

L'origine des viviers des Hautes Fagnes : traces de pingos ou de paises ?

A. PISSART*, B. BASTIN** et E. JUVIGNÉ*

RESUME

Des données nouvelles permettent actuellement de mieux poser le problème de l'origine des viviers des Hautes Fagnes. Des progrès ont en effet été réalisés, tant dans l'étude des buttes périglaciaires actuelles de l'arctique, que dans l'étude des formes fossiles signalées dans le monde.

En outre, sur le plateau des Hautes Fagnes, des résultats importants ont été obtenus à la suite de la réalisation, en 1971, de forages dans la Brackvenn et sur la crête de Malchamps, et par l'étude d'une coupe dégagée, en 1973, au travers du rempart d'un vivier.

De l'ensemble des données actuellement disponibles, on peut conclure que les viviers sont les traces de buttes périglaciaires, apparues par croissance dans le sol de glace de ségrégation, dans une région de pergélisol discontinu. La butte qui a donné naissance au « vivier » dont le rempart a été étudié, est apparue après l'interstade d'Arcy-Stillfried B (± 30.000 ans B.P.) ; la fusion de certaines buttes, et donc l'apparition de certains viviers, a pu se produire dès avant l'oscillation d'Alleröd (± 11.000 B.P.).

* Laboratoire de Géographie Physique de l'Université de Liège, Place du XX Août, 7, 4000 Liège.

** Laboratoire de Palynologie et de Phytosociologie de l'Université de Louvain, Place Croix du Sud, 4, 1348 Louvain-la-Neuve.

Il n'est pas certain que le nom de « pingo » puisse être conservé pour dénommer les buttes périglaciaires qui ont donné naissance aux viviers.

INTRODUCTION

En 1956, A. PISSART a exprimé l'opinion que les viviers des Hautes Fagnes étaient probablement des traces de pingos, c'est-à-dire des traces de buttes qui seraient apparues sous climat très froid, par croissance de masses de glace dans le sol. Après quelques années, cette hypothèse a été très généralement admise, aucune autre explication n'étant susceptible de rendre compte de ces formes.

L'explication périglaciaire proposée rencontrait cependant des difficultés : la principale consistait en ce que des champs de pingos comparables en nombre et en densité aux champs de viviers ne sont pas connus dans les régions froides actuelles. Par ailleurs, l'injection d'eau sous pression dans les couches superficielles gelées s'expliquait très difficilement dans les conditions topographiques et géologiques du plateau des Hautes Fagnes. En 1965, A. PISSART a souligné ces difficultés et émis l'hypothèse qu'il y avait sans doute à faible profondeur, dans la zone où existent les viviers, des couches de sable qui auraient permis à des phénomènes d'injection de se produire. Depuis lors, il a cherché le moyen de vérifier cette hypothèse et, en 1971, il a obtenu du Service Géologique que soient effectués quatre sondages pour mieux connaître la géologie des endroits où se localisent les viviers. Par ailleurs, les auteurs de cet article ont fait dégager en 1973, grâce à un subside du F.N.R.S., une coupe à travers un rempart de pingo dans la Brackvenn. Les résultats obtenus par ces études, ainsi que les données nouvelles parues dans la littérature des dernières années, ont permis de préciser les conditions d'apparition des viviers des Hautes Fagnes, dont l'ancienneté a été reconnue depuis longtemps.

Age absolu x 1000	Epoques		Paleoclimats
	Ages	Sous-âges	
2	HOLOCENE	Post-glaciaire	Tempéré Temperature maximum
1			
0		Sub Atlantique	
1		Sub Boreal	
2		Atlantique	
3		Boreal	
4		Pre Boreal (Plotting)	
5		Dryas III	
6	Tardiglaciaire	Allerod	Tempere froid
7		Dryas II	Subarctique
8		Bolling	Tempere froid
9		Dryas I	Subarctique
10	OCENE	Lascaux	Tempere froid
11		Laugerie	
12		Vistule S	
13	PLEISTOCENE	Sothled	Tempere froid
14		Arcy	

Tableau I

En effet, bien avant que ne soit établie l'origine périglaciaire des viviers, les palynologues se sont attachés à dater les couches de remplissage de ces dépressions, dans lesquelles on n'a vu pendant longtemps que le résultat d'une action anthropique. Les premiers résultats obtenus par F. FLORSCHÜTZ (1937) au Vivier Fagnoul lui permirent de conclure d'une part que dans ce vivier les plus anciens sédiments qui pouvaient être datés par la palynologie remontaient au Dryas récent, d'autre part que le colmatage de ce vivier s'était poursuivi jusqu'à une période très récente du Subatlantique. A dater de 1937, et pendant 35 ans, toutes les études palynologiques effectuées en vue de dater le colmatage des viviers aboutiront à des résultats similaires, les sédiments les plus anciens datés par la palynologie ne remontant pas à une période antérieure au Dryas récent, que ce soit au Vivier Frédéricq (R. et M. BOUILLENNE et coll., 1937 ; M. BOUILLENNE-WALRAND et F. DARIMONT, 1939), au Vivier Fagnoul (F. FLORSCHÜTZ et E.L. VAN OYE, 1938, 1939), à Belle-Croix (T. VAN DER HAMMEN, 1953), à Botrange (R. T. SLOTBOOM, 1963) ou à Massehottée au Plateau des Tailles (W. MULLENDERS et F. HAESSENDONCK, 1963 ; W. MULLENDERS et F. GULLENTOPS, 1969).

En 1972 cependant, l'étude des couches de remplissage d'une trace de pingo de la Brackvenn a permis à G. WOILLARD (in A. PISSART et coll., 1972) de mettre en évidence l'oscillation d'Alleröd. Tout récemment, enfin, G. WOILLARD (1974) a obtenu dans des sédiments de remplissage d'une trace de pingo de la Konnerzvenn des diagrammes polliniques débutant au Dryas ancien, ce qui, dans le cas de ce pingo, faisait reculer d'au moins 3.000 ans l'âge précédemment admis pour les sédiments de base des couches de remplissage des traces de pingos des Hautes-Fagnes.

Nous intéressant plus particulièrement au problème de l'origine des viviers, nous présenterons successivement dans

cet article l'état des connaissances concernant les buttes périglaciaires actuelles et les formes semblables aux viviers décrites dans le monde. Nous exposerons ensuite les données recueillies grâce aux sondages effectués sur le Haut Plateau, les résultats de l'étude de la coupe réalisée dans le rempart d'un vivier de la Brackvenn, puis les conclusions précisant brièvement comment on peut penser aujourd'hui que sont apparus les viviers des Hautes Fagnes.

1. Etat des connaissances en ce qui concerne les pingos actuels.

En 1965, il était généralement admis que deux mécanismes distincts donnaient naissance aux pingos : nous les rappellerons très brièvement.

Les pingos nés en « système fermé » et dénommés pingos du « type Mackenzie » apparaissent suite à la congélation du fond de lacs qui viennent d'être asséchés ou colmatés par des dépôts (figures 1 et 2). Sous les lacs assez profonds, en effet, même dans les régions les plus froides, les sédiments ne sont pas gelés. Au moment de la congélation de ces sédiments, ils sont entourés de toute part par des formations qui sont prises par le gel ; il se produit alors un phénomène similaire à ce qui arrive lors du gel d'une masse d'eau dans un récipient fermé. La dilatation qui accompagne la transformation d'eau en glace met sous pression les sédiments non gelés et détermine l'injection d'eau vers la surface. Le plus souvent cette eau n'arrive pas à la surface mais gèle à faible profondeur dans le sol en soulevant quelques mètres de sédiments et en constituant une butte que les esquimaux de l'Amérique du Nord dénomment pingo. Ce mécanisme exige donc la présence d'un sol gelé profond et permanent qui correspond à un climat très rigoureux. La température moyenne annuelle des régions nord-américaines où ce type de forme apparaît est, selon G.W. HOLMES,

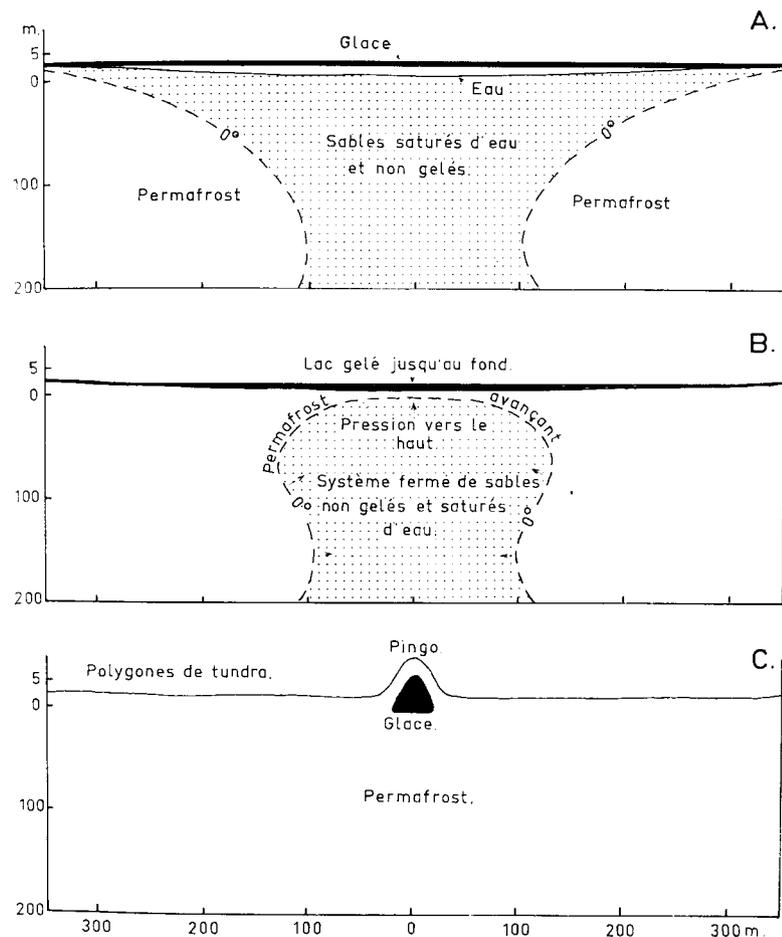


Figure 1. — Genèse d'un pingo en système fermé : type Mackenzie. (Extrait de J.R. MACKAY, 1962, p. 53).



