseur de plus de 3 m dans la cuvette A et de plus de 4 m dans la cuvette B sont composées d'argile, de limons pleins de restes végétaux et de tourbe. L'épaisseur assez considérable et l'abondance des détritus végétaux dans cette formation nous font penser qu'elle correspond à une période plus chaude au moins de l'ordre d'un interstade. Comme les recherches paléobotaniques ne sont pas achevées, il nous manque pour le moment des informations plus exactes.

Les deux groupes de dépôts mentionnés ci-dessus ne nous intéressent qu'indirectement, étant donné que toute notre attention est centrée sur les formations de versant qui présentent les dépôts corrélatifs de la période froide consécutive à celle, plus chaude, dont témoignent les formations lacustres. Celles-ci, en effet, nous fournissent la base, les surfaces repères, nécessaires pour pouvoir discerner le groupe supérieur de formations périglaciaires appartenant à la dernière période froide.

Presque dans toutes les excavations exécutées dans les cuvettes A et B, nous avons atteint cette surface repère révélant des séries pleines de formations périglaciaires postérieures à la période plus chaude qui est aisément datable. Par conséquent, nous espérons pouvoir déduire des traits sédimentologiques de la suite de formations une succession de phases climatiques dans le cadre de la dernière période froide.

Examinons d'abord la tranchée 4 au fond de la cuvette A (fig. 3). On y voit dans la partie inférieure les dépôts lacustres et notamment les limons pleins de mousse, recouverts d'une couche mince de sables et couvrants enfin de tourbe. La couche sableuse directement au-dessous de la tourbe est mêlée de limons sous-jacents et perturbée. Elle a l'apparence d'une zone d'involution, mais, selon toute probabilité, ce n'est pas le cas. Il s'agit plutôt de structures dues à la différence de poids des limons et des sables, donc de structures dites *flow-cast* ou *load-cast*.

Ce n'est que dans la partie supérieure de la tourbe qu'on apperçoit les manifestations d'un climat froid. La tourbe, bien que fortement pressée et compacte, révèle la stratification horizontale presque dans toute sa masse, excepté dans les couches supérieures qui sont dérangées. La couche de tourbe varie en épaisseur de presque un mètre jusqu'à 20 cm, elle a été donc soumise à l'érosion. C'était, sans doute, l'érosion développée à la faveur des conditions climatiques froides, partiellement con-

