

*T. D. Boyarskaya, N. G. Sudakova **

Moscou

PÉRIODES FROIDES DU PLÉISTOCÈNE DE LA SIBÉRIE ORIENTALE

(sur l'exemple du profil géologique de Mamontova Gora)

Un des profils géologiques les plus intéressants et complets d'ensemble des dépôts du Néogène et du Quaternaire, en Sibérie Orientale, est la coupe de la Mamontova Gora (Mont de Mammouth) située à la rive gauche du bas Aldan.

Mamontova Gora est située à l'intérieur de la dépression d'Aldan, une jeune structure tectonique faisant partie de la dépression tectonique de bordure des Montagnes de Verkhoïansk. La puissance considérable des dépôts néogènes ainsi que leurs caractères litho-faciales témoignent d'un mouvement de dépression continu et de caractère lacustre de la sédimentation.

Le changement du régime tectonique a provoqué une transformation des conditions paléogéographiques — l'implantation du régime fluvial, refroidissement du climat, extinction de la végétation thermophile etc.

Le long de la vallée de la rivière Aldan, sur quelques 10—12 km il y a quelques niveaux de terrasses bien nets (fig. 1) aux hauteurs de: 80—90 m (V^e terrasse), 50 m (IV^e terrasse), 30 m (III^e terrasse), 20 m (II^e terrasse), 6—9 m (I^e terrasse) et 2—4 m (terrasse d'inondation).

La structure et la lithologie des terrasses sont mises à jour dans de belles coupes naturelles permettant d'examiner l'ensemble de la série alluviale (à l'exception du cas d'encaissement de la vallée au-dessous du niveau actuel de la II^e terrasse et partiellement de la I^{re}) et y prélever des échantillons.

A la base des alluvions des terrasses IV et III il y a des séries de galets de 1 à 10 m d'épaisseur. Par rapport à la terrasse IV, plus ancienne, les séries de galets de la troisième terrasse sont enrichies en des débris de roches sédimentaires résistantes d'origine locale et, en revanche, contiennent moins d'autres composants, des roches communes. L'indice

* Chaire de Pédologie Générale et de Paléogéographie, Université de Moscou.

d'émoussé y est relativement plus bas. Les galets sont recouverts de sables fluviaux à la stratification entrecroisée. Les pendages y sont de 18 à 22° en moyenne. Les séries fluviales déposées dans le lit de la rivière passent, en coupe, en celles d'eaux de crue et, par endroits, en des séries de bras-morts de méandres en forme de sables, sablons et limons à la stratification soit horizontale, soit faiblement entrecroisée.

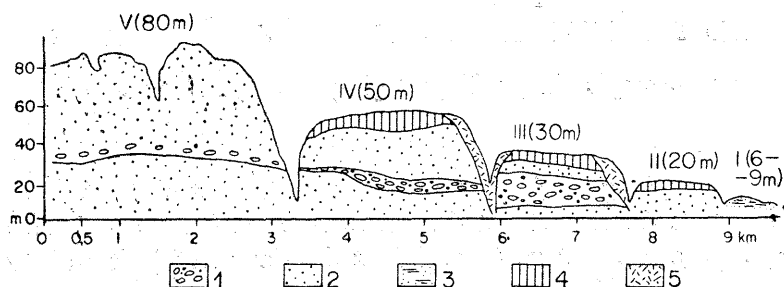


Fig. 1. Coupe de base de Mamontova Gora (schéma)

Les alluvions de la deuxième terrasse forment une série homogène (dans toute la partie visible en coupe) de sables à grain divers.

Les dépôts des terrasses de 50, 30 et 20 m sont couronnés par une série de limons gris-paille, parfois à la stratification horizontale et avec de petites alternances de débris. La puissance de ces limons de couverture, couronnant chacune de ces terrasses, est de 6 à 12 m.

L'existence du pergélisol dans toute la vallée détermine l'action particulière des processus de versant. La surface des terrasses est inégale et parsemée de buttes de gonflement. A la distance de 10—12 m de la limite de ces terrasses le sol limoneux est fissuré par de nombreuses fentes et affaissements du sol. Le dégel crée des conditions très favorables au mouvement en masse des blocs et à un rapide recul des versants (1—1,5 m par an). Le processus mène à la mise à nu continue de la surface des limons dans la partie supérieure des terrasses. En outre, en bas du versant, dans la partie accumulative (éboulis et solifluxion) s'accumule le matériel meuble remanié. Cela cause des difficultés au cours de l'étude de la partie inférieure des couches *in situ* (fig. 2).