Figure 2. — Un pingo du delta du Mackenzie à proximité du Tuktoyaktuk (photo A. PISSART).

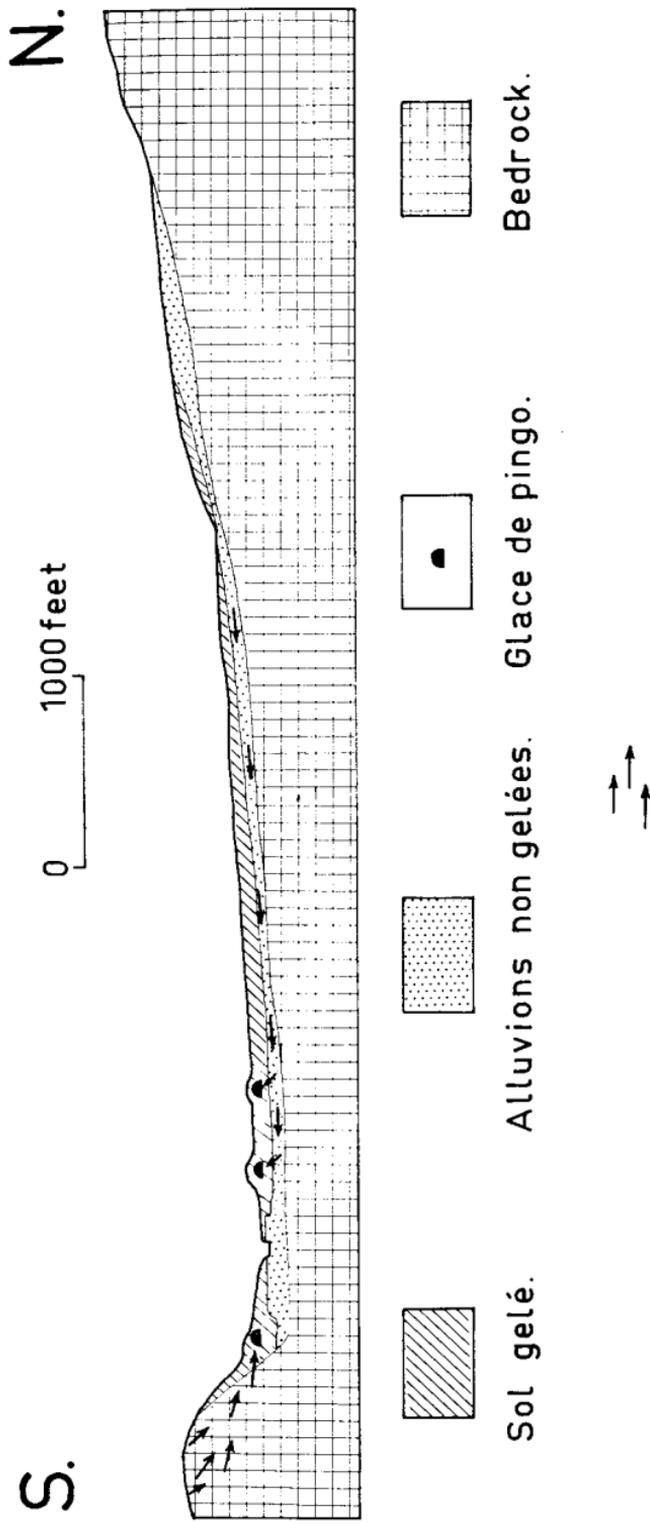


Figure 3. — Genèse de pingos en système ouvert : type Groenland.
(Extrait de Holmes, Hopkins et Foster, 1963).

D.M. HOPKINS et H.L. FOSTER (1963, 1968) comprise entre -11° et $-5,5^{\circ}$ C.

Le second type de pingo se forme en « système ouvert ». De beaux exemples en ont été donnés au Groenland par F. MULLER (1959), aussi le nom de cette région leur est actuellement attaché (fig. 3). La mise sous pression de l'eau qui est injectée vers la surface est réalisée par un système artésien dont la mise en charge est réalisée par la différence d'altitude d'une nappe d'eau souterraine localisée sous ou dans le pergélisol. Pour les pingos de ce type décrits au centre de l'Alaska, la circulation s'effectue entre un pergélisol peu épais et un bed-rock imperméable. D'après G. W. HOLMES, D.M. HOPKINS et H.L. FOSTER (1963, 1968), les températures moyennes de l'intérieur de l'Alaska, où ils observent des formes nées de cette manière, varient de $-5,5^{\circ}$ à $-2,2^{\circ}$ C.

Comme l'a montré A. PISSART en 1965, les formes dont on retrouve les traces sur le plateau des Hautes-Fagnes ne peuvent appartenir à aucun des deux types que nous venons de mentionner. Le premier mécanisme (système fermé) peut être écarté parce qu'aucun lac n'a jamais existé au Quaternaire dans la zone où les viviers sont apparus ; le second parce qu'un grand nombre de formes typiques ont été retrouvées sur des crêtes, par exemple la crête de Malchamps, où toute mise en charge d'une nappe aquifère par gravité est impossible.

Au cours de la dernière décennie, de nombreux pingos ont été décrits dans les régions arctiques : en Alaska, au centre du pays, (G.W. HOLMES, D.M. HOPKINS et H.L. FOSTER, 1963, 1968) et dans le delta du Yukon-Kuskokwim (J.J. BURNS, 1964) ; au Canada, dans le Yukon (O.L. HUGHES, 1969), sur l'île Prince Patrick (A. PISSART, 1967) et sur l'île de Banks (A. PISSART et H. FRENCH, 1975) ; au Groenland (J.G. CRUICKSHANK et E.A. COLHOUN, 1965 ; A.L. WASHBURN, 1969 ; N.P. LASCA,

1969 ; R. O'BRIEN, 1971), au Spitzberg (T. VAN AUTENBOER et W. LOY, 1966 ; H. SVENSSON, 1969). En Eurasie, un grand nombre de pingos existe le long de la côte arctique comme le montre la carte de FRENZEL (1960), et en Yakoutie.

Les travaux récents ont montré qu'il était impossible de ranger dans les deux catégories mentionnées plus haut tous les pingos actuellement connus. Par exemple, les pingos alignés au sommet de l'île Prince Patrick (Canada, 76° lat. N.) ne peuvent ni être expliqués par la pression artésienne (ils sont au sommet), ni être mis en relation avec d'anciens lacs (A. PISSART, 1967).

Le fait que sur le plateau des Hautes Fagnes, aucun des mécanismes d'apparition des pingos actuellement connus n'a pu jouer ne suffit donc pas à rejeter définitivement l'hypothèse que les viviers sont des traces de pingos.

Jusqu'à présent, très peu d'observations se rapportaient directement à la croissance des pingos. Cette lacune vient d'être, partiellement au moins, comblée pour les pingos du delta du Mackenzie à la suite des travaux de J.R. MACKAY (1973). Celui-ci a mesuré la croissance de 11 pingos qui paraissaient grandir de nos jours. Dans un petit nombre de cas, la vitesse de soulèvement varie considérablement d'année en année (par exemple croissance de 21,2 cm pour la période 69-70; descente de 7,5 cm en 70-71 et croissance de 6,8 cm en 71-72). Ce type de résultat est interprété par J.R. MACKAY comme dû à l'injection d'eau, c'est-à-dire déterminé par le mécanisme réputé responsable de l'apparition des pingos. La majorité des pingos étudiés ont donné, par contre, des valeurs très constantes chaque année. Ces valeurs de soulèvement se rapprochent beaucoup des valeurs calculées de ce que devait être le soulèvement s'il était déterminé par l'apparition de lentilles de glace de *ségrégation*. (1)

(1) La glace de ségrégation apparaît dans les sols humides dont la granulométrie est fine, lorsqu'ils sont soumis à un gel lent. Sous

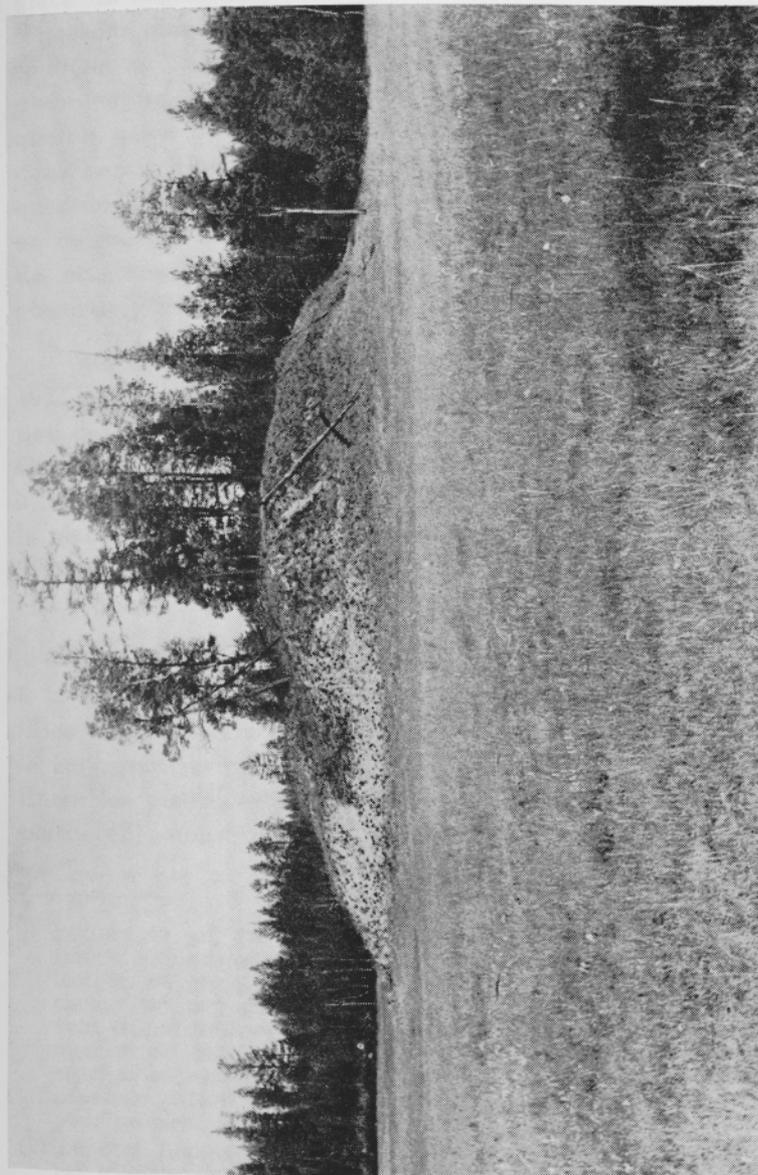


Figure 4. — Un boulgouniak du centre de la Yakoutie (photo A. PISSART).

