

## LES TRACES DE LITHALSES ET DE PINGOS CONNUES DANS LE MONDE

*Par Albert PISSART,  
Professeur émérite à l'Université de Liège.*

### RÉSUMÉ

Le présent article concerne les dépressions fermées qui, dans des régions actuellement sans pergélisol, ont été considérées comme des traces de buttes cryogéniques, c'est-à-dire dues à l'apparition de glace dans le sol.

Nous ne nous attardons que sur les dépressions entourées d'un rempart dont la densité est élevée, car ces formes sont les seules qui sont semblables aux viviers des Hautes Fagnes. Nous évitons ainsi de considérer en détail toute une littérature qui concerne des dépressions énigmatiques, le plus souvent isolées, et qui souvent, sans argumentation solide, ont été attribuées à l'apparition de pingos.

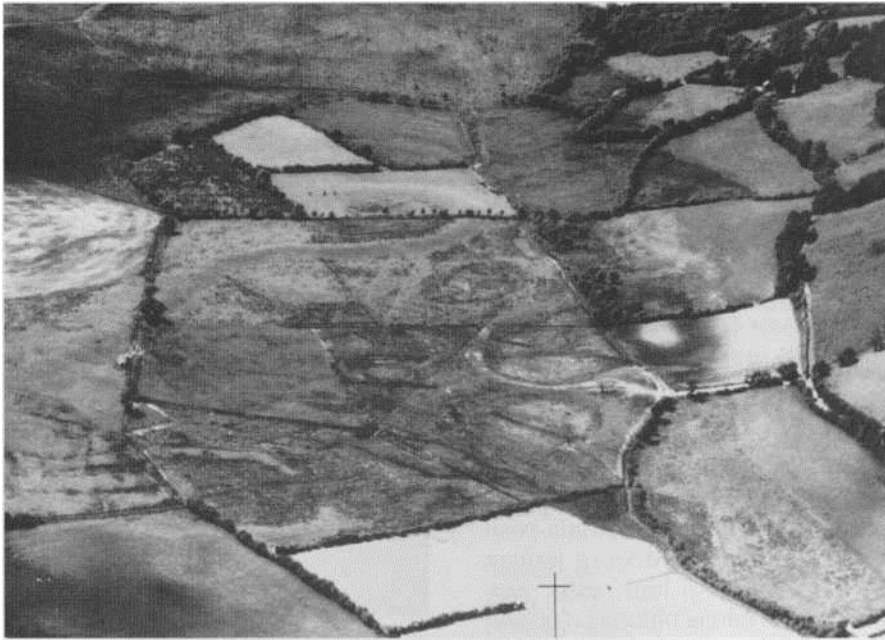
Les dépressions entourées d'un rempart sont rares. Des formes comparables aux viviers et apparues pendant le Dernier Dryas ont été seulement décrites en Irlande et au Pays de Galles. Des formes semblables sont aussi connues dans l'Est de l'Angleterre où elles sont apparues à la fin de la dernière glaciation, soit avant le Dernier Dryas, et en Laponie où elles se sont formées pendant l'Holocène. Enfin ont été décrites aux Pays-Bas des dépressions plus anciennes que le dernier Dryas, qui sont probablement des traces de pingos.

En ne considérant que les formes identiques aux viviers et datant du Dernier Dryas, la reconstitution paléo-climatique d'Isarin (1997) permet, sur la base de la connaissance des conditions d'apparition des lithalses actuelles, de proposer une délimitation des régions où de telles buttes cryogènes ont pu apparaître. Cet essai rend bien compte de la présence de formes à faible altitude en Irlande, de la morphologie observée au Pays de Galles vers 300 m, des viviers des Hautes Fagnes au-dessus de 500 m, et de leur absence ailleurs.