Passons maintenant en revue les données paléogéographiques tirées de l'analyse des dépôts quaternaires des trois terrasses (50, 30 et 20 m) à Mamontova Gora. Avant d'y procéder arrêtons-nous sur les questions de méthode de cette analyse.

Le caractère particulier des alluvions nous force à étudier, au cours de l'analyse de leur composition, les différences en répartition des mi-

néraux tant en coupe verticale qu'au plan horizontal. En agissant ainsi nous tenons compte du principe de continuité. Il consiste en reconnaissance des changements qualitatifs (changements de nature des minéraux sous influence des actions géographiques extérieures) et quantitatifs d'une association minérale.

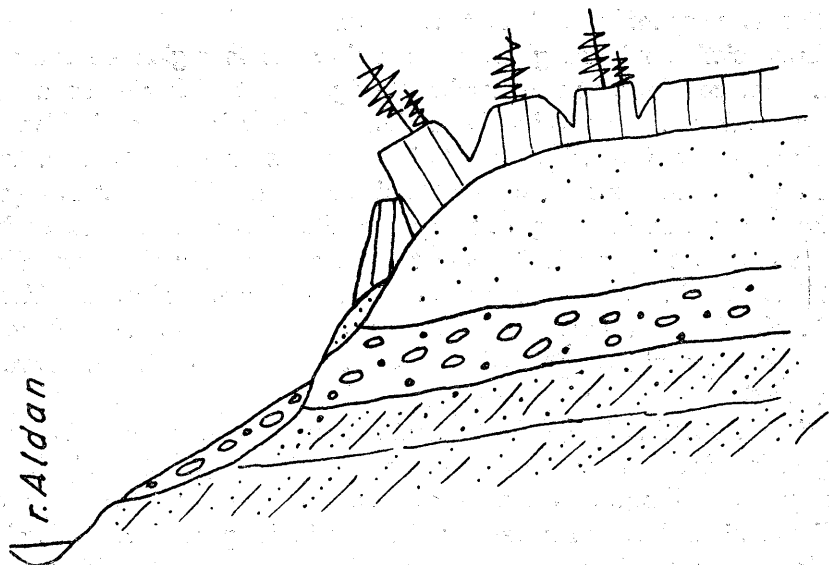


Fig. 2. Le caractère des versants de la IV^e terrasse (50 m) d'Aldan

Le degré de continuité d'une association de minéraux est exprimé sous forme des indices numériques. L'indice de continuité, ou plutôt de stabilité (*IS*) est un rapport du nombre de grains de minéraux résistants au nombre de minéraux fragiles et instables. Les indices *IS* ont été calculés pour les fractions lourdes extraites de la classe granulométrique 0,25—0,1 mm. Dans les sables fluviatiles provenant aussi bien de la plaine que des régions montagneuses c'est cette fraction granulométrique justement qui se caractérise par la plus grande richesse en espèces minérales et dont le contenu en minéraux lourds est le plus élevé.

Les indices de stabilité peu élevés (0,1—0,5) et relativement peu de minéraux à des transformations secondaires révèlent une bonne conservation des minéraux et une faible altération. Les bas indices sont caractéristiques pour les associations récentes provenant des régions sèches et des pays au pergélisol largement développé. Au contraire, les indices de stabilité élevés (0,6—1,0 et plus) et les gros pourcentages de minéraux à des transformations secondaires et altérés caractérisent les cortè-

ges provenant des régions plus chaudes et humides et témoignent d'une altération intense des minéraux.

Le rendement de l'étude de la composition des alluvions grandit considérablement si on examine aussi les minéraux argilleux (au-dessous de 1μ) et les minéraux de néoformation. On obtient ainsi la possibilité d'une comparaison plus précise de divers dépôts. En plus, les limites de l'étude comparative s'écartent nettement.

L'association minéralogique des alluvions de la région de Mamontova Gora, représentant une province terrigène, a été élaborée par la suite des remaniements successifs des roches sédimentaires. Aussi bien les minéraux des roches acides que basiques y sont présents. Dans la fraction lourde, dans toute la coupe, dominent les amphiboles et les pyroxènes. Il y a moins de grenat et d'ilménite. Les minéraux accessoires y sont représentés par sphène, épidote, apatite, zircon, rutile, tourmaline, disthène et spinelle. Ils sont présents dans la coupe entière. La biotite et la chlorite sont caractéristiques surtout pour les jeunes sédiments des deux premières terrasses s'élevant au-dessus de la terrasse d'inondation.