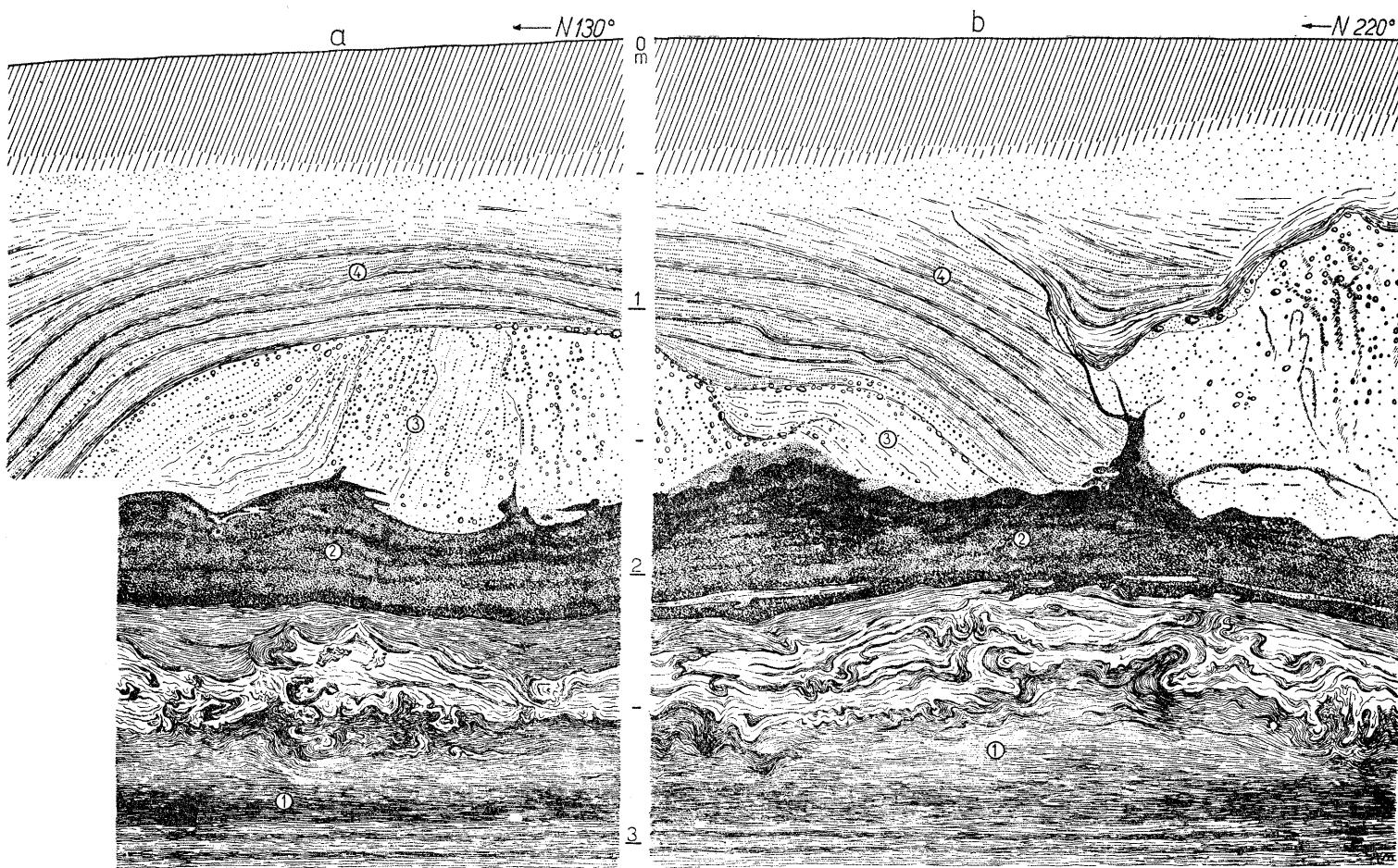


Fig. 3. Paroi sud-ouest (a) et nord-ouest (b) de l'excavation no 4

1. limon tourbeux, brunâtre revêlant vers le haut des structures du type de flow- et load-cast dans lesquelles participe le sable fin et blanc; 2. tourbe; 3. dépôts de congélifluxion — sable, gravier fin et cailloux; 4. dépôts de versant à litage périodique — limon gris-bleu avec petites couches du sable fin et blanc

temporaine du dérangement des couches de tourbe supérieures et dans un certain degré subséquente, puisqu'on voit les structures composées de tourbe monter assez haut dans les matériaux recouvrant la tourbe.

Au-dessus des formations lacustres, il y a deux dépôts visibles dans cette excavation: l'un composé de grèzes et de cailloux et l'autre présentant la formation sablo-limoneuse.

La formation plus basse reposant directement sur la couche de tourbe est bien compliquée du point de vue de sa texture et de sa structure. Elle se compose de matériaux grossiers d'une taille de 0,06 mm à 5 mm (fig. 4) et, parfois, on y trouve de plus grands cailloux. Presque tous les fragments ne sont usés que faiblement d'où leur caractère de grèves ou de grèzes. Ils portent les traces distinctes d'une forte éolisation et même les cailloux façonnés par le vent n'y sont pas rares.

Dans cette tranchée, la formation en question est stratifiée très distinctement. Ses couches, qui reposent en discordance sur la tourbe sous-jacente, sont fortement bombées, étant, sans doute, influencées par les phénomènes périglaciaires (photo 1).

Les dépôts qu'on vient de décrire sont tronqués et recouverts d'une autre formation. Entre eux, sur la surface de discordance, on a trouvé les traces minces d'un sol fossile ou plutôt de détritus végétaux.

La formation supérieure est composée de matériaux plus fins, de sables et de limons dont la granulométrie est présentée sur la figure 4. Le pour-

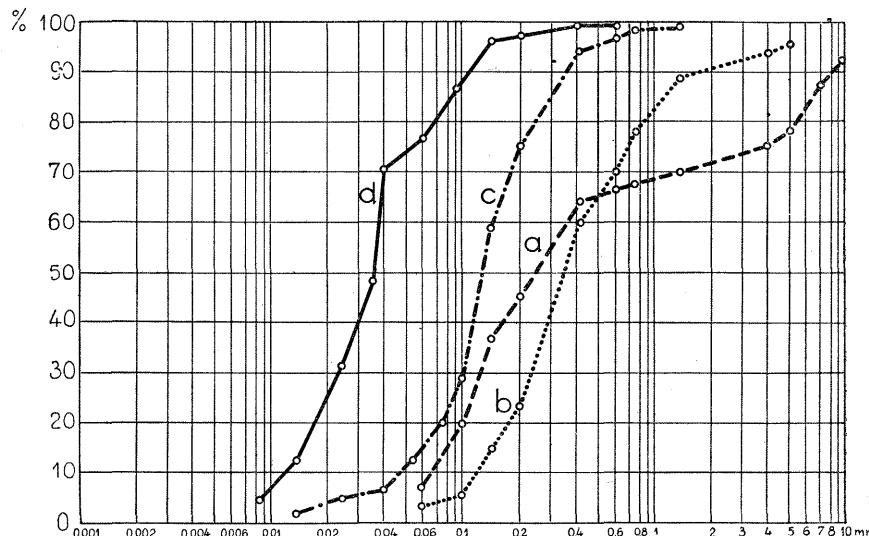


Fig. 4. Excavation no 4. Courbes granulométriques des dépôts de congéfluxion (a, b) et des dépôts de versant à litage périodique (c, d)

centage de fragments bien usés et même arrondis est plus élevé que celui de la formation graveleuse. Au contraire, on y rencontre des particules luisantes à côté d'autres rondes-mates qui y sont en majorité, bien que ce ne soit pas de façon absolue comme c'est le cas dans la formation inférieure.