### Introduction

Depuis que Maarleveld et van den Toorn (1955) ont pour la première fois décrit des traces de pingos aux Pays-Bas, de nombreux articles ont été consacrés à des dépressions considérées comme des traces de buttes cryogéniques. Au départ, les dépressions étaient toutes interprétées comme des traces de pingos, car les lithalses (palses minérales) ont seulement été décrites beaucoup plus tard (Wramner, 1972). Dans le présent article, si nous citons la majorité des articles qui ont attribué à des phénomènes périglaciaires la formation de dépressions décrites, nous distinguerons cependant les dépressions entourées de remparts, et les dépressions sans rempart. Autrement dit, l'existence de remparts est le premier critère qui permet d'affirmer une ressemblance avec les viviers des Hautes Fagnes.

**Figure 1.** Photo des dépressions fermées décrites par A. Pissart (1963) près de Llangurig au Pays de Galles, au fond d'une vallée glaciaire (Cambridge University, Collection of air photographs).



## Les dépressions interprétées comme des traces de pingos. Comparaison avec les viviers des Hautes Fagnes.

### DANS LES ILES BRITANNIQUES

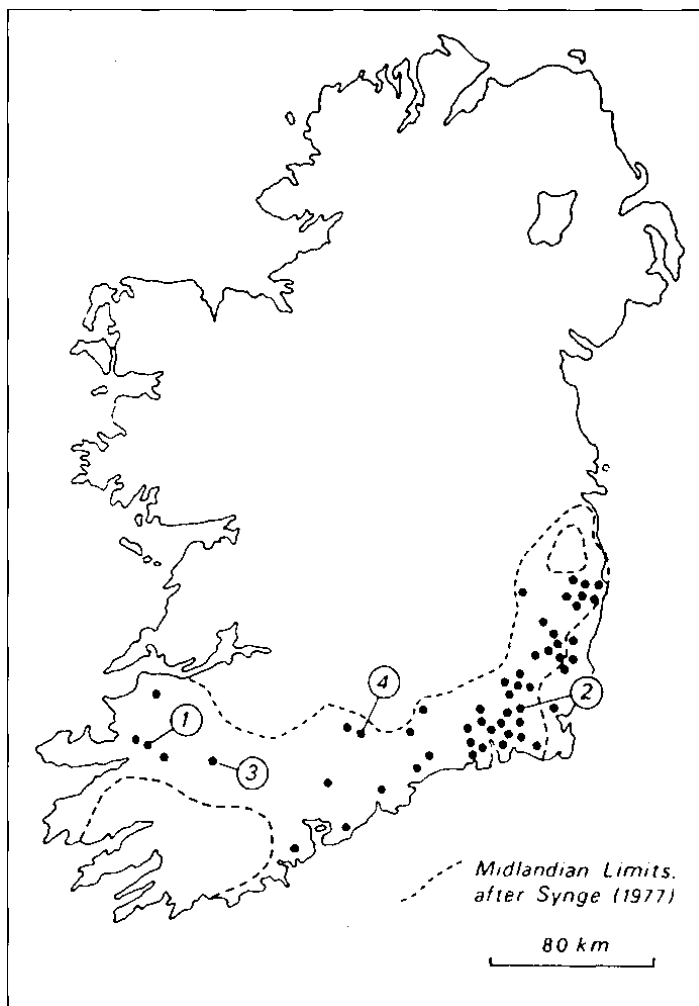
Un grand intérêt a été porté aux traces de buttes cryogènes depuis que, en 1963, j'ai décrit au Pays de Galles, et pour la première fois dans les Iles Britanniques, des dépressions entourées d'un rempart (figure 1) semblables aux viviers des Hautes Fagnes, formes que j'interprétais alors comme des traces de pingos. Les dépressions observées étaient tout à fait identiques aux viviers par leurs dimensions, par leurs remparts et aussi par leur âge puisque le remplissage des cuvettes a débuté au Pré-boréal (Trotman, 1963). Des formes comparables ont été décrites par la suite en d'autres endroits du Pays de Galles par E. Watson (1971, 1977) et par E. et S. Watson (1972, 1974), puis en Irlande par Mitchell (1971, 1973), Coxon (1986), Coxon et O'Callaghan (1987) et Warren (1981, 1987).