Si l'on examine la composition minéralogique dans une seule coupe perpendiculaire à la vallée, comme nous le faisons, on est pratiquement sûr que les différences observées ne sont pas dues aux diverses sources d'alimentation. Les différentes provinces minéralogiques ne se feraient sentir que sur des distances plus longues le long de la vallée. C'est pourquoi les variations de la composition minéralogique observées par nous en coupe n'expriment que les changements du milieu climatique au cours du Quaternaire.

A force de remaniements importants et des mélanges au lit de la rivière la composition minéralogique de chaque terrasse exprime un régime d'altération régnant dans toute la région au cours d'une période donnée. Et ainsi, les conditions naturelles extrêmement rudes ont influencé la minéralogie des dépôts actuels. Le climat ultra-continentale à un hiver très long et sévère (température moyenne du janvier à Iakoutsk -43°C) et à un été court (température moyenne du juillet $+19^{\circ}\text{C}$), au milieu à pergélisol, favorise une désintégration mécanique intense et le développement général du mouvement en masse des formations meubles aux versants. Un triage faible des minéraux selon l'échelle de stabilité nous explique pourquoi les minéraux fragiles, tels que les pyroxènes et amphiboles, l'apatite etc., y sont si bien conservés. Mais de tels minéraux comme la biotite, l'hypersthène et certaines amphiboles subissent quand même un certain changement de leur aspect. Les grains de biotite se décolorent aux arêtes et les plus fragiles parmi les pyroxènes

se couvrent de très nombreuses fissures, dans lesquelles pénètrent des composés de fer. Parmi les minéraux argileux de jeunes alluvions prédominent les micas, les formes izométriques des hydromicas et, plus rarement, la montmorillonite.

Afin que l'interprétation des spectres sporo-polliniques fossiles soit aussi précise que possible, on a étudié les spectres actuels provenant des alluvions du bassin d'Aldan en les comparant à la végétation actuelle de la région.

La végétation de la vallée du bas Aldan et des interfluvés voisins appartient à la zone des forêts à conifères clairs. C'est *Larix dahurica* qui est l'essence dominante de ces forêts. En plus il y est un peu de *Pinus silvestris*. Les surfaces plus restreintes sont occupées par des arbres à feuilles minces, surtout par *Betula* (aussi bien des formes arborescentes que naines); dans les vallées des affluents on rencontre des étendues des forêts à conifères foncés — surtout *Picea*.

Une riche histoire de la couverture végétale et les conditions lithologiques et climatiques particulières ont mené au développement du complexe floristique actuel tel qu'il réunit de divers éléments écologiques — non seulement ceux de la taïga—forêt mais aussi des éléments arctiques de toundra et steppiques. Malgré une certaine richesse d'éléments floristiques, les spectres sporo-polliniques des alluvions récentes donnent une image moyenne, caractéristique pour la végétation de la région entière. Le spectre sporo-pollinique moyen reflète un type zonal de la couverture végétale — la prédominance des pollens arborescents, des conifères clairs (surtout *Pinus*). Une rapide destruction des pellicules des pollens de *Larix* cause des imprécisions en résultats quantitatifs et, par conséquent, en évaluation du rôle joué par cet arbre dans l'ensemble végétal. Le fait doit être pris en considération pendant l'interprétation des résultats des analyses polliniques des dépôts quaternaires.

Le principe de l'interprétation consiste dans l'étude comparative des spectres sporo-polliniques fossiles et actuels et dans l'évaluation, ensuite, des différences entre eux. Si l'élargissement des forêts, l'implantation des conifères clairs ou, dans d'autres lieux, des essences à feuilles larges indiquent les conditions climatiques plus douces que celles actuelles, le recul de la forêt, l'agrandissement des clairières dans la taïga actuelle etc. témoignent d'une aggravation du climat. C'est la détermination des espèces-indicateurs climatiques „froids” et „chauds” parmi les pollens et spores (c'est-à-dire des plantes à une amplitude écologique déterminée) qui joue le rôle essentiel dans la reconstruction des conditions climatiques du passé.

Aucune pourtant méthode d'étude des dépôts quaternaires employée

en isolation ne peut nous donner l'idée entière et complète sur l'histoire de leur formation. Ce n'est qu'un ensemble d'études diverses des dépôts aidées par les analogies géographiques et historiques concernant la composition réelle des formations meubles, par les types des spectres sporo-polliniques etc. qui nous permet de réaliser une reconstruction complète du milieu génétique des minéraux, de l'accumulation des sédiments, de l'évolution de la couverture végétale et du climat du Pléistocène.