Les traits structuraux n'y sont pas moins typiques et différents de ceux de la formation décrite précédemment. La stratification beaucoup plus nette est composée de couches fines qui se répètent selon un rythme frappant et fortement accentué. Le litage rythmique se traduit par la succession de couches minces alternantes de sables et de limons. Les couches individuelles, bien que distinctes, ne sont pas toujours continues et elles se présentent plutôt comme des lentilles d'une épaisseur très faible, mais relativement étendues.

Les deux formations examinées constituent la partie essentielle du remplissage des cuvettes étudiées. Comme c'est le cas de l'excavation 4, le remplissage des dépressions dans leurs parties de fond ne se compose que de ces formations principales. Les tranchées 3 et 5 en témoignent également.

Cependant, d'autres excavations, situées sur les versants des cuvettes, nous permettent de voir de nouvelles formations qui enrichissent les modalités du remplissage. Celui-ci est d'autant plus modifié que les formations dites principales apparaissent dans les tranchées exécutées sur les versants sous une forme assez différente de celle qu'on observe dans le remplissage du fond. Il y a donc des différences de faciès.

Dans presque toutes les excavations, on peut voir des involutions, donc des structures résiduelles développées dans les matériaux du soubassement lacustre. Mais parfois, comme dans les tranchées 1, 2, 6, 7 il y a des traces bien visibles de déplacement des matériaux lacustres sur le versant. Cette formation de pente très bien représentée surtout dans l'excavation 6 est mêlée, au moins dans sa partie supérieure, de graviers typiques de la formation basale de remplissage, reconnue dans la tranchée 4.

La limite entre la formation graveleuse et celle de sable et de limon à litage périodique est très nette et fortement accentuée dans toutes les parois des excavations étudiées. C'est la surface de discordance qui sépare les formations l'une de l'autre. Nous avons relevé des traces de détritus végétaux au voisinage de cette surface limite dans la tranchée 4. Mais ce ne sont pas les seules preuves d'une lacune stratigraphique entre nos deux formations principales.

Une paroi de l'excavation 2 nous montre des fentes au sommet de la formation graveleuse (fig. 5). Elles sont tronquées et recouvertes de sables à litage périodique. L'origine de ces fentes, plutôt obscure, est sans doute

liée aux phénomènes propres à la surface ancienne postérieurement en-sevelie.

Mais c'est la tranchée 1 qui révèle les faits le plus intéressants pour la zone limitrophe de la surface de discordance. Dans la partie supérieure de la formation basale grossière, directement au-dessous de la surface de discordance, il y a un horizon blanchâtre lessivé, recouvert de sables. Ces sables, bien que rubéfiés et cimentés dans un certain degré, présentent la formation de sables et de limons à litage périodique; ils sont plus grossiers et ne sont pas mêlés de limons. Ce n'est donc que l'équivalent de cette formation ou, mieux, son faciès de bordure (voir fig. 5). L'allure de la formation reposant sur la série graveleuse, donc de la formation correspondant aux sables et limons à litage périodique, et ses traits de texture sont les mêmes d'une part dans les excavations 1 et 2 situées dans les parties supérieures des versants et, d'autre part, au-delà des cuvettes.

La formation de sables à litage périodique visible sur la paroi de l'Ouest de la tranchée 1 n'est pas continue de la base jusqu'au sommet de cette paroi. Il n'y a sur les graviers sous-jacents que la couche mince et parfois discontinue de sables stratifiés. Ils sont recouverts en discordance d'une formation nouvelle et assez particulière. Celle-ci qui, par endroits, interrompt les sables s'y emboîtant, est très compliquée quant à la disposition des couches et quant à la texture. Elle se compose de matériaux divers: des particules grossières provenant de la formation basale, des sables et des lambeaux de sol fossile comprenant autant de parties humifères que de couches lessivées. Tous ces matériaux sont fortement perturbés. Il s'agit ici sans doute de dépôts de congéfluxion développés au commencement de la déposition des sables à litage périodique, qui à leur tour apparaissent encore une fois vers le sommet recouvrant la formation de congéfluxion.