A la suite de ces calculs, J.R. MACKAY estime que la glace de ségrégation joue un rôle important dans la croissance des pingos du delta de Mackenzie. Le même auteur a souligné en 1972, puis en 1973, que la mise sous pression d'une nappe aquifère, à laquelle il est fait appel pour expliquer la glace d'injection, joue également un rôle important dans l'apparition de glace de ségrégation, en fournissant la quantité d'eau nécessaire. En 1972, J.R. MACKAY ajoutait, en outre, que l'examen de la glace des pingos suggère que de nombreux pingos peuvent être formés tout autant de glace de ségrégation que de glace d'injection.

Une opinion identique a, par ailleurs, été exprimée dès 1952 par un chercheur soviétique, P.A. SOLOVIEV à propos des boulgounniaks (pingos) du centre de la Yakoutie. Cet auteur pense que les boulgounniaks plats (hauteur 1.5 à 5 m ; diamètre 50 à 100 m) qu'il a décrits sont dus à de la glace de ségrégation, tandis que les boulgounniaks élevés (hauteur 5 à 15 m ; diamètre 30 à 80 m) sont dus à de la glace d'injection (figure 4).

Ces articles établissent que la distinction entre buttes dues à la glace d'injection et buttes nées par croissance de lentilles de glace de ségrégation n'est pas aussi tranchée qu'on le supposait jusqu'à présent dans la littérature occidentale. Entre les pingos formés de glace claire, massive, et les *palses* (2), constituées de lentilles de glace de ségrégation

l'action du gel, l'eau migre dans les capillaires en direction du front de gel. Ainsi, l'eau comprise dans le sol s'accumule en des lentilles de glace, tandis que les parties voisines du sol s'assèchent. Par ce phénomène, des quantités d'eau importantes peuvent être attirées de la profondeur vers la zone de gel. Aussi, au moment du dégel, les sols qui contenaient beaucoup de glace de ségrégation sont sursaturés et instables. C'est ce mécanisme qui nécessite parfois chez nous l'instauration de barrières de dégel pour protéger les routes.

(2) Le nom finnois ou lapon est « palsa ». En suédois, le terme est « pals », avec comme pluriel « palses », qui est le plus employé dans la littérature.

soulevant des couches de tourbe, existent certainement des intermédiaires.

Les paises ont des dimensions variables ; ils peuvent atteindre 30 m de largeur, 150 m de longueur et 10 m de hauteur. Ces formes sont presque toujours localisées dans des marais et recouvertes de tourbe. Elles existent aussi bien au-dessus d'un substratum non gelé que sur un sol toujours gelé. Ces formes ont toujours été observées dans la zone du pergélisol discontinu (figure 5).

Comme des pingos typiques peuvent donc être constitués pour une part importante de glace de ségrégation, la distinction génétique fondamentale entre pingos, classiquement nés par l'apparition de glace d'injection, et paises, buttes dues à la glace de ségrégation, disparaît.

Une autre différence importante consiste en ce que les paises sont recouverts de tourbe tandis que les pingos sont formés de matières minérales. Cette distinction disparaît également depuis que V.P. EVSEEV (1973) a décrit au N. de la partie européenne de l'U.R.S.S. et dans la taïga de la Sibérie des buttes dont la hauteur atteint 10 m et qui sont formées de glace de ségrégation. Ces buttes sont développées dans des formations argileuses et sableuses, quelquefois sous une couche de tourbe ; elles forment des îlots de pergélisol au milieu des couches non gelées.

Une séparation tranchée entre pingos et paises n'existe donc plus : des pingos typiques sont parfois constitués de glace de ségrégation ; des buttes dues à la glace de ségrégation apparaissent parfois dans des sols minéraux, non tourbeux. La distinction entre pingos et paises n'est pas aussi nette qu'on l'a cru autrefois et l'on peut se demander si les viviers des Hautes Fagnes ne sont pas les témoins de ces formes intermédiaires qui, comme le signale V.P. EVSEEV (1973), existent à la limite sud de la zone où s'étend le pergélisol.

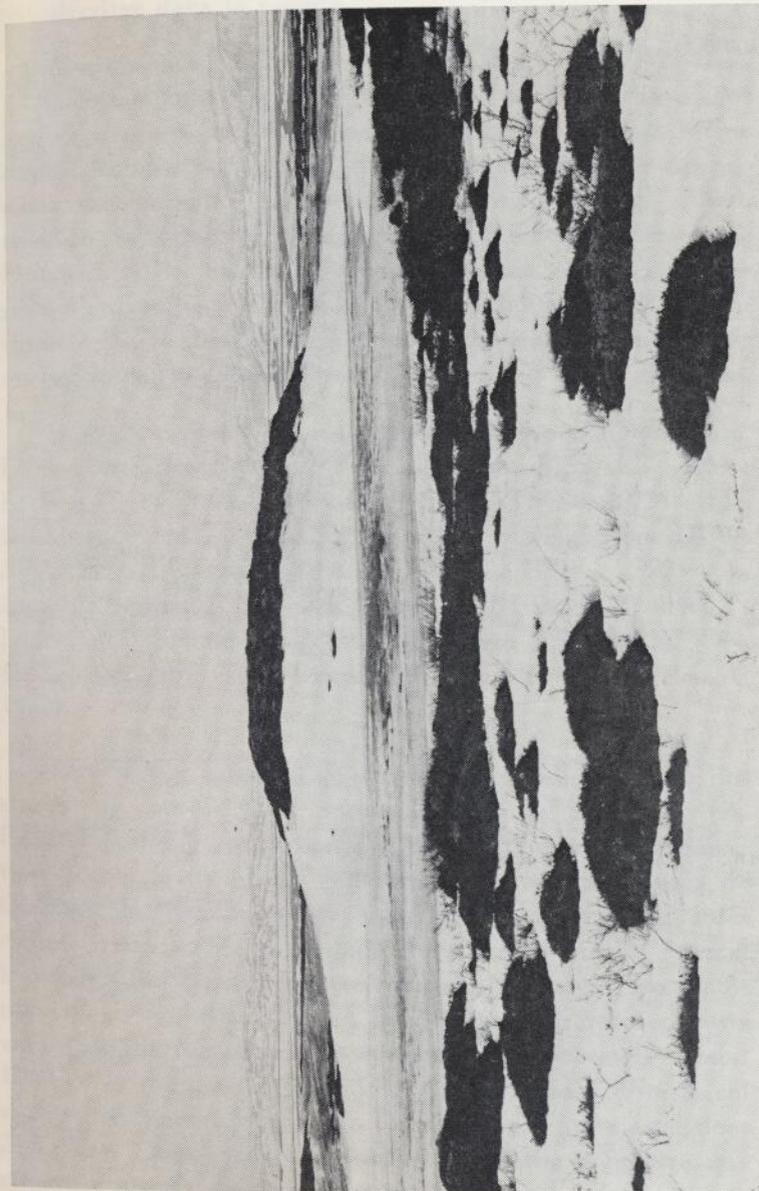


Figure 5. — Un paise près du village de Karleboth, Varangerfjord, Norvège (photo H. SVENSON).

2. Les formes semblables aux viviers des Hautes Fagnes, décrites dans le monde.

Depuis que G. C. MAARLEVELD et J.C. VAN DEN TOORN ont interprété en 1955 comme des traces de pingos des dépressions fermées observées aux Pays Bas, la même hypothèse génétique a été proposée pour diverses dépressions reconnues en Europe et en Amérique. Un certain nombre de formes ainsi expliquées diffèrent des viviers des Hautes Fagnes, souvent parce qu'elles ne sont pas entourées d'un rempart marqué. Nous nous limiterons ici à mentionner les formes dont la description établit, sans laisser aucun doute, la similitude avec celles de la Haute Belgique.

Jusqu'à présent, ces descriptions sont peu nombreuses. Elles concernent le Pays de Galles (A. PISSART, 1963 ; E. WATSON, 1971, 1973 ; E. et S. WATSON, 1972) ; l'Irlande (G.F. MITCHELL, 1971, 1973) ; l'Angleterre (B.W. SPARKS, R.B.G. WILLIAMS et F.G. BELL, 1972) ; la Laponie suédoise (A. RAPP et S. RUDBERG, 1960) ; l'extrémité septentrionale de la Norvège (H. SVENSSON, 1962, 1964, 1969) et la Laponie finlandaise (M. SEPPALA, 1972).

Les formes interprétées au Pays de Galles comme des traces de pingos sont réparties près de Llangurig (A. PISSART, 1963) sur la partie inférieure d'un cône de déjection accumulé dans une vallée large de 400 m, et près de Cledlyn (E. WATSON, 1971) sur le fond et les pentes inférieures d'une vallée secondaire. Elles se présentent, comme les viviers des Hautes Fagnes, avec des tracés en plan tantôt plus ou moins circulaires et fermés, tantôt restant ouverts vers l'amont. Le diamètre maximum des cuvettes atteint 120 m ; le rempart le plus élevé surmonte de 6,50 m le sol voisin ; les pentes les plus fortes de ces remparts atteignent 23°5. Une coupe observée près de Llangurig a montré une structure arquée de couches graveleuses, qui a été interpré-

tée comme résultant d'une poussée latérale au moment de la croissance du noyau de glace. Ces formes ont été expliquées comme des traces de pingos du type « système ouvert ». Une étude palynologique d'échantillons de tourbe prélevés à la base du remplissage tourbeux d'une cuvette située près de Llangurig a montré que la tourbe datait sans doute du Préboréal (D.H. TROTMAN, 1963).