Dans cette note nous nous limitons à présenter avant tout les données paléogéographiques concernant les périodes froides qui sont fixés dans: (a) la série de sables, moyenne et superficielle, de la terrasse de 50 m, (b) les alluvions de la terrasse de 20 m, (c) les limons de couverture tapissant la surface des terrasses de 20, de 30 m et de 50 m.

Pendant la période d'accumulation de ces dépôts l'activité des processus d'altération faiblit. On en déduit à la base des analyses minéralogiques tant qualitatives que quantitatives. La meilleure conservation des minéraux au cours de ces épisodes contraste avec une forte altération et la destruction des minéraux au cours de l'accumulation de galets de la terrasse de 50 m et de la couche inférieure d'alluvions de la terrasse de 30 m. L'intensité de l'altération s'exprime par les plus hautes valeurs des indices de stabilité (au-dessus de 2), par l'augmentation du nombre de grains à des transformations secondaires, par la déposition du fer aux grains détritiques de grenat, d'amphiboles et pyroxènes (fig. 3) et enfin par une addition considérable de kaolinite aux minéraux argileux.

Les spectres sporo-polliniques provenant de la partie inférieure des dépôts de terrasse de 50 m contiennent beaucoup de pollens arborescents, surtout ceux de conifères — des essences diverses de *Pinus*, *Picea*, *Abies* et *Tsuga*. Il est donc probable que la période d'accumulation de ces dépôts, au bassin d'Aldan, a été une époque de forêts à conifères avec un peu d'arbres à feuilles, parmi lesquels il y avait quelques essences à feuilles larges. La période d'accumulation de galets de la terrasse de 30 m était un épisode de forêts à pin et bouleau auxquels s'ajoutaient les essences naines de bouleau et d'aulne. Les deux épisodes d'accumulation décrits (couches inférieures des terrasses de 50 et 30 m) représentent donc un climat chaud et relativement humide.

Quels caractères des associations minéralogiques et des spectres sporo-polliniques représentent les périodes froides?

Dans les spectres minéralogiques provenant des sables de la terrasse de 50 m on observe une nette augmentation de la quantité de minéraux instables, succombant facilement à des actions chimiques, comme, par exemple, l'hypersthène (jusqu'à 9%), d'autres pyroxènes et amphiboles (jusqu'à 60%). C'est ce qui rabaisse la valeur de l'indice de stabilité

(0,39). On observe aussi des échanges qualitatifs des minéraux dans les associations minéralogiques et des changements de la composition pétrographique des galets. Si, auparavant, c'étaient des minéraux stables, le grenat et l'ilménite, qui prédominaient dans les spectres, leur quantité tombe maintenant à 4% (ilménite) et à 19% (grenat). Avec l'apport du matériel frais diminuent aussi les pour cents de grains altérés. La surface des grains, même des plus fragiles (hypersthène, hornblende et autres) ne porte pas de marques de changement visibles. Parmi les galets ce sont les roches „molles”, sédimentaires des Monts de Verkhoïansk, qui commencent à jouer le rôle considérable.

Il nous paraît vraisemblable qu'un tel renouvellement de la composition minéralogique et pétrographique, consistant dans l'apport des minéraux et roches frais et fragiles, se produisait sous des conditions d'une aggravation et d'un refroidissement distinct du climat. Il en témoignent les résultats de l'analyse sporo-pollinique faite sur les échantillons provenant de la partie moyenne de la terrasse de 50 m. On observe plus de pollens de graminées, ce qui se passe aux dépens des essences arborescentes. Au passage des spectres forestiers aux non-forestiers ce sont les pollens des arbres à feuilles larges, avec *Tsuga* et *Picea*, qui disparaissent les premiers. Ensuite ce sont les pins et les essences à feuilles minces. A leur place viennent les pollens des essences naines de *Betula* et d'*Alnus*. Au sommet des dépôts prédominent les herbacées, en premier lieu *Artemisia* et diverses herbes, témoignant du caractère nettement steppique de la région. On peut donc constater, qu'au fur et à mesure que le climat devenait de plus en plus froid et continental, la couverture végétale y répondait par le changement du type des forêts et le passage de types plus exigeants, par moyens, à moins exigeants. Le processus menait donc vers la création des paysages de forêt—toundra et de steppe (toundra—steppe?).