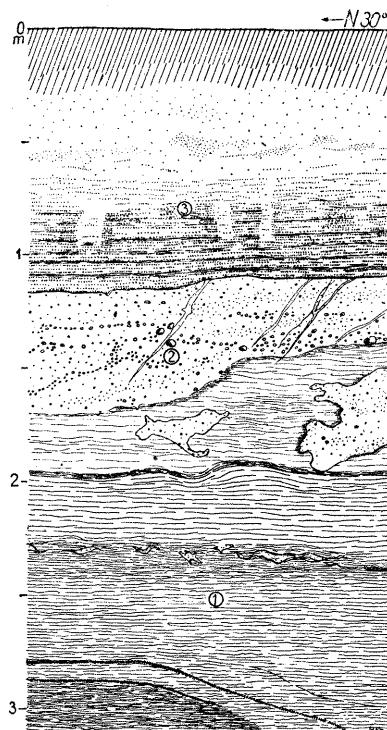


Fig. 5. Paroi sud-est de l'excavation no 2

1. limon tourbeux; 2. sables et graviers de congéfluxion; 3. dépôts de versant à litage périodique

INTERPRETATION MORPHOGENETIQUE

Notre interprétation est limitée aux processus du remplissage périglaciaire des cuvettes, puisque nous nous sommes proposé d'étudier une suite de formations périglaciaires reposant sur les dépôts d'une période plus chaude. Quant à l'origine des formes elle-mêmes et quant à l'âge des formations lacustres, nous en savons malheureusement très peu, les analyses paléobotaniques n'étant pas encore terminées.

En regardant les dépressions fermées, nous sommes tout d'abord portés à croire que les cuvettes ont peut-être été originellement occupées par des lacs glaciaires. Dans ce cas, il faudra trouver dans les formations lacustres la preuve floristique de l'interglaciaire Eemien (Riss—Wurm). D'autre part, si la période plus chaude correspondant aux dépôts lacustres apparaissait postérieure à l'Eemien, l'hypothèse des lacs glaciaires ne serait plus à admettre. Parmi d'autres hypothèses possibles, il ne faut pas exclure celle qui ferait provenir les cuvettes des pingos, mais il s'agirait alors des pingos antérieurs au tardiglaciaire.

En tout cas, étant donné les formations lacustres correspondant à une période plus chaude bien accentuée, les dépôts qui les recouvrent appartiennent à une période froide, soit à une période glaciaire (wurmienne dans ce cas), soit à sa partie, soit enfin à un stade ou plutôt à des stades de cette période. Or les formations supérieures du remplissage des cuvettes offrent une base aux études visant à la reconstitution des processus morphogénétiques, et par conséquent à celle des phases climatiques du déroulement de ces processus, phases pendant lesquelles eut lieu la déposition des formations en question.

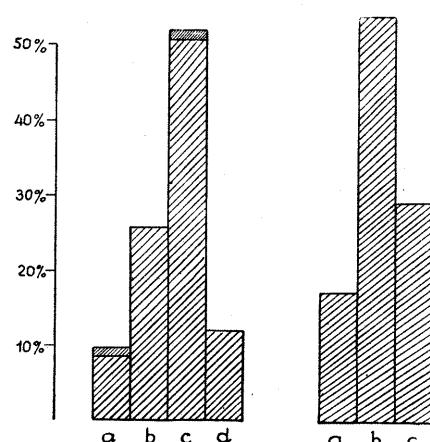


Fig. 6. Morphoscopie des grains dans les dépôts de congélifluxion de l'excavation no 4

a. grains anguleux; b. grains peu émoussés;
c. grains bien émoussés; d. grains ronds;
chachures serrées — grains luisants; chachures moins serrées — grains mats

Examinons d'abord la formation grossière qui recouvre directement les dépôts organiques (fig. 6). Toute sa masse est composée de matériaux fortement éolisés. Les grains de sable sont ronds-mats presque exclusivement (98%). Les particules plus grandes des graviers et même des galets portent, elles aussi, les traces indéniables de l'action du vent. Il n'y manque pas de cailloux façonnés par le vent, et les cailloux à facette n'y sont pas rares. La formation en question nous révèle donc l'existence d'une période de forte activité du vent, antérieure à la déposition de cette formation.

La majorité des fragments qui ont plus de 5 mm de diamètre comprend les particules peu usées (71%), y compris les fragments non-usés (17%), donc des éclats anguleux et relativement frais. A n'en pas douter, il ne s'agit pas là d'un transport par l'eau courante. La granulométrie fournit la preuve analogue (fig. 4). On y voit que le triage n'est que très faible.

Etant donné que les traits de texture sont très distincts, nous considérons la formation reposant sur les dépôts lacustres comme ayant été mise en place par la congéfluxion. Les perturbations des couches de tourbe et celles des limons tourbeux au-dessous de la formation de congéfluxion sont d'origine différente. Il y a des involutions précédant la déposition de congéfluxion, comme dans les couches supérieures de la tourbe dans l'excavation 4, il y a des perturbations qui sont contemporaines de ce processus et même causées par lui, comme dans les tranchées 6 (fig. 7) et 7. Nous pouvons constater, enfin, des involutions postérieures à la congéfluxion qui englobent toute la formation de congéfluxion et même les matériaux de la tourbe sous-jacente qu'on voit monter très haut, presque jusqu'à la surface de la formation graveleuse (fig. 3).

La déposition de la formation grossière de cailloux, de graviers et de sables fut précédée par le processus de gonflement du sol provoqué par le gel. Dans le même temps où se déroulèrent ces processus sur le fond des cuvettes, il y eut plus haut, dans la plaine et sur les collines qui les dominent, une activité du vent très intense et, selon toute probabilité, le soulèvement des pierres dû à l'alternance de gel et de regel.