La morphologie décrite par Mitchell (1971, 1973) dans le sud-est de l'Irlande près de Camaross, 9 km à l'ouest-nord-ouest de Wexford et à une altitude d'environ 70 m, est absolument semblable à celle que nous connaissons en Belgique. La densité des formes est comparable à la densité des formes des Hautes Fagnes, comme le montrent les cartes et photos de Mitchell (1973). Les remplissages d'autres formes semblables décrits par Coxon (1986) au sud de Wexford et datés par radiocarbone et par palynologie sont tous postérieurs au Dernier Dryas (P. Coxon, communication personnelle, août 1998), comme l'avait déjà montré Mitchell (1973, 1977) auparavant. La figure 2 extraite de Coxon et O'Callaghan (1987) localise 50 points où des dépressions ont été reconnues. Elles sont toutes au sud de la limite de la dernière glaciation. La figure 3, qui donne l'allure des remparts à l'endroit indiqué par le chiffre 3 sur la figure 2, montre bien la similitude de formes. Warren (1981) signale pour sa part 13 sites avec des remparts, puis en 1987, une soixantaine de sites qui ne sont pas toujours localisés à la même place que ceux donnés par Coxon et O'Callaghan. Ces dépressions entourées d'un rempart existent en groupes à une altitude comprise entre 20 et 150 m d'élévation. Aucune relation avec

le substrat n'a été observée, mais une épaisseur de 1 à 1,5 m de dépôts superficiels mélangés (souvent des dépôts de solifluxion) était présente dans tous les sites.

Bryant et Carpenter (1987) ont aussi présenté une synthèse des connaissances se rapportant aux dépressions thermokarstiques connues dans les Iles Britanniques. La carte de Ballantyne et Harris (1994) reproduite sur notre figure 4 reprend leur cartographie en y ajoutant les endroits où Hutchinson (1980, 1991) a décrit l'existence de traces possibles de pingos. Sur cette figure, les sites où les formes sont identiques aux viviers des Hautes Fagnes sont localisés par des étoiles : Llangurig (figure 1. Pays de Galles, altitude 330 m, décrit par Pissart, 1963), Cledlyn Valley (figure 5. Pays de Galles, altitude 330 m, Watson E. et S., 1972), Cletwr Valley (figure 6. Pays de Galles, altitude 200-330 m, Watson E. et S., 1974.). L'âge de ces cuvettes est considéré comme incertain par Ballantyne et Harris (1994), bien que les datations  $^{14}\text{C}$  et les analyses palynologiques indiquent que les formes sont apparues pendant le Dernier Dryas : c'est en tout cas la conclusion de Handa et Moore (1976), qui donnent les résultats de recherches réalisées dans le remplissage de 3 dépressions des vallées de Cledlyn et Cletwr.