L'accumulation de la partie supérieure des alluvions de la terrasse de 30 m représente un épisode où l'intensité de l'altération diminue nettement. Dans la fraction lourde il y a le plus d'amphiboles et de pyroxènes (45—50%). L'instable hypersthène n'atteint que 3%. Le contenu de ces minéraux fragiles est ici quand même un peu plus faible qu'aux sables de la terrasse de 50 m. L'indice de stabilité montrant l'intensité de l'altération, ne dépasse pas 0,95 en moyenne.

La végétation de cet épisode d'accumulation est caractérisée par un développement considérable des associations herbacées, plus faible pourtant qu'en période froide précédente.

Le complexe alluvial de la terrasse de 20 m a enregistré un nouveau refroidissement. L'intensité de l'altération continue de faiblir. L'aspect frais des minéraux, les indices de stabilité extrêmement bas (0,46 en moyen-

ne), le contenu minime en minéral tellement résistant que l'ilménite (1—3%) et, par contre, relativement beaucoup de fragiles amphiboles et pyroxènes (65%), d'épidote (2—3%) et de biotite (4%), tout cela témoigne de l'arrêt des processus d'altération et d'authigénèse.

Les échantillons représentant les dépôts de la deuxième terrasse contiennent beaucoup plus de pollens de graminées et moins de ceux d'essences arborescentes que les couches superficielles des alluvions récentes d'Aldan. Dans les spectres provenant de la deuxième terrasse prédominent *Betula nana* et *Alnus fruticosa*. On y trouve aussi de rares pollens de *Larix*. Parmi les végétaux herbacés, à côté de diverses herbes, il y a beaucoup d'*Ericaceae*, ce qui distingue nettement cet horizon de tous les autres. Parmi les spores il y a surtout des mousses vertes et des essences froides de *Lycopodiaceae*. Entre autres on y rencontre le *Lycopodium* sibérien.

A la période de déposition des alluvions de la deuxième terrasse la région a été couverte d'une forêt—toundra — une forêt clairsemée aux arbres feuillus, surtout des essences naines de *Betula* et *Alnus*.

Avec un soin spécial ont été étudiés les dépôts de couverture ressemblant aux loess et couronnant les hauts niveaux de terrasses. C'est l'époque de déposition de ces dépôts de couverture qui offrait les meilleures conditions pour la conservation des minéraux. On peut en juger d'après l'indice de stabilité qui y tombe à 0,4 (la variabilité de l'indice S_v y étant minimale — 0,05). Ce qui est caractéristique ici c'est un très haut contenu en amphiboles et pyroxènes (60—65%), hypersthène (6%), apatite (3%), biotite et chlorite (5%). Comme la règle veut, la surface des grains détritiques est très peu changée. En plus, on y observe des grains authigènes de carbonates. Tous ces faits nous permettent de penser que le milieu d'altération a été fort proche de milieu périglaciaire.

Au contraire de vrais loess présents plus au Sud les dépôts de couverture de Mamontova Gora contiennent des quantités considérables de spores et de pollens. Le trait caractéristique des spectres sporo-polliniques est la prédominance absolue des végétaux herbacés. On y rencontre des pollens de plusieurs essences herbacées difficiles à identifier et ceux d'*Artemisia* et de *Chenopodiaceae*. Les séries de base des dépôts de couverture contiennent un peu de pollens de *Betula nana* et quelques spores des mousses vertes.

La végétation de la période de déposition des limons ressemblant aux loess, à Mamontova Gora, est caractérisée par de vastes surfaces découvertes — des steppes à graminées et absinthes (toundra—steppe?).

Le climat de l'époque n'était pas favorable aux végétaux ligneux étant extrêmement dur et sec. Selon toute probabilité les limons ressemblant aux loess ont été déposés dans la zone périglaciaire typique. Pourtant, nous ne

disposons pas de faits qui pourraient prouver le synchronisme des périodes froides de la Sibérie Orientale avec les glaciations pléistocènes. De faibles précipitations atmosphériques n'ont pu causer la création de glaciers. C'est pourquoi il est mieux de ne parler ici que d'une séquence de périodes chaudes et froides. Les périodes chaudes ont été, d'habitude, accompagnées par l'augmentation de l'humidité, tandis que froides ont été plus secs.