Ce furent là les premières manifestations de la période froide postérieure, plus chaude, qui a laissé les formations organiques remplissant les parties profondes des cuvettes. Cette période révèle donc à son début les traits d'un climat plutôt sévère et, sans doute, sec. La congéfluxion dont témoigne son dépôt graveleux correlatif indique des conditions climatiques, froides également, mais distinctement plus humides. Une reprise de climat plus rude est encore à déduire de la zone d'involution comprenant toute la série de congéfluxion. On l'observe fort bien dans la tranchée 4.

La formation de congéfluxion est tronquée presque partout et recou-

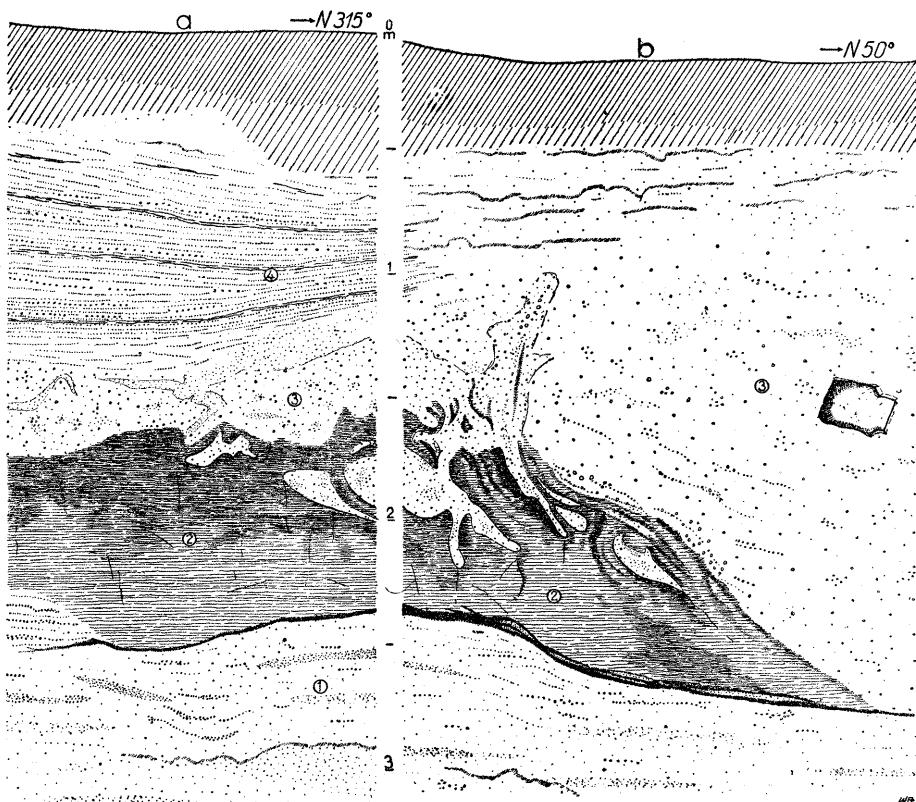


Fig. 7. Excavation no 6, paroi sud-ouest (a) et nord-ouest (b)

1. sable et gravier en trainées; 2. argile gris-brun avec intercalations du sable et des petits cailloux;
 3. sable et gravier fin de congéifluxion; 4. séries des sables, graviers fins et limons à litage périodique

verte de dépôts sus-jacents. Il y a donc une lacune assez importante qui rend plus difficile le déchiffrage de la succession des processus postérieurs à la mise en place de la formation de congélinfluxion et à l'action de cryergie qui l'a suivie. Ce n'est pas seulement une lacune stratigraphique mais, on le voit, également une lacune dans l'histoire morphogénétique et climatique du site étudié.

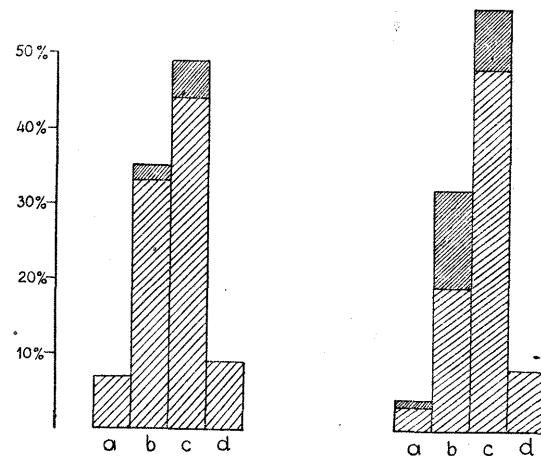
Par chance, cependant, cette lacune n'est pas absolue. Sur les parois de l'excavation 4, le long de la ligne de discordance, nous avons trouvé des fragments minces de détritus végétaux. La tranchée 1 révèle un horizon de sous-sol fortement lessivé qui est situé au sommet du matériel grossier considéré comme la formation de congéligfluxion. Nous pouvons en conclure à l'existence d'un laps de temps pendant lequel les processus

de versant cessèrent et même la formation du sol fut développée. Cette stagnation sur les versants ne peut s'expliquer que par l'intervention de la période plus chaude d'une courte durée interférant dans la période froide de plus longue durée.