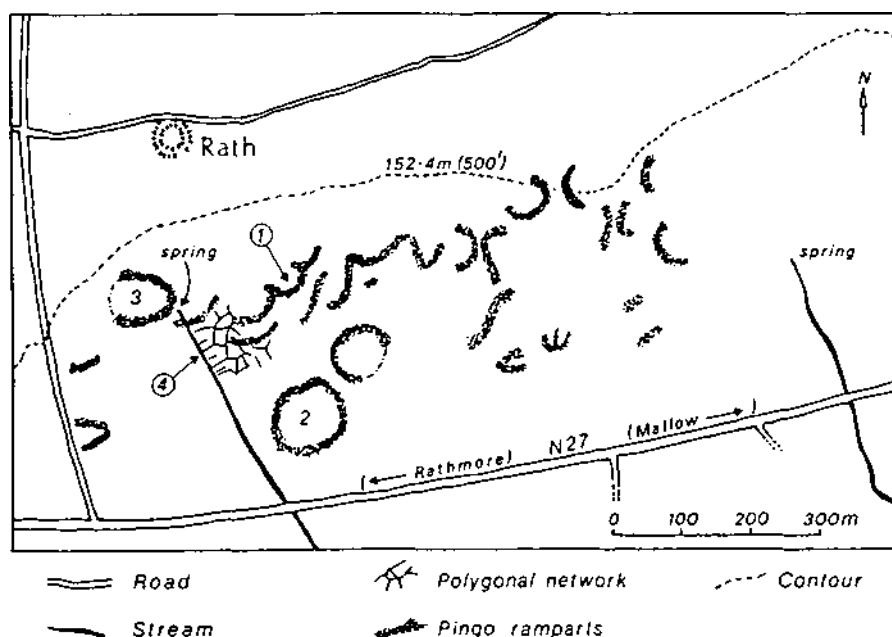
**Figure 2.** Localisation des "pingo remnants" en Irlande d'après Coxon et O'Callaghan (1987). Des descriptions suffisantes pour y reconnaître des traces de lithaleses existent pour les sites numérotés, mais spécialement pour la zone 2 détaillée par Mitchell (1973). En pointillés est dessinée la limite de la dernière glaciation.



Ballantyne et Harris (1994) mentionnent aussi des dépressions entourées d'un rempart qui auraient été signalées par Miller dans une thèse non publiée près de Brent Tor (Dartmoor) ; nous n'en connaissons pas assez pour pouvoir établir s'il s'agit de formes comparables à celles qui ont été décrites précédemment.

Les dépressions de l'île de Man expliquées comme traces de pingos par Watson (1971) sont signalées par Ballantyne et Harris (1994) comme "ramparted", bien que Watson ait mentionné une "complete absence of ramparts". Ces dépressions ne sont donc pas semblables aux formes dont nous parlons maintenant. L'absence totale de description pour les nombreuses formes du Cardiganshire mentionnées par Watson (1972) ne nous permet pas non plus d'accepter une similitude avec les viviers des Hautes Fagnes. Il en va de même pour les formes que Hutchinson (1980, 1991) a décrites dans l'argile de Londres et qu'il a interprétées comme des traces de pingos. Nous nous abstenons ici de porter un jugement sur l'origine des morphologies décrites et nous nous limitons à indiquer s'il y a similitude ou non avec les viviers des Hautes Fagnes.

**Figure 3.** Allure des remparts attribués à des pingos à Meenskeha, localité qui se trouve à l'emplacement du point 3 sur la figure 2. (Extrait de Coxon et O' Callaghan, 1987).



Par contre, nous devons souligner la ressemblance des formes des Hautes Fagnes avec celles décrites par Sparks et al. (1972) à une altitude inférieure à 30 m dans l'est de l'Angleterre (étoile sur la figure 4). Les auteurs ont soigneusement évité de parler de traces de pingos (soulignant la densité trop élevée de dépressions, qui s'oppose à une telle origine), et ont attribué l'apparition de ces formes à la fusion de glace du sol, dont aucun équivalent actuel de l'arctique n'est toutefois proposé. Le matériau des remparts est constitué de débris de craie et de sable, et cette morphologie est développée au pied d'un abrupt crayeux dans une zone où se localisent des sources, deux faits qui les différencient de ce que l'on trouve dans les Hautes Fagnes. Deux périodes de formation des dépressions ont été reconnues. La première, principale phase de développement de ces dépressions, se serait passée à la fin du Pléniglaciaire, soit nettement avant le Dernier Dryas. La seconde période, moins importante, aurait eu lieu à la fin du Dernier Dryas, à la suite de la fusion de glace du sol apparue pendant cette période. Les descriptions données suggèrent que la morphologie qui retient notre attention est apparue avant le Dernier Dryas, ce qui la différencie des viviers au point de vue âge. Ce point reste toutefois douteux et il serait d'un très grand intérêt de reprendre l'étude détaillée de ces formes de façon à disposer d'observations complémentaires (les coupes données dans cette publication n'ont pas d'échelle de hauteur).