Tenant compte du fait du large développement du pergélisol dans la vallée d'Aldan, de longévité du pergélisol, de la présence des sols structuraux à la surface des terrasses et, enfin, de la composition minéralogique des limons de couverture ressemblant fortement à la minéralogie de leur substrat nous croyons que les dépôts de couverture sont d'origine cryogène.

Les résultats de notre analyse paléogéographique indiquent qu'au Pléistocène, dans la région de Mamontova Gora, il y a eu au moins deux périodes froides importantes — qui ont, en principe, fait disparaître complètement la forêt (fig. 3).

Traduction de T. Kubiak

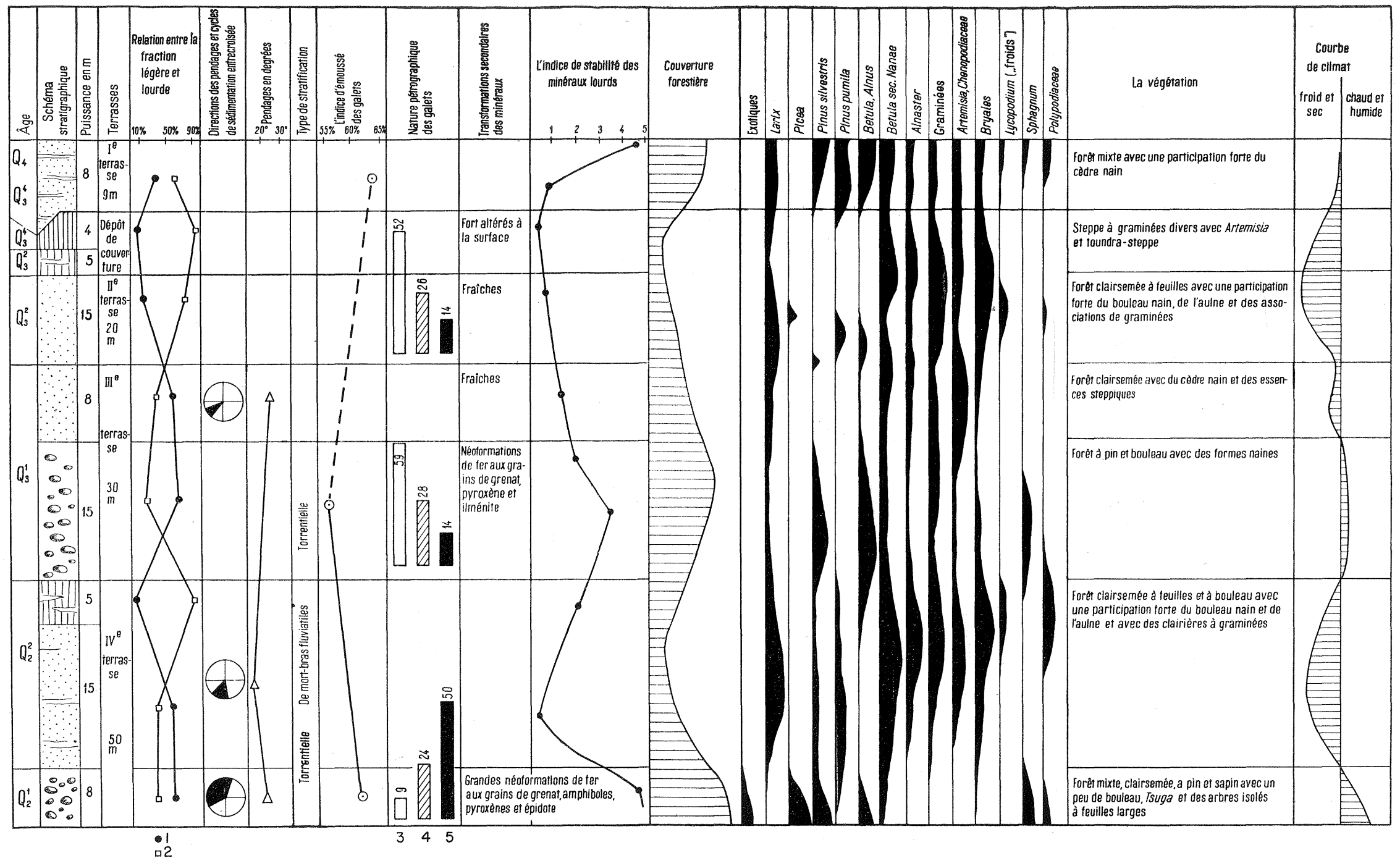


Fig. 3. Schéma de paléogéographie des dépôts quaternaires de Mamontova Gora