Quelle est la signification morphogénétique et climatique des formations qui recouvrent la surface de discordance elle-même couronnée de sol fossile et recouvrant à son tour les dépôts de congélifluxion sous-jacents? Rappelons leurs traits les plus caractéristiques: elles sont composées de matériaux fins et de plus fins; les grains ronds-mats y dominent bien que la quantité de grains luisants y soit plus élevée que dans la formation de congélifluxion (fig. 8); la formation des sables et des limons

Fig. 8. Morphoscopie des particules dans les dépôts du ruissellement à litage périodique, l'excavation no 4

a. grains anguleux; b. grains peu émoussés; c. grains bien émoussés; d. grains ronds; châchures serrées — grains luisants; châchures moins serrées — grains mats



est littée distinctement d'une façon rythmique ou périodique et, enfin, les couches minces de cette formation ne sont pas parfaitement continues: elles ont plutôt la forme de lentilles très étendues (photo 3).

La formation en question est mise en place par l'eau courante, ce dont témoignent la stratification, le triage et la granulométrie (fig. 4). Il ne s'agit, cependant, ni d'un transport lointain ni d'un écoulement torrentiel, puisque les grains ronds-mats y prédominent d'une façon décisive et puisque la stratification croisée y manque totalement et même cède la place à une stratification à couches planes. De plus, le pendage de couches est orienté vers le centre des cuvettes.

Il résulte des traits sédimentologiques présentés que la formation de sable et de limon à litage périodique est déposée par l'eau courante. Mais il ne s'agissait ni d'un transport fluviatile ni d'aucun transport lointain. On n'y voit aucune trace de turbulence, et il n'y a dans ce dépôt que des preuves du déplacement par traction en lame. Nous considérons donc la formation de sable et de limon à litage périodique comme

déposée par ruissellement inorganisé, voire en nappe. Ce processus a été provoqué par l'abondance relative de l'eau provenant soit de la neige fondante, soit du regel superficiel du permafrost, mais en présence d'un sol perpétuellement gelé qui a entravé l'infiltration de l'eau. L'action du ruissellement s'est développée en tout cas dans des conditions climatiques plus humides, bien qu'il ne se soit agi, peut-être, que d'humidité temporaire.

La formation en question implique encore un autre problème, notamment celui de l'éolisation des particules qui la composent. Quand eut lieu la forte action du vent qui se traduit par le grand pourcentage de grains ronds-mats dans la formation de sable et de limon à litage périodique? Il y a, théoriquement, trois périodes à choisir: la période antérieure à la congélifluxion; celle postérieure au sol fossile qui s'est développé sur la formation de congélifluxion mais précédant le processus de ruissellement; et, enfin, la période durant laquelle fut déposée la formation de ruissellement.

Il nous manque pour le moment des preuves sûres pour insister sur une des solutions présentées. Nous nous bornerons à les estimer selon le degré de la probabilité. Dans la première solution, il faut admettre qu'après la phase d'éolisation la congélifluxion a déplacé tous les matériaux superficiels disponibles y compris les particules fines comparables à celles qui composent la formation à litage périodique. Et en vérité, c'est le cas, car on a trouvé dans la formation de congélifluxion les grains ronds-mats de même taille que les éléments essentiels du dépôt lité. Mais ensuite, nous rencontrons des difficultés graves qui nous empêchent d'admettre l'idée que les matériaux de la formation litée proviennent de la première phase d'éolisation. Nous avons constaté qu'un sol se développe sur la surface du dépôt de congélifluxion et par conséquent tout le matériel sous-jacent s'est fossilisé. Il faudrait supposer que, pendant la phase de ruissellement, le sol fossile préexistant ait été détruit, que les matériaux sous-jacents aient été dégagés, qu'ils aient été en assez grande quantité pour permettre la formation d'un dépôt à litage périodique d'une épaisseur plus grande parfois que celle de la formation de congélifluxion, dont cette phase de ruissellement, aux termes de cette première solution, serait issue. Le sol fossile a été évidemment détruit, c'est vrai. Mais ce sont surtout les proportions entre l'épaisseur de la formation prétendue maternelle et celle de la formation supposée secondaire qui nous empêchent de croire que la première phase d'éolisation ait fourni un matériel suffisant pour l'action de ruissellement.