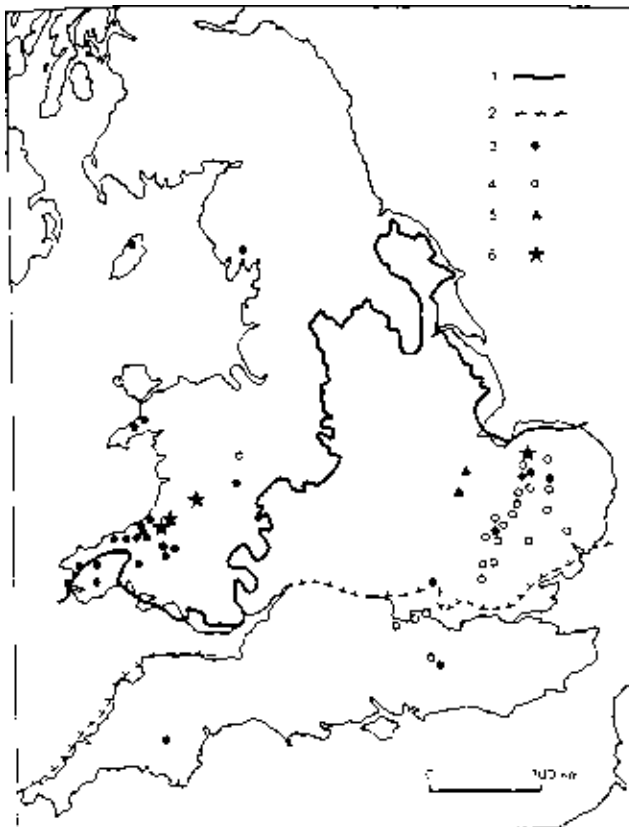
Ce travail reste toutefois extrêmement important dans le cadre du problème que nous traitons ici.

Une bonne description d'une dépression entourée d'un rempart peu marqué (1 m au maximum), mais toutefois isolée, a été donnée par Carpenter et Woodcock (1981) au sud de Londres, dans le Surrey. Développée dans des sables, l'âge minimum du remplissage obtenu par palynologie est le Dryas Récent, mais les auteurs se déclarent incapables de préciser avec certitude le moment d'apparition. Cette forme isolée dans des sables n'est pas comparable aux viviers et pourrait bien, comme le proposent les auteurs, être le reste d'un pingo apparu en système ouvert.

Bryant et Carpenter (1987) ont été surpris par l'absence de restes de buttes cryogéniques dans une grande partie des Midlands et dans l'Angleterre méridionale, et expliquent que, sans doute, cela résultait du manque de recherches dans ces secteurs. Nous montrerons plus loin que, plus probablement, c'est une différence climatique qui en est responsable.

Enfin, une dernière et excellente synthèse sur le sujet se trouve dans l'ouvrage de Ballantyne et Harris (1994, p. 65 à 83). Ils considèrent successivement tout ce qui a été attribué à des traces de pingos et ne séparent pas les formes selon leurs âges. Aussi, il n'est pas possible d'en tirer des conclusions. Ils font cependant apparaître, en les rassemblant sur leurs figures 5-17 et 5-18, les formes qui sont clairement identiques aux viviers des Hautes Fagnes. Dans la discussion qui termine le chapitre, les auteurs conservent pour toutes les dépressions l'hypothèse pingos, sans tenir compte des cas où un grand nombre de formes voisines les unes des autres constitue une objection majeure à cette interprétation.

**Figure 4.** Localisation des dépressions dues à la fusion de glace du sol décrites en Grande-Bretagne, d'après Ballantyne et Harris (1994).