La description donnée par G.F. MITCHELL (1971, 1973) de traces de pingos de la partie sud de l'Irlande établit leur similitude avec celles étudiées en Belgique. Elles se trouvent généralement à la partie inférieure de versants et dans le fond de vallées mal drainées, où se sont accumulés des dépôts de solifluxion et des formations morainiques.

Dans l'Est de l'Angleterre, B.W. SPARKS, R.G.B. WILLIAMS et F.G. BELL (1972) ont décrit une morphologie identique à celle des viviers des Hautes Fagnes. Comme en quelques régions de Belgique, les formes sont confuses par la grande variété de tracé des dépressions et par leur recouvrement. Leur densité est également très élevée ; elle est en moyenne de 30 à 50 au Km² mais peut atteindre 100 formes par Km². Leur diamètre varie de 10 à 120 m. Les auteurs distinguent des formes fraîches et d'autres estompées qui, par des études palynologiques du remplissage, ont été attribuées les unes au tardiglaciaire, les autres au pléni-glaciaire.

Ces dépressions sont localisées dans des couches de craie, en des endroits où les sources nombreuses constituent des conditions idéales pour la formation de glace dans le sol. Plusieurs coupes ont été observées dans des remparts ; elles paraissent indiquer qu'ils se sont formés uniquement par descente du matériel sur le versant de buttes périglaciaires. Les auteurs soulignent que ces formes ne sont pas l'équivalent exact des pingos de l'Arctique, et leur densité est beaucoup trop grande pour que la comparaison soit possible.



Figure 6. — Dépression entourée d'un rempart semblable aux viviers des Hautes Fagnes, décrite par H. SVENSON en Laponie suédoise. (photo H. SVENSON).

Aussi, parlent-ils seulement de dépressions thermokarstiques dues à la fusion de la glace du sol.

Au Nord de la Suède, A. RAPP et S. RUDBERG (1960) ont décrit un type de lac spécial, circulaire ou elliptique, large de 10 à 20 m et entouré par des rides de sol repoussé au sein desquels des blocs sont orientés tangentiellement.

En Norvège, H. SVENSSON a décrit des formes fossiles en 1962 et 1964. Il s'agit de dépressions entourées d'un rempart qui atteignent 100 m de diamètre (fig. 6). Le bourrelet s'élève jusqu'à 7 m au-dessus du sol voisin. Ces formes ont été observées à l'extrême nord de la Norvège, au-dessus de la limite de la forêt entre 250 et 600 m d'altitude. Elles se trouvent sur des surfaces planes ou faiblement inclinées. L'auteur note que les formes localisées sur des pentes sont situées à la partie supérieure de celles-ci. Le matériel d'un rempart a été analysé granulométriquement et contient 54 % de cailloux, 36 % de sable et 10 % de silt et d'argile.

En 1969, le même auteur a décrit, également dans cette région septentrionale de la Norvège, des formes qui évoluent de nos jours ; la comparaison de photos prises en 1961, 1965 et 1967 établit clairement l'affaissement de la partie centrale de deux buttes qui se transforment ainsi en des cuvettes entourées d'un rempart, identiques à des formes qui existent à proximité. Situés dans des dépressions remplies de dépôts fluvioglaciaires entre 400 et 600 m d'altitude, ces lacs sont entourés d'un rempart dont l'élévation par rapport à la région voisine ne dépasse pas 1,50 m. Le diamètre des formes étudiées atteint 40 m. La pente extérieure des remparts est très raide. Les courbes granulométriques montrent qu'ils sont constitués de matériel essentiellement silteux. H. SVENSSON a été frappé par la forme en plan régulière de ces dépressions et interprète le rempart comme résultant d'une poussée radiale du noyau de glace au moment du gel annuel.

H. SVENSSON considère que ces lacs circulaires entourés d'un rempart sont des témoins de « buttes dues au gel » d'un type intermédiaire entre les paises et les pingos. Les buttes auraient été constituées de lentilles de glace de ségrégation et leur croissance aurait été favorisée dès que la forme aurait été amorcée, par l'action du vent qui enlevait la couverture neigeuse.

La fusion observée de la masse de glace comprise dans deux buttes est interprétée par l'auteur comme le résultat d'une légère élévation de température au cours des dernières décades.

En Finlande, M. SEPPALA (1972) vient de décrire une trentaine de formes identiques à celles des Hautes Fagnes ; elles sont groupées sur un territoire réduit : un carré de 600 m de côté qui correspond au fond d'une dépression. Des remparts entourent ces dépressions circulaires ou allongées. Certaines ne sont pas fermées vers l'amont, et ressemblent par là à certaines formes des Hautes-Fagnes (A. PISSART, 1963) et du Pays de Galles (E. WATSON, 1971). La hauteur des remparts varie de 0,5 m à 4,5 m ; le diamètre des dépressions fermées est compris entre 30 et 150 m. Les pentes extérieures des remparts ont généralement de 20 à 28°. Ils sont formés de dépôts morainiques sableux, très mal triés, comprenant des éléments caillouteux de toute taille, mais sans fraction argileuse. Dans un rempart où des excavations ont été creusées jusqu'à 1 m de profondeur, les cailloux plats sont apparus en position verticale, tandis que leur grand axe était souvent tangent à la limite extérieure du pingo.

La similitude des viviers des Hautes-Fagnes avec les formes observées dans les Iles Britanniques et à l'extrémité septentrionale des Pays Scandinaves est incontestable. La publication la plus importante que nous ayons signalée est celle de H. SVENSSON (1969) qui a observé des formes



Figure 7. — Photo aérienne de la Fagne de la Brackvenn montrant par des cercles la localisation des sondages effectués. Profondeur atteinte : en 1, 23 m ; en 2, 25 m ; en 3, 12,50 m. La flèche indique la localisation de la coupe étudiée.

en fusion en Laponie, ce qui semble montrer dans quelles conditions climatiques apparaissent des dépressions semblables aux viviers.

Toutes les observations que nous avons mentionnées sont cependant superficielles. Une seule coupe montrant une structure nette a été publiée (A. PISSART, 1963) : elle dévoile dans le rempart des dépôts stratifiés montrant une structure arquée épousant la forme extérieure.

Les renseignements géologiques concernant la structure des remparts et les formations sous-jacentes sont **très rares**, quelles que soient les parties du monde où ces formes ont été signalées. Les sondages et les coupes réalisées récemment sur le plateau des Hautes Fagnes présentent donc un intérêt qui dépasse largement le cadre régional.

3. Les sondages de la Brackvenn et de la crête de Malchamps.

En 1971, le Centre National de Recherches Géomorphologiques a accordé à l'un de nous un subside pour faire réaliser des sondages sur la crête de Malchamps. Ces sondages, trop peu profonds, étaient très difficiles à interpréter. Quelques mois plus tard, A. PISSART a obtenu du Service Géologique de Belgique la réalisation de 4 forages qui ont percé la couverture meuble, l'altération affectant le sommet du Revinien, et ont pénétré profondément dans la roche en place. Tous ces sondages sont localisés dans des zones où les viviers sont nombreux et caractéristiques ; trois ont été réalisés dans la Fagne de la Brackvenn (voir leur localisation sur la figure 7), un autre sur la crête de Malchamps.

Aussi bien dans la Fagne de la Brackvenn que sur la crête de Malchamps, les sondages réalisés ont montré l'existence d'une profonde altération chimique du substratum. Celle-ci a donné, par décomposition des phyllades, des

masses d'argile imperméable et, en moindre quantité, par désagrégation des quartzites, des parties sableuses plus perméables. Au-dessus de ces formations, existe localement sur la crête de Malchamps de l'argile à silex. Partout des limons éoliens, plus ou moins mélangés avec des éléments provenant du substratum, constituent la couverture superficielle.

Cinq autres sondages de 3 à 6 m de profondeur, réalisés sur la crête de Malchamps ont montré l'existence de nappes aquifères locales au sein de ces formations et spécialement dans les têtes de bancs quartzitiques décomposés. Aucune n'a cependant l'importance de la nappe aquifère dont A. PISSART avait supposé l'existence en 1965, lorsqu'il s'efforçait de trouver un mécanisme susceptible de donner des masses importantes de glace d'injection.

En bref, les observations recueillies grâce à ces sondages rendent très improbable l'apparition de glace d'injection et indiquent qu'il faut chercher une autre origine à la glace ayant donné naissance aux buttes qui ont grandi en climat périglaciaire sur le plateau des Hautes Fagnes.

4. La coupe réalisée à travers le rempart d'un vivier de la Brackvenn.

La figure 7 donne la localisation de la coupe dégagée par une pelle mécanique, au travers du rempart d'un vivier de la Brackvenn. Cette forme a été choisie parmi beaucoup d'autres, en raison de sa localisation sur une pente marquée qui permettait un écoulement des eaux.