Le dépôt de sable et de limon à litage périodique ressemble beaucoup à la formation dite nivéo-fluviale en Belgique et aux Pays-Bas. Selon R. Tavernier (1948) qui a inventé ce terme, le processus d'éolisation et celui de ruissellement ont été sub-contemporains, c'est-à-dire que les

périodes saisonnières plus rudes et sèches d'une part, et plus humides d'autre part, ont continuellement conditionné l'alternance d'éolisation et de ruissellement pendant une seule période de la formation du dépôt lité. L'opinion de Tavernier correspond à notre troisième hypothèse que nous ne pouvons, cependant, adopter sans éléver des objections qui nous semblent être importantes. Il faut se demander d'abord si une période courte, disons d'un hiver, suffisait à une éolisation tellement forte des grains que nous retrouvons dans la formation en question. Les résultats obtenus par A. Cailleux (1942) nous autorisent plutôt à en douter. Selon cet auteur l'usure par le vent a exigé une période de l'ordre d'une fraction du Quaternaire, donc beaucoup plus que la durée d'une saison. Et, voilà, une autre question: pendant une période favorable au ruissellement a été formée une couche due à ce processus, mais pendant la phase d'éolisation qui a suivi la ruissellement, il faudrait prévoir une action érosive du vent et non pas seulement une action de déposition. En réalité, les traces de l'érosion éolienne dans la formation à litage périodique manquent complètement, puisque on y voit les couches minces de la formation reposer l'une sur l'autre sans aucune interruption et que nous n'y trouvons aucune autre trace d'une érosion ou déflation possible.

Il nous reste à discuter notre deuxième hypothèse, selon laquelle il faut admettre la seconde phase d'une forte action du vent postérieure à la formation du sol fossile et précédant le processus de ruissellement. Cette solution nous semble être la plus probable et la plus logique. Elle est dépourvue des objections auxquelles nous nous sommes heurtés en discutant les autres possibilités. De plus, nous trouvons cette explication plus logique, car selon cette conception la nouvelle période froide succédant au temps de la formation du sol fossile commencerait par une phase d'éolisation comme c'était le cas de la période froide plus ancienne.

Le processus de ruissellement qui a créé la formation à litage périodique n'a pas été le dernier phénomène périglaciaire dont nous retrouvions les traces aujourd'hui dans les parois des excavations à Józefów. Car on y voit, surtout dans les excavations 3 et 4, que des couches de la formation litée sont fortement perturbées. L'activité du gel intense, qui a été responsable de cette perturbation, a dérangé aussi le dépôt de congéfluxion sous-jacent (photo 4).

LES PHASES CLIMATIQUES

Dans la partie consacrée à l'interprétation morphogénétique, nous avons essayé de définir le milieu climatique correspondant à chacun des processus déchiffrés dans toutes les formations étudiées. Reprenons-les

en partant de la première manifestation de la première période froide qui a succédé à la période plus chaude marquée par la couche de tourbe. De cette façon, nous essayons d'établir la succession des phases climatiques du Wurm ou, au moins, d'une partie de cette période au cas où les formations organiques appartiendraient à un interstade.

L'éolisation intense antérieure au processus de congélifluxion et le gonflement de la tourbe par le gel nous font penser que la première phase est froide et sèche. La deuxième phase qui s'est caractérisée par l'activité de congélifluxion a été froide aussi mais plus humide.

Après ces deux phases froides, le climat est devenu plus chaud, ce qui a freiné les processus de versant, permettant d'abord le développement d'une couverture végétale continue et, par conséquent, la formation du sol. Il y a donc les indices d'une période plus chaude qui a interrompu la continuité de la période froide.

Une reprise du froid a de nouveau succédé à cette phase plus chaude. Encore une fois, la reprise des conditions froides est marquée par une phase sèche. Mais la phase suivante n'a pas été la même que celle qui a succédé à la première phase d'éolisation. Cette fois la deuxième phase s'est caractérisée par une humidité plus grande et peut-être même par une température plus élevée, puisque dans la formation à litage périodique nous retrouvons surtout les traces du ruissellement. Il se peut, cependant, qu'il y ait eu aussi une action faible de congélifluxion.

Les formations de couverture reposant sur les dépôts organiques manifestent la période froide wormienne ou sa partie supérieure et ses traits climatiques variables. Nous avons constaté que le climat ne se développait pas d'une façon continue pendant le climat ce laps de temps.

Nous avons établi la succession suivante des phases climatiques: (a) une phase froide et sèche — phase d'éolisation et de cryoturbation; (b) une phase froide et humide — phase de congélifluxion; (c) une phase plus chaude — phase de formation d'une couverture végétale et de pédogénèse; (d) une nouvelle phase froide et sèche — phase d'éolisation; (e) une phase froide et humide, mais, probablement, moins rude que la phase a — phase de ruissellement et de congélifluxion moins intense et limitée — voir les loupes de congélifluxion observées dans l'excavation 1; (f) une phase froide et plutôt sèche — phase de cryoturbation.

Cette succession de phases caractérise le mode de développement du climat pendant une période froide. Le mode de succession de phases établi ci-dessus, et par conséquent notre point de vue sur le développement climatique d'une période froide, diffèrent bien de la plupart des opinions présentées dans des articles et répandues dans des traités.

On voit, d'abord, par notre présentation, qu'il n'est guère possible

de considérer la succession de phases climatiques pendant une période froide comme un phénomène continu. En réalité, nous avons constaté deux séries de phases se succédant l'une à l'autre dans un ordre de succession identique dans chacune de ces séries.