1. Limite d'extension maximale de la dernière glaciation ;
2. Limite de l'extension maximale des glaciations pléistocènes ;
3. Restes de pingos en système ouvert ou de buttes cryogènes identifiés par le relief de la surface ;
4. Restes possibles de pingos en système ouvert ou de restes de buttes cryogènes ;
5. Site possible de pingos en système fermé ;
6. Traces de lithaleses.

Seuls les sites marqués d'étoiles, qui ont été ajoutées sur la figure originale de Ballantyne et Harris, sont clairement des traces de lithalses semblables aux viviers des Hautes Fagnes et apparues au Dernier Dryas (Pissart, 1963 ; Watson E. et S., 1972, 1974). L'étoile inscrite dans l'East Anglia correspond à une morphologie semblable, mais apparue à la fin du Pléniglaciaire (Sparks et *al.*, 1972). Nous ne portons pas de jugement sur les autres sites, mais toutefois les formes décrites par Watson sur l'île de Man (1971) n'ont pas de remparts et ne correspondent pas à des traces de lithalses.

## EN LAPONIE

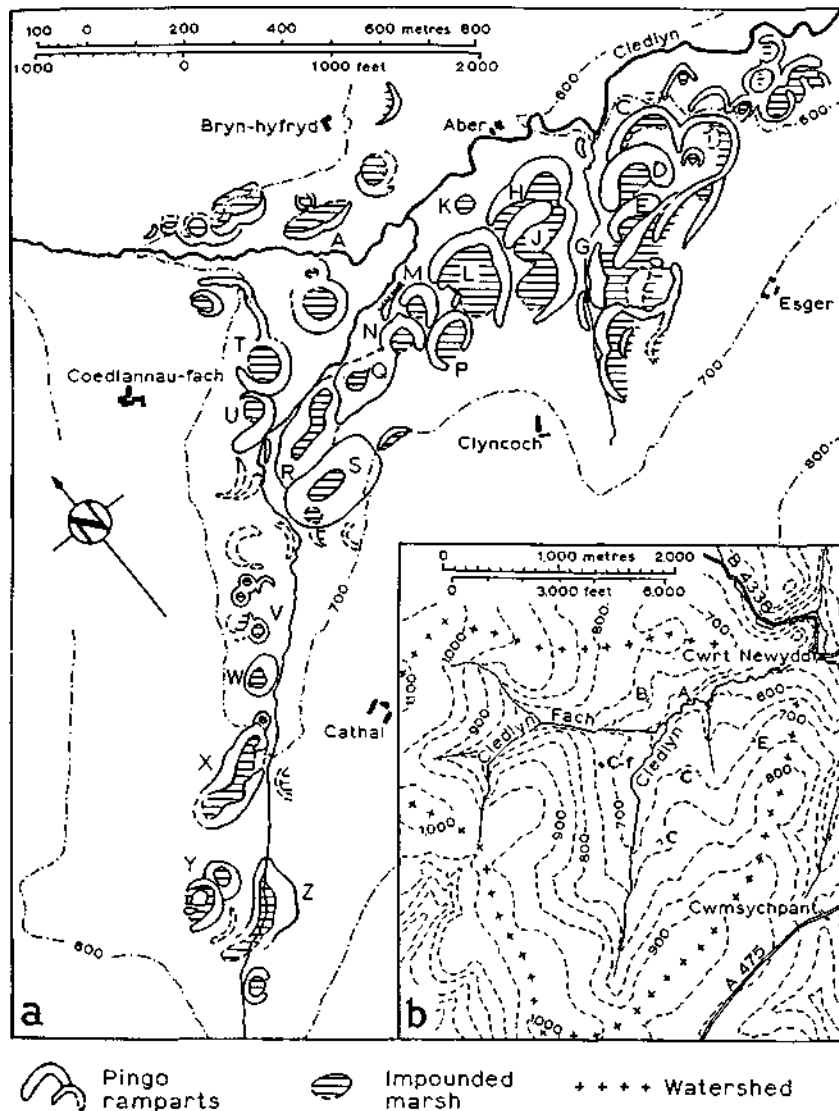
C'est en Suède, dans la région d'Abisko (Rapp and Rudberg, 1960), que pour la première fois à notre connaissance, il a été fait mention de l'existence de lacs entourés d'un rempart, formes qui paraissent être les traces de petits pingos ("like the remains of small pingos"). Ce site a été étudié par la suite par Akerman et Malmstrom (1986). Ces derniers auteurs ont observé des traces d'évolution établissant que certaines de ces formes contenaient toujours de la glace. Nous en avons parlé dans un article précédent consacré aux formes actuelles (Pissart, 2000).