Nous décrivons tout d'abord la coupe qui a été observée, et dont la figure 8 donne une représentation schématique.

a) Description de la coupe (figure 8)

En bordure de la dépression centrale, la pelle mécanique a entaillé sur une distance horizontale de 3 m le rem-

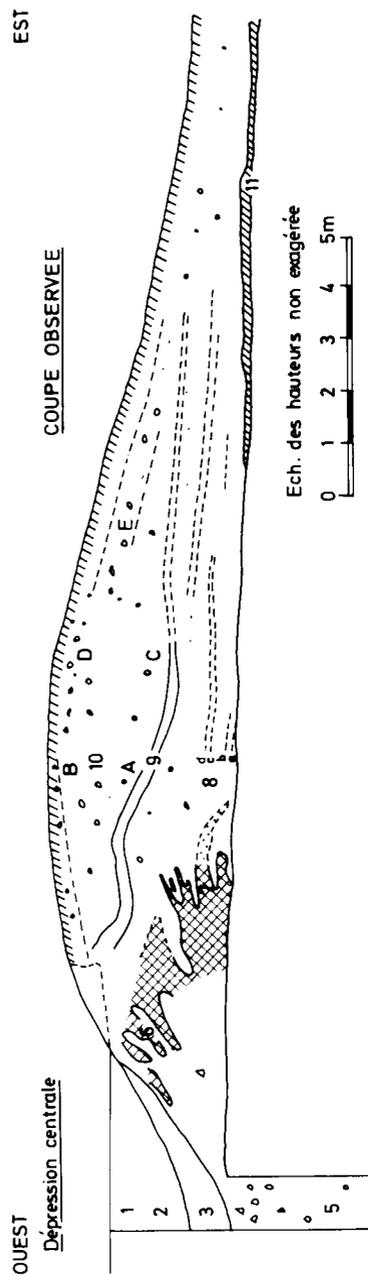


Figure 8. — Schéma d'une coupe dégagée au travers d'un rempart de la Brackvenn.

plissage tourbeux du pingo. La partie supérieure est constituée de tourbe noire (1) (*). Elle surmonte une épaisseur de près de 1 m de gyttja (**) qui comprend de petits cailloux (2). Cette formation repose à l'extrémité de l'excavation sur 80 cm de limon argileux de couleur bleue, englobant également de petits débris de phyllades (3).

Sous le limon argileux (3) une fouille de près de 3 m de profondeur a été réalisée. Elle a montré l'existence de limon gris brun (4) et (5) englobant de nombreux blocs de quartzite revinien dont la taille atteint 30 à 40 cm.

Dans la partie interne du rempart, la couche (4) est surmontée d'une couche de couleur légèrement différente. Le contact entre les deux dépôts dessine de grandes langues obliques (6) et (7).

Au-dessus, le complexe (8) est localement constitué de couches s'individualisant par leur coloration. Ce complexe est surmonté par une couche extrêmement apparente (9). Sa couleur grise contraste vivement avec la couleur des formations voisines. Elle ne comprend pratiquement pas de cailloux. Sa teneur en carbone est de 3,4 %, soit le double de la teneur des couches sus et sous-jacentes. Une teneur aussi élevée n'a été retrouvée que dans les horizons supérieurs du sol actuel.

Au-dessus de la couche (9) existe une épaisseur variable de matériel (10) qui rappelle le complexe (8). Il comprend une proportion variable d'éléments provenant du substratum revinien et notamment de nombreux blocs de quartzite. Près de la surface, un podzol est bien développé sur la partie la plus élevée du rempart.

A la partie externe du rempart, le fond de l'excavation

(*) Ce chiffre et les chiffres suivants mis entre parenthèses dans le texte renvoient le lecteur aux emplacements indiqués par les mêmes chiffres de la figure 8.

(**) **Gyttja** : nom scandinave désignant des sédiments organo-minéraux se formant en milieu lacustre.

a probablement mis au jour la roche en place cambrienne sous forme de phyllades très altérés de couleur gris bleu foncé (11).

b) Analyses granulométriques et mesures d'orientation des cailloux

L'étude granulométrique a montré que le rempart du pingo comprend beaucoup de limon éolien. Celui-ci est en effet aisément reconnaissable par l'existence sur les courbes granulométriques d'un mode marqué aux environs de 30 microns et par la présence des minéraux denses spécifiques des loess. Le limon éolien est généralement mélangé avec des débris du substratum ; il est toutefois quasi pur dans la couche (9).

Les mesures d'orientation des cailloux ont établi que la majorité des cailloux situés au-dessus de la couche (9) sont disposés tangentiellement à la courbure du rempart. Cette disposition prouve que ces formations ne se sont pas mises en place par des phénomènes de solifluxion agissant sur le versant de la butte périglaciaire mais atteste d'un mouvement de poussée de toute la masse. Rappelons, pour comparaison, que dans les coulées de solifluxion, les cailloux sont disposés parallèlement à la direction de l'écoulement et que dans les moraines frontales, sous l'effet de la poussée, ils se disposent au contraire perpendiculairement au déplacement.

Grâce aux résultats qui viennent d'être mentionnés brièvement, on peut conclure que l'ensemble du rempart étudié est constitué de dépôts de pente. Ces dépôts de pente paraissent être essentiellement des dépôts de congélifluxion. La couche très limoneuse et peu caillouteuse (9) a sans doute été mise en place par ruissellement sur la pente très faible (2°) qui existait avant la croissance du pingo. La granulométrie indique qu'il s'agit d'un limon éolien remanié.

Cette couche limoneuse a subi postérieurement à son

dépôt un soulèvement puis un affaissement qui lui a donné un tracé onduleux. Elle conserve actuellement une pente supérieure à 20° dans la partie qui épouse le tracé extérieur du rempart et dessine une ondulation anticlinale qui rappelle la structure arquée décrite dans le rempart d'un pingo du Pays de Galles (A. PISSART, 1963).

Cette disposition indique que des matériaux sous-jacents à cette couche ont été déplacés au moment de la formation de la glace. Postérieurement à la fusion de celle-ci, les couches n'ont donc pu revenir dans leur position originelle et ont donné la structure que nous observons aujourd'hui. Cette observation confirme donc, comme A. PISSART l'avait écrit en 1963, que le rempart n'est pas seulement dû à la descente de sédiments sur les pentes de la butte, mais qu'il est dû, en partie du moins, à un effort de poussée profond de la masse de glace en croissance dans le sol.

L'essai de reconstitution de la butte périglaciaire que nous présentons à la fig. 8 a été tenté en conservant une pente continue à la couche (9) et en donnant à la butte une pente constante dans la zone reconstituée. Elle nous conduit, hypothétiquement il faut le souligner, à donner une pente extérieure de 22° au versant du pingo. En basculant les formations inférieures de façon à suivre cette reconstitution, les plissements (6) et (7) prennent une inclinaison nette, dirigée vers l'extérieur du pingo. Etant donné que de tels glissements en masse n'affectent pas les couches supérieures et notamment la couche (9) nous considérons qu'il est vraisemblable que ces plissements soient dus à des efforts de poussée de la glace en croissance.

La couche (10) paraît être formée de matériel descendu par solifluxion sur le versant de la butte périglaciaire. L'épaississement de cette masse au sein de la concavité semble bien en accord avec une telle interprétation. Toutefois, la disposition individuelle des cailloux que nous avons décrite ci-dessus exclut cette possibilité. Les éléments sont

allongés tangentiellement à la courbure du rempart, soit perpendiculairement aussi bien à la pente actuelle qu'à la pente qui existait sur la butte lors de son développement. Cette disposition ne peut avoir été acquise par un phénomène de glissement sur le versant, mais bien par un effort de poussée au sein du rempart. Il est en conséquence vraisemblable que l'épaississement de la couche (10) et la disposition particulière des cailloux a été acquise simplement par écrasement de la couche superficielle à la suite du mouvement de croissance de la butte, mouvement qui n'aurait donc pas consisté en un simple soulèvement vertical, mais aurait présenté une certaine composante latérale.

Ces observations paraissent établir que la part des agents de transport en masse superficiels est négligeable dans la construction des remparts étudiés. La poussée oblique des lentilles de glace en croissance suffit à expliquer toutes les caractéristiques observées.

c) Etude des minéraux denses.

On appelle minéraux denses la fraction des minéraux dont la densité est supérieure à 2,85. S'il ne s'agit que d'une faible partie du total des grains, elle permet cependant d'identifier dans bien des cas leur origine géographique.

L'étude des minéraux denses a prouvé qu'effectivement les minéraux des loess — hornblende verte (17 à 30 %), épidote (14 à 28 %) et grenats (2 à 15 %) — sont présents dans tous les niveaux. Les taux des minéraux spécifiques des loess semblent montrer, par comparaison avec ceux obtenus en Moyenne Belgique, que toutes ces formations se sont mises en place au cours de la dernière glaciation (tableau I).

Par ailleurs, cette même étude des minéraux denses a permis de reconnaître deux associations de minéraux projetés par des explosions volcaniques qui ont eu lieu dans l'Eifel à des moments où les vents soufflaient de l'Est. La

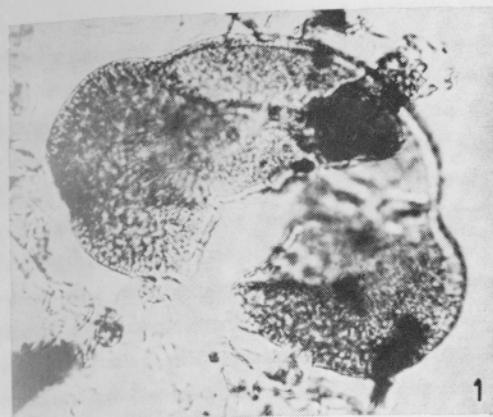


PLANCHE I

Echelle
en microns

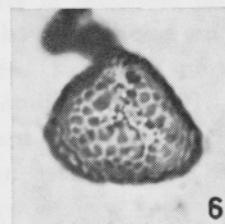
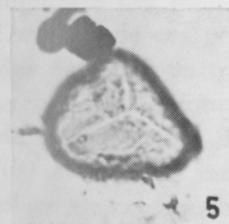
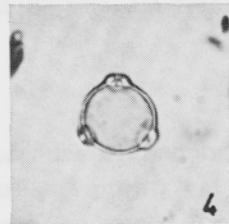
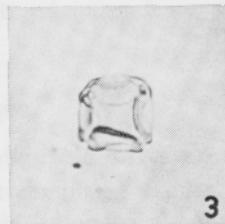
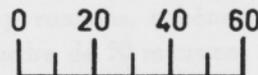


Figure 9.