Chacune de deux séries s'ouvre par une phase d'éolisation, donc une phase froide et sèche. Il en résulte très probablement qu'une période froide — ou, si l'on veut, une glaciation — n'a pas commencé par un climat humide et froid, comme c'est l'opinion la plus répandue, mais au contraire, par un climat rude et sec. Nous avons constaté que la phase froide et sèche venait à deux reprises, dans la succession de phases froides en premier lieu à Józefów. Ce n'est pas, cependant, le seul cas, car nous avons souligné une succession analogue à Konin, où nous avons vu les grands blocs éolisés recouverts ou au moins mêlés à la formation de congéfluxion.

Sans vouloir m'engager ici dans une grande discussion sur le mode de succession de phases sèches et humides, je vais seulement montrer la cause possible de la différence entre les résultats que j'ai obtenus et ceux qui sont publiés par d'autres auteurs. Ce sont, selon mon opinion, surtout des différences de méthode. Il n'y a pas eu jusqu'à présent beaucoup de tentatives pour envisager les phases climatiques des périodes froides à partir d'études sédimentologiques détaillées. Nous trouvons des opinions sur la succession de phases climatiques plutôt dans les présentations générales que l'on fait dans la plupart des cas par voie de déduction. Même dans les cas où le procédé prétend être inductif, nous pouvons y retrouver une manière déductive à demi-cachée.

Prenons l'exemple du loess et des couches de congéfluxion sous-jacentes. C'est un procédé devenu classique que d'en déduire la présence d'une phase froide et humide à laquelle succède une phase plus froide et sèche. Mais dans ce cas on a l'habitude de considérer un dépôt de loess comme une formation bien définie du point de vue de la sédimentologie. On considère d'avance une formation de loess comme directement due à l'accumulation éolienne. N'est-ce pas là une déduction, et même, parfois, une déduction fausse, étant donné qu'il existe sans doute, des formations de loess déposées surtout par les processus simultanés de ruissellement et de congéfluxion ?

On parle fréquemment de la présence d'une couche de congéfluxion à la base du loess. Mais il y a une quantité d'endroits où on a trouvé des cailloux façonnés par le vent en-dessous des formations de loess. Quel est le rapport entre des couches de congéfluxion et des éologliptolithes ? N'est-il pas le même que celui que nous avons présenté à Józefów ? Peut-être que sur les régions de loess a eu lieu la même succession de phases : d'éolisation ; de congéfluxion, celle-ci ayant englobé des cailloux façonnés

par le vent; et enfin de ruissellement mêlé d'une faible congélifluxion pendant laquelle le loess fut redéposé.

J. T. Hack (1953), en discutant l'hypothèse de J. Büdel (1949), a posé des objections méthodologiques du même genre que je viens d'indiquer toute à l'heure. Ce sont surtout le problème d'uniformité prétendue du développement d'une période froide et la question du rôle du loess comme indicateur du climat qui ont attiré l'attention de l'auteur américain.

Nous considérons notre travail comme une tentative visant à une stratigraphie mieux ordonnée des formations périglaciaires et cherchant à établir une succession de phases climatiques dans une période froide, basée aussi bien que possible sur des faits certains. C'est la tentative visant une généralisation dépourvue des idées „bien connues d'avance” et construite en voie d'induction aussi pleine que possible.

Bibliographie

- Büdel, J. 1949 — Die räumliche und zeitliche Gliederung des Eiszeitklimas. *Die Naturwissenschaften*, 49.
- Cailleux, A. 1942 — Les actions éoliennes périglaciaires en Europe. *Mém. Soc. Géol. France*, N. Sér., t. 21, mém. 46.
- Dylik, J. 1960 — Sur le système triparti de la stratigraphie du Pléistocène dans les pays d'accumulation glaciaire. *Bulletyn Peryglacjalny*, nr 9.
- Edelman, C. H., Maarleveld, G. C. 1958 — Pleistozän-geologische Ergebnisse der Bodenkartierung in den Niederlanden. *Geol. Jhb.*, Bd. 73.
- Hack, J. T. 1953 — Geologic evidence of late Pleistocene climates. En: Harlow Shapley — Climatic change. Cambridge.
- Tavernier, R. 1948 — Les formations quaternaires de la Belgique en rapport avec l'évolution morphologique du pays. *Bull. Soc. Belge Géol.*, vol. 57.
- Tavernier, R. 1954 — Le Quaternaire. En: Prodrome d'une description géologique de la Belgique. Liège.



Photo 1. Józefów, excavation no 4. Tourbe, plus haut la zone de congélifluxion et les dépôts de versant à litage périodique



Photo 2: Józefów, excavation no 4



Photo 3. Józefów, excavation no 7. Dépôts de pente à litage périodique



Photo 4. Józefów, excavation no 3. Limons tourbeux (en bas), dépôts de congéliglu-
xion et dépôts à litage périodique résiduellement perturbés