Svensson (1964), après une description de formes observées tout au nord de la Norvège, écrit "In the morphological details, there is great conformity between the form examined in this paper and the viviers of Hautes Fagnes". Cette morphologie de dépressions entourées de remparts atteignant 7 m de hauteur, mais aussi de rides enchevêtrées, est localisée au sud du Laksefjord, qui s'ouvre à 50 km au sud-est du Cap Nord. Quatre sites sont décrits entre ce fjord et la rivière Tana. Ils se trouvent au-dessus de la limite de la forêt sur la surface doucement onduleuse (250-600 m) du Finmark. L'auteur n'a pas eu la possibilité de réaliser des fouilles et il décrit seulement la morphologie qui, si on en juge par la photo aérienne donnée dans cet article, est semblable aux formes complexes des Hautes Fagnes. Cette photo provient du Mont Askasgai'sa qui culmine à 639 m (70° 12' N, 26° 22' E) et n'est pas commentée dans le texte. H. Svensson mesure que ces formes sont difficiles à expliquer comme des traces de pingos, mais en l'absence d'une autre solution satisfaisante, il se rattache à cette hypothèse. Aucune observation dans cet article ne mentionne une évolution actuelle des formes, ni le moment où elles seraient apparues. Elles sont considérées comme des formes fossiles, car aucun processus de formation ou de dégénérescence n'a été observé.

En 1969, dans la même région de Norvège, dans la vallée supérieure de la rivière Corgosjokka (70° N, 26° E) entre 400 et 600 m, H. Svensson décrit des lacs entourés d'un rempart, dont une des formes s'affaisse à la suite de la fusion de la glace du sol. L'auteur considère que, bien que ces formes n'apparaissent pas dans un vrai marais, il s'agit de buttes cryogéniques peu élevées, comparables aux paises, et formées par de la glace de ségrégation. L'auteur mentionne que la tourbe est très mince et même absente en quelques places. Maintenant, il est clair qu'il s'agit de lithalses. Svensson mentionne d'ailleurs que l'effet d'isolation de la tourbe peut être compensé par de basses températures d'été. Il signale enfin l'existence de formes fossiles à des altitudes moins élevées et y voit une preuve de l'existence d'une période plus froide que maintenant au cours de l'Holocène. En l'absence de données climatiques, nous n'avons pas fait état de cette publication précédemment (Pissart, 2000), lorsque nous nous sommes préoccupés des conditions de température sous lesquelles apparaissent les lithalses.