(voir au verso)

première de ces explosions a envoyé notamment de l'augite, de l'enstatite et de la hornblende basaltique, dont des traces ont été observées sur toute la hauteur de la séquence située au centre du rempart. Comme cette éruption date du début de la dernière glaciation, cette observation confirme l'âge Vistule (1) de tous les sédiments de cette coupe. Les poussières de la seconde explosion volcanique ont été étalées pendant le dépôt de la couche 9 au sein de laquelle elles ont été observées. Elles consistent presque essentiellement en hornblende basaltique (95 % des minéraux denses volcaniques) accompagnée de quelques pyroxènes, sphènes et zircons. La largeur des grains est de l'ordre de 50 microns. Cette association volcanique n'a, aujourd'hui, jamais été décrite en Belgique et présente, à ce point de vue, un très grand intérêt.

d) Etude palynologique.

Dans le but de dater la mise en place des sédiments constituant le rempart du pingo étudié, plusieurs profils ont été prélevés lors du dégagement de la coupe, en vue d'appliquer à ces sédiments la méthode de l'analyse pollinique. Dans un de ces profils, la richesse en spores et en pollens des échantillons traités (fig. 9) a permis d'établir un diagramme pollinique détaillé (fig. 10), retraçant l'évolution de la végétation durant la sédimentation des couches (8), (9) et (10), et rendant possible une datation de la mise en place de ces couches.

Le fait majeur se dégageant de l'examen de ce diagramme est le contraste entre les spectres polliniques des échantillons de la couche (8), dans lesquels les pollens arboréens ont la même importance que les pollens herbacés, et les spectres polliniques des couches (9) et (10), dans lesquels

(1) La nomenclature glaciaire nordique tend à remplacer chez nous la nomenclature alpine car la plupart de nos dépôts quaternaires peuvent être raccordés aux sédiments nordiques et non aux sédiments alpins.

Spores et pollens conservés dans les sédiments du rempart d'un vivier de la Brackvenn.

1. <i>Picea abies</i>	: niveau 46 cm
2. <i>Pinus sylvestris</i>	: niveau 46 cm
3. <i>Alnus glutinosa</i>	: niveau 58 cm
4. <i>Betula sp.</i>	: niveau 58 cm
5. <i>Botrychium lunaria</i>	: niveau 38 cm
6. id.	
7. Chénopodiacée	: niveau 38 cm
8. <i>Selaginella selginoides</i>	: niveau 38 cm
9. id.	
10. Filicale	: niveau 46 cm

les pollens herbacés prédominent nettement. Ce contraste traduit le passage d'une végétation correspondant à un climat « interstadaire » à une végétation correspondant à un climat « pléni-glaciaire ».

Dans les onze échantillons de la couche (8), les arbres atteignent en moyenne 48 % ; ce sont par ordre d'importance : *Pinus* (23 %), *Betula* (9 %), *Alnus* (8 %), *Corylus* (5 %), *Carpinus* (1 %), *Picea* (0,5 %),... Dans la flore herbacée, les *Filicales* (24 %) dominent nettement les *Graminées* (7 %), *Botrychium* (7 %), *Selaginella* (5 %), les *Cichoriées* (3 %), les *Renonculacées* (1 %)... La présence, tout au long de cette phase interstadaire, de 7 % de spores de *Botrychium lunaria* et de 5 % de spores de *Selaginella selaginoides* témoigne du caractère ouvert du peuplement végétal, qui devait être une taïga claire à dominance de Pins et de Bouleaux, avec de petits bosquets d'Aulnes et de Noisetiers, et quelques Charmes et Epicéas disséminés çà et là. Ce type de végétation a précédemment été reconnu à Kesselt, dans les sédiments pédologiques cryoturbés situés au sommet des loess mésowürmiens (B. BASTIN, 1971). En effet, tout comme c'est le cas ici, durant la phase interstadaire mise en évidence à Kesselt, la végétation forestière est dominée par *Pinus*, les principaux autres arbres étant par ordre d'importance : *Betula*, *Alnus*, *Corylus*, *Carpinus*, et *Picea*. Nous rapporterons donc la mise en place des sédiments de la partie supérieure de la couche (8) à l'interstade d'Arcy-Stillfried B, qui s'est terminé aux environs de 26.500 B.C.

Dans les dix-huit échantillons de la couche (9) et de la base de la couche (10), les arbres n'atteignent plus en moyenne que 8 %, seuls *Pinus* (4 %), *Betula* (2 %) et *Alnus* (1 %) étant présents à tous les niveaux ou presque. *Corylus* (0,5 %) n'est plus présent que dans un niveau sur deux, alors que *Carpinus* (0,1 %) et *Picea* (0,1 %) n'apparaissent plus que de façon très sporadique. En ce qui concerne les plantes herbacées, cette partie du diagramme pollinique est principalement caractérisée par la très forte extension de *Botrychium*

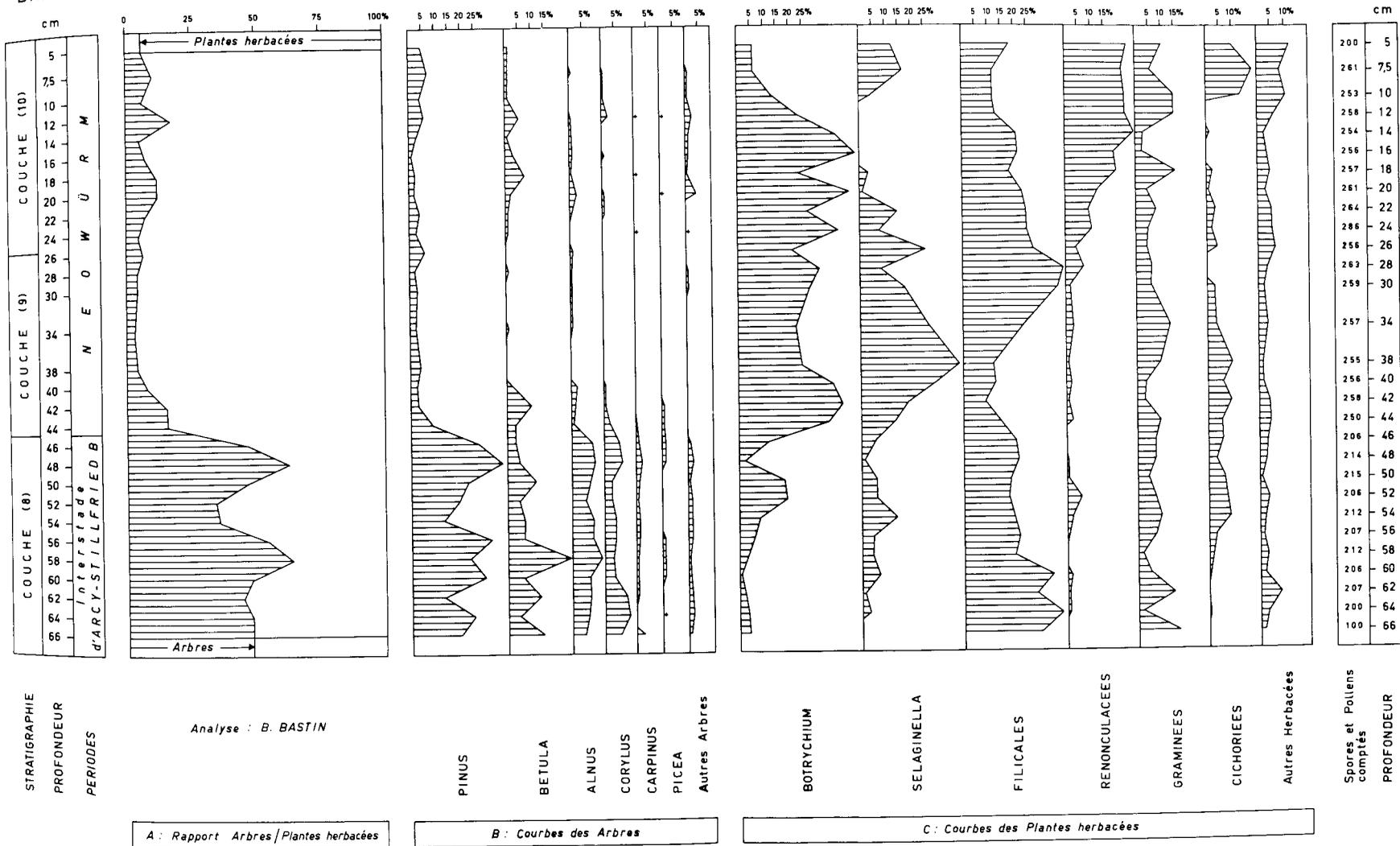


Figure 10. — Diagramme pollinique des couches (8), (9) et (10) du rempart d'un vivier de la Brackvenn.

(28 % en moyenne, avec un maximum de 46 %) et de *Selaginella* (13 % en moyenne, avec un maximum de 38 %). ce qui traduit à la fois le caractère très ouvert de la végétation et la rigueur du climat. Nous rapporterons donc la couche (9) et la base de la couche (10) à la première partie du Néowürm (1), qui s'étend d'environ 26.500 B.C. (fin de l'interstade d'Arcy-Stillfried B) à environ 17.500 (début de l'oscillation de Laugerie).

L'analyse pollinique des couches de remplissage de la cuvette de ce pingo ayant fourni à G. WOILLARD (1974) un diagramme pollinique débutant au Dryas récent, on peut donc conclure des résultats obtenus par l'étude palynologique que la croissance de ce pingo s'est faite durant la seconde moitié du Néowürm, et que sa fusion s'est effectuée durant l'oscillation d'Alleröd.

5. Conclusion : L'origine des viviers des Hautes Fagnes.

Les traces de pingos du plateau des Hautes Fagnes sont localisées dans des zones où le substratum cambrien de phyllades et de quartzites est profondément altéré. Cette altération, d'âge au moins tertiaire (2), témoigne d'un climat plus chaud que celui qui règne actuellement en Belgique. Elle a transformé une forte épaisseur de phyllades en argile, et aussi parfois des quartzites en sables.

C'est au sein de ces dépôts, parfois remaniés et mélangés avec du limon éolien, que sont apparues les masses de glace qui ont donné naissance aux viviers dont il est question dans le présent article.

Leur localisation au-dessus de la cote de 500 m, localisation que A. PISSART avait notée dès 1956, n'est vraisemblablement pas contrôlée par une variation climatique liée

(1) Le Néowürm couvre la période allant du Vistule 5 au Dryas III dans le tableau 1.

(2) Il n'est, en effet, pas exclu que cette altération existait au moins en partie sous les dépôts tertiaires et secondaires dont on retrouve des témoins sur le haut plateau.

à l'altitude, mais est sans doute simplement en relation avec l'extension de cette profonde altération physico-chimique du substratum revinien (1).

De petites nappes aquifères sont présentes dans les formations plus sableuses. Certaines correspondent aux têtes de bancs du substratum revinien ; elles sont peut-être en relation avec l'alignement de « viviers » parallèles à la stratification que nous avons notée en 1972 dans la Fagne de la Brackvenn ; en d'autres endroits, ces zones sableuses étirées le long de la pente ont permis la circulation de l'eau et expliquent les viviers allongés dans le sens de la pente (E. MUCKENHAUSEN, 1960).

Ces nappes aquifères locales ont donné naissance, en climat périglaciaire, à des accumulations de glace dans le sol. Celles-ci ont soulevé le sol et ont certainement fait apparaître en surface des buttes marquées. Après leur fusion, à l'emplacement de ces buttes, ont subsisté des cuvettes entourées d'un rempart : les viviers des Hautes Fagnes. Les buttes dont on retrouve actuellement les traces ont été dénommées « pingos » par A. PISSART en 1956, à un moment où ce type de butte périglaciaire était encore mal connu. C'est sur la base de l'explication génétique des pingos qu'en 1965, A. PISSART a formulé l'hypothèse que sous les zones à pingos, il devait exister en profondeur une nappe de sable suffisante pour déterminer l'injection d'eau vers la surface. Les sondages ont montré que d'épaisses couches sableuses n'existaient pas et ont établi qu'il était difficile de conserver la même interprétation. En effet, les nappes aquifères paraissent trop réduites pour déterminer l'apparition de quantités importantes de glace d'injection.

(1) La rigueur du climat sur le plateau des Hautes Fagnes a sans doute favorisé l'apparition des formes que nous étudions ici. Toutefois, ce facteur n'est pas le seul, car il ne permet pas d'expliquer la répartition des buttes périglaciaires seulement en quelques endroits du haut plateau. Il nous paraît actuellement vraisemblable que cette répartition est déterminée avant tout par la localisation d'une profonde altération physico-chimique.

Le matériel très argileux rend, en plus, très aléatoire l'alimentation pendant l'été des nappes par d'hypothétiques fissures dans le pergélisol superficiel, pergélisol qui est indispensable pour sceller une enceinte donnant naissance aux injections. Suite à nos observations, il ne paraît absolument plus possible que les viviers témoignent de buttes formées de glace d'injection.

Le caractère argileux du matériel d'altération, associé à la localisation des pingos, paraît par contre très favorable à l'apparition de glace de ségrégation. Un indice sérieux de l'apparition de ce type de glace a été trouvé par J. THOREZ (1975) dans l'étude des microstructures du sondage réalisé dans le parking de la Brackvenn.

En conséquence, nous pensons maintenant que les viviers des Hautes Fagnes sont les restes de buttes formées essentiellement de glace de ségrégation. Pour permettre l'alimentation de la nappe aquifère qui fournissait l'eau aux buttes en croissance, un pergélisol continu ne devait pas exister. On se trouvait alors dans un système voisin de celui qui permet la croissance de paises ou de celui donnant les « monticules de boursoufflement de ségrégation » décrits par V.P. EVSEEV en 1973. Entre les buttes en croissance n'existe pas de pergélisol. Les buttes elles-mêmes constituent des îlots de pergélisol, sans doute parce qu'en hiver la déflation éolienne emporte la neige et expose les buttes à l'action du gel.

L'étude de la structure d'un rempart (B. BASTIN, E. JUVIGNE, A. PISSART, 1974) est en accord avec cette interprétation. Elle a démontré que le rempart étudié n'est pas dû à la descente de matériel sur le versant du pingo, mais résulte d'une poussée profonde de la masse de glace en croissance. Celle-ci a dû grandir non seulement verticalement mais aussi latéralement en repoussant les formations où elle apparaissait. Cette croissance latérale déjà invoquée par E. MUCKENHAUSEN (1960) pour rendre compte des

formes allongées selon la pente, ne pouvait se produire qu'au contact de la zone gelée et de la zone dégelée. En plus, la déformation des couches qui a été observée dans la coupe étudiée ne peut être acquise que dans des matériaux non consolidés par le gel. Il est, de ce fait, vraisemblable que des cicatrices de vrais pingos formés par apparition de glace d'injection au sein de couches gelées, et de ce fait rigides, soient fort différentes des traces des buttes périglaciaires étudiées ici. Le déplacement du sol gelé par une poussée latérale est, en effet, improbable dans ce cas et les remparts ne devraient être constitués que du matériel descendu sur les pentes de la butte. Les formes identiques aux viviers des Hautes Fagnes, à savoir les cuvettes entourées d'un rempart régulier qui ont été décrites dans les lles Britanniques et en Scandinavie, témoignent donc de conditions climatiques moins rigoureuses, au moment de leur croissance, que celles qui sont nécessaires pour faire apparaître les pingos. Une température moyenne annuelle à peine inférieure à 0° C paraît seulement requise.

En ce qui concerne le moment où sont apparues et où ont fondu ces buttes, rappelons que l'étude d'un rempart sur le plateau des Hautes Fagnes (B. BASTIN, E. JUVIGNE, A. PISSART, 1974) a permis de préciser que la butte périglaciaire qui lui a donné naissance a grandi après l'interstade d'Arcy-Stillfried B. C'est la seule précision dont on dispose actuellement en ce qui concerne la croissance de ces formes. Les formations remplissant la cuvette, c'est-à-dire postérieures à la fusion de la glace, ont généralement été datées du Dryas récent. Rappelons toutefois que G. WOILLARD (1974) a montré, pour une forme au moins, que la cuvette existait déjà dès avant le Dryas ancien. De toute manière les viviers sont apparus à la fin de la dernière glaciation, soit à une époque très proche géologiquement de la nôtre puisque guère plus ancienne que 10.000 ans. Protégés par la couverture végétale postglaciaire contre les phénomènes d'érosion, ils n'ont guère été modifiés depuis lors.

Il nous reste à aborder le problème de la nomenclature. Dans l'état des connaissances actuelles, pouvons-nous continuer à appeler pingos les buttes qui ont donné naissance aux viviers des Hautes Fagnes ?

Il est maintenant clair que ces buttes n'étaient pas des pingos typiques dus à l'apparition de glace d'injection. Dans le cadre des connaissances antérieures à 1970, nous n'aurions pas hésité à rejeter, après cette affirmation, le terme « pingo » que nous avons proposé précédemment. Maintenant cependant, les choses sont beaucoup moins claires. La distinction tranchée entre les pingos nés par apparition de glace d'injection, et les palses, grandissant dans les zones tourbeuses par croissance de la glace de ségrégation s'est estompée. Les pingos les plus caractéristiques paraissent en effet être souvent constitués, au moins en partie, de glace de ségrégation. D'autre part, des buttes semblables aux palses ont maintenant été trouvées en dehors des zones tourbeuses. La classification actuelle ne convient plus et il faut attendre encore quelques années pour décider si le terme pingo actuellement très largement utilisé pour les formes fossiles d'Europe, doit être conservé ou rejeté.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers les personnes et les organismes mentionnés ci-dessous, sans qui les résultats que nous venons de présenter n'auraient pas été obtenus :

M. DELMER, Directeur, et M. J.M. GRAULICH, Ingénieur au Service Géologique de Belgique qui ont fait réaliser les sondages dans la Fagne de la Brackvenn et la Fagne de Malchamps ; le Centre National de Recherches Géomorphologiques qui nous a donné un subside pour effectuer les sondages sur la crête de Malchamps ; le Fonds National de la Recherche Scientifique qui nous a accordé un crédit aux chercheurs, grâce auquel nous avons pu dégager la coupe décrite dans un vivier de la Brackvenn ; le

Conseil de la Réserve Naturelle des Hautes Fagnes qui nous a autorisé à y effectuer nos recherches ; M. TERWAGNE, Inspecteur et M. CROMLIN, Ingénieur des Eaux et Forêts, qui ont toujours facilité nos travaux dans la Fagne de la Brackvenn.

BIBLIOGRAPHIE

- BASTIN, B. - 1971 - Recherches sur l'évolution du peuplement végétal en Belgique durant la glaciation de Würm.
Acta Geographica Lovaniensia, 9, 136 pp.
- BASTIN, B., JUVIGNE, E., PISSART, A. et THOREZ, J. - 1974 - Etude d'une coupe dégagée à travers un rempart d'une cicatrice de pingo dans la Fagne de la Brackvenn.
Ann. Soc. Géol. Belg., 97. A l'impression.
- BOUILLENNE R. et M., avec la coll. de S. DEFOSSEZ, Ch. DUBOIS, J. DAMBLON et A. WILLAM - 1937 - Les viviers du plateau de la Baraque Michel.
Bull. Soc. Roy. des Sc. de Liège, T. 12, pp. 404-427.
- BOUILLENNE-WALRAND, M. et DARIMONT, F. - 1939 - L'habitat antique sur le plateau de la Baraque Michel.
Ass. Franç. Avanc. Sciences, 63e sess. Liège, pp. 1088-1090.
- BURNS, J.J. - 1964 - Pingos in the Yukon-Kuskokwim Delta, Alaska : their plant succession and use by Mink.
Arctic, 17, pp. 203-210.
- CRUICKSHANK, J.G. and COLHOUN, E.A. - 1965 - Observations on pingos and other landforms in Schuchertdal, Northeast Greenland.
Geografiska Annaler, 47A, pp. 224-236.
- EVSEEV, V.P. - 1973 - Monticules de boursofflement de migration.
Actes de la 2e conférence internationale sur le Permafrost, Iakutsk, 2, pp. 98-102.
- FLORSCHÜTZ, F. - 1937 - Palaeobotanisch onderzoek in verband met een vermoede menshelijke nederzetting op het plateau van het Belgisch Hoogveen (Hautes Fagnes).
Proc. Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam, sect. B, 40, pp. 181-185.
- FLORSCHÜTZ, F. en VAN OYE, E.L. - 1938 - Over de ouderdomsbepaling van de « vijvers » op het plateau van het belgisch hoogveen.
Tijdschr. Kon. Nederl. Aardrijksk. Genootsch., 55, pp. 454-461.
- FLORSCHÜTZ, F. et VAN OYE, E.L. - 1939 - Recherches analytiques de pollens dans la région des Hautes-Fagnes belges.
Biol. Jaarb. Dodonaea, 6, pp. 227-234.
- FRENZEL, B. - 1960 - Die Vegetations und Landschaftszonen Nord-Eurasiens während der letzten Eiszeit und während der postglazialen Wärmezeit. I. Teil : Allgemeine Grundlagen.
Akad. Wiss. und Litt. Mainz, Abh. Kl. Math. - Naturwiss., 13, pp. 937-1099.
- HOLMES, G.W., HOPKINS, D.M., FOSTER, H.L. - 1963 - Distribution and age of pingos of interior Alaska.
International Conference on Permafrost, Proceedings, Lafayette, Ind., U.S. National Research Council Publication 1287, pp. 88-93.
- HOLMES, G.W., HOPKINS, D.M., FOSTER, H.L. - 1968 - Pingos in central Alaska.
Geological Survey Bulletin, 1241 - H - Washington, pp. 1-40.
- LASKA, N.P. - 1969 - The superficial geology of Skeldal, Mesters Vig., Northeast Greenland.
Medd. om Groenland, 176, 3, 56 pp.
- MAARLEVELD, G.C. and VAN DER TOORN, J.C. - 1965 - Pseudo-sölle in Noord-Nederland.
Tijdschrift Kon. Nederl. Aardrijksk. Genootsch., 72, pp. 344-360.
- MACKAY, J.R. - 1972 - Pingos of the Pleistocene Mackenzie delta area.
Geogr. Bulletin, 18, pp. 21-63. Ottawa.
- MACKAY, J.R. - 1973 - The growth of Pingos Western Arctic Coast, Canada.
Canadian Journal of Earth Sciences, V. 10, n° 6, pp. 979-1004.
- MITCHELL, G.F. - 1971 - Fossil pingos in the south of Ireland.
Nature, 230, pp. 43-44.
- MITCHELL, G.F. - 1973 - Fossil pingos in Camaross Towland, Co. Wexford.
Proc. Royal Irish Academy, V. 73, sect. B, n° 16, pp. 269-282.
- MÜCKENHAUSEN, E. - 1960 - Eine besondere Art von Pingos am Hohen Venn/Eifel.
Eiszeitalter und Gegenwart, 11, pp. 5-11.

- MULLENDERS, W. et HAESSENDONCK, F. - 1963 - Note préliminaire sur la palynologie des pingos du Plateau des Tailles (Belgique).
Zeitschr. für Geomorph., 7, pp. 165-168.
- MULLENDERS, W. and GULLENTOPS, F. - 1969 - The age of the Pingos of Belgium.
The periglacial environment, past and present. Edited by T.L. Pewe, Mc Gill-Queens University Press Montreal, pp. 321-335.
- MULLER, F. - 1959 - Beobachtungen über Pingos.
Medd. om Groenland, V. 153, n° 3, 127 pp.
- O'BRIEN, R. - 1971 - Observations on pingos and permafrost hydrology in Schubert Dal., N.E. Greenland.
Medd. om Groenland, 195 (1), 20 pp.
- PISSART, A. - 1956 - L'origine périglaciaire des viviers des Hautes-Fagnes.
Ann. Soc. Géol. Belg., 79, pp. B 119-131.
Hautes Fagnes, Bulletin de l'a.s.b.l. «Les Amis de la Fagne» 1956/2/76.
- PISSART, A. - 1963 - Les traces de «pingos» du Pays de Galles (Grande Bretagne) et du plateau des Hautes-Fagnes (Belgique).
Zeitschr. für Geomorph., 7, pp. 147-165.
Hautes Fagnes, Bulletin de l'a.s.b.l. «Les Amis de la Fagne» 1963/2/57.
- PISSART, A. - 1965 - Les pingos des Hautes Fagnes : les problèmes de leur genèse.
Ann. Soc. Géol. Belg., 88, pp. B 277-289.
Hautes Fagnes, Bulletin de l'a.s.b.l. «Les Amis de la Fagne» 1965/1/3.
- PISSART, A. - 1967 - Les pingos de l'île Prince Patrick (76° N - 120° W).
Geogr. Bull., 9 (3), pp. 189-217.
- PISSART, A., JUVIGNE, E., WOILLARD, G. et THOREZ, J. - 1972 - Les cicatrices de pingos de la Brackvenn (Hautes Fagnes). Compte rendu de l'excursion du 3 juillet 1971.
Les Congrès et Colloques de l'Université de Liège, 67, pp. 281-294.
- PISSART, A. et FRENCH, H. - 1975 - Les pingos de l'île de Banks. En préparation.
- RAPP, A. and RUDBERG, S. - 1960 - Recent periglacial phenomena in Sweden.
Biuletyn Peryglacjalny, 8, pp. 143-154.
- SEPPALA, M. - 1972 - Pingo like remnants in the Peltojärvi area of Finnish Lapland.
Geografiska Annaler, 54, ser. A, pp. 38-45.
- SLOTBOOM, R.T. - 1963 - Comparative geomorphological and palynological investigations of the Pingos (Viviers) in the Hautes Fagnes (Belgium) and the Mardellen in the Gutland (Luxemburg).
Zeitschr. für Geomorph., 7, pp. 193-231.
- SOLOVIEV, P.A. - 1952 - Les boulgounniaks de la Yakoutie centrale, dans **Etude des glaces éternelles de la République de Yakoutie**, Fasc. 3, pp. 226-258. Edition Acad. des Sc. de l'U.R.S.S. (Traduction orale de Mme Clemens, Centre National de Documentation, Bruxelles).
- SPARKS, B.W., WILLIAMS, R.B.G. and BELL, F.G. - 1972 - Presumed ground-ice depressions in East Anglia.
Proc. Roy. Soc. London, A 327, pp. 329-334.
- SVENSSON, H. - 1962 - Tundra polygons. Photographic interpretation and field studies in North Norwegian polygon areas.
Norges Geologiske Undersøkelse, n° 223, pp. 298-327.
- SVENSSON, H. - 1964 - Traces of pingo like frost mounds.
Lands studies in Geography, ser. A, Physical Geography, n° 30, pp. 103-106.
- SVENSSON, H. - 1969 - A type of circular lakes in northernmost Norway.
Geogr. Ann., 51 A, pp. 1-12.
- SVENSSON, H. - 1969 - Pingos i yttre delen av adventdalen.
Norsk Polarinstitut, Arbok, Oslo, pp. 168-174.
- THOREZ, J., JUVIGNE, E., PISSART, A. et PAEPE, R. - 1975 - Le sondage de la Brackvenn (Hautes-Fagnes - Belgique). Etude stratigraphique, sédimentologique et minéralogique. En préparation.
- TROTMAN, D.H. - 1963 - Peat deposits within a pingo near Llangurig, Wales.
Zeitschr. für Geomorph. NS, 7, pp. 168.

VAN AUTENBOER, T. and LOY, W. - 1966 - Pingos in Northwest Spitzbergen.

Norsk Polarinstitut, Arbok 65, Oslo, pp. 75-80.

VAN DER HAMMEN, T. - 1953 - Late-glacial flora and periglacial phenomena in the Netherlands.

Leidse Geol. Mededel., 17, pp. 71-183.

WASHBURN, A.L. - 1969 - Weathering, frost action and patterned ground in the Mesters Vig district, Northeast Greenland.

Medd. om Groenland, 176 (4), 303 pp.

WATSON, E. - 1971 - Pingos in Central Wales.

Geol. Journ., 7, pp. 381-392.

WATSON, E. - 1973 - Pingos in Cardiganshire and the latest ice limit.

Nature, 236, pp. 243-244. London.

WATSON, E. and WATSON, S. - 1972 - Investigations of some Pingo basins, near Aberysthwyth, Wales.

Rep. 24th Int. Geol. Congr. Canada, Sect. 12, pp. 212-233.

WOILLARD, G. - 1974 - Recherches sur le Pléistocène dans l'Est de la Belgique et dans les Vosges lorraines.

Thèse Université de Louvain, 216 pp., 42 pl.



JEUX DE CARTES

Toi qui pâlis au nom de Vancouver... ... Il serait tentant de parodier le poète : Toi qui pâlis au nom de Grand Bongard.

Ami, ne souris pas ; j'en connais plus d'un qui, au seul énoncé d'un nom lu au hasard sur la carte du Haut Plateau, entre aussitôt en transes.

Comment, aussi, résister à l'invite muette que nous lancent tous ces sites pourvus d'un toponyme prometteur ? Le Ru du Petit Bonheur, tout un programme ; la Helle, un nom qui sonne comme un appel.

Le doigt fébrile a repéré le gros point rouge du terre-plein de la Baraque Michel ; c'est tout d'abord un jeu de suivre les tirets de la piste du Noir Flohay et de glisser sans faillir sur le damier jaune de la Grande Fagne. Une hésitation cependant marque le passage qui frôle l'extrémité de la longue île verte du Geitzbusch ; il faut trouver la passe qui conduira de l'orée du Brandehaag aux parages convoités.

Et voici la terre promise. Laissons-nous aller au rêve ; on sera là pour le pique-nique de midi, altéré et affamé, d'abord attentif à la chanson cristalline qui monte de la Helle proche avant de succomber à la douceur de la sieste. Le lit de tourbe sèche accueillant nos membres détendus nous imprégnera d'une senteur vineuse qui ne nous quittera plus pendant plusieurs jours. Le ruisseau à consonance épiqueurienne, évocateur de modeste félicité, a tenu ses promesses : il faudra y revenir.

Allons voir plus loin. L'index tourne un moment en rond sur l'ovale jaune au liseré bleu du Grand Bongard puis se décide pour ces deux traits parallèles fonçant à l'assaut