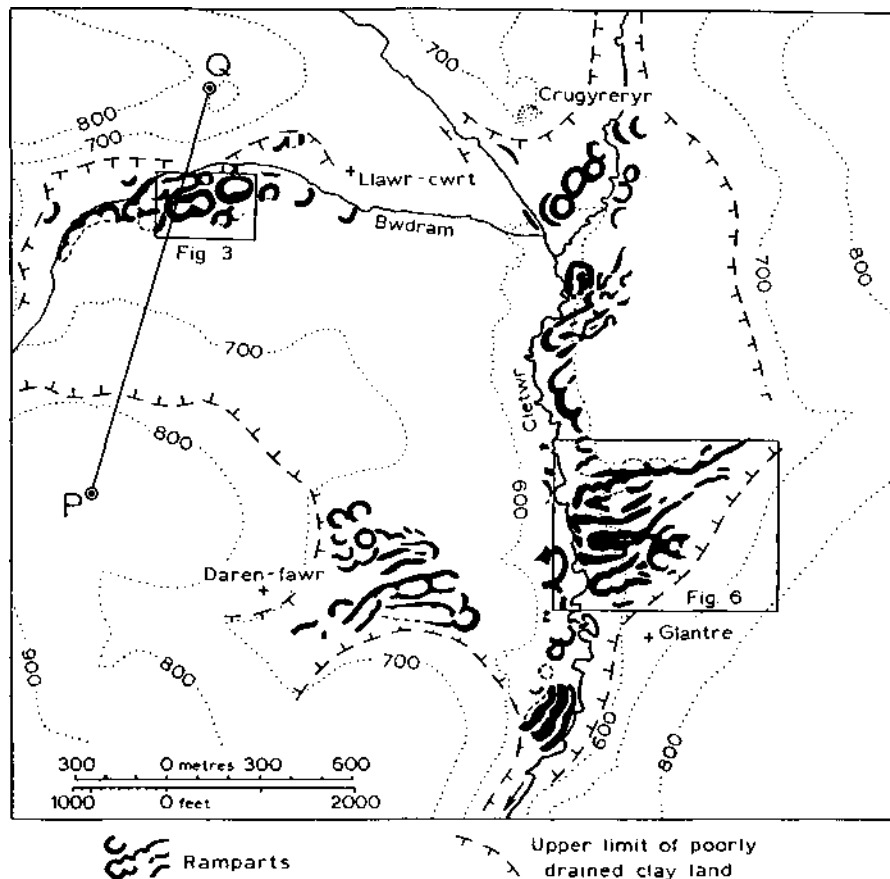


**Figure 5.** Les traces de lithalses de la vallée de Cledlyn (Pays de Galles) étudiées par E. et S. Watson en 1971 et interprétées comme des traces de pingos apparues au Dernier Dryas.



M. Seppälä (1972) a décrit au nord de la Finlande (69° 05' N, 26° 37' E), dans une zone actuellement sans pergélisol, une morphologie également en tout point semblable aux viviers des Hautes Fagnes (figure 7). Les remparts, très proches les uns des autres et enchevêtrés comme ils le sont chez nous, ont de 0,5 à 4,5 m de haut. Ces formes ont été interprétées comme des traces de pingos, ce qui était normal à l'époque. Cette morphologie est développée dans un matériau morainique sableux comprenant des pierres et des blocs. L'auteur signale également la ressemblance avec les viviers des Hautes Fagnes et les dépressions de Llangurig au Pays de Galles, en écrivant: "Morphologically very similar ridge forms have been described from western Europe (Pissart, 1963)." L'âge de ces formes est mal connu, mais des datations <sup>14</sup>C dans la région ont montré que la déglaciation dans la région s'est terminée il y a environ 9800 ans. L'auteur conclut, comme Svensson (1969), que ces formes attestent de l'existence après la déglaciation de périodes autrefois plus froides qu'aujourd'hui.

**Figure 6.** Les traces de lithales de la vallée de Cletwr (Pays de Galles) interprétées par E. et S. Watson (1974) comme des traces de pingos apparues au Dernier Dryas.



Ces articles établissent que des formes fossiles existent en Laponie à côté des formes actuelles décrites précédemment (Pissart, 2000). Ces morphologies sont toutes groupées dans une zone comprise dans un rayon de 120 Km. Comme le soulignent différents auteurs cités, il n'est pas nécessaire de faire appel à de grandes fluctuations climatiques pour expliquer la présence de restes de lithales 100 ou 200 m plus bas que les lithales actuelles qui, elles, se localisent à des altitudes comprises entre 580 et 1000 m (Pissart, 2000, tableau 2, p. 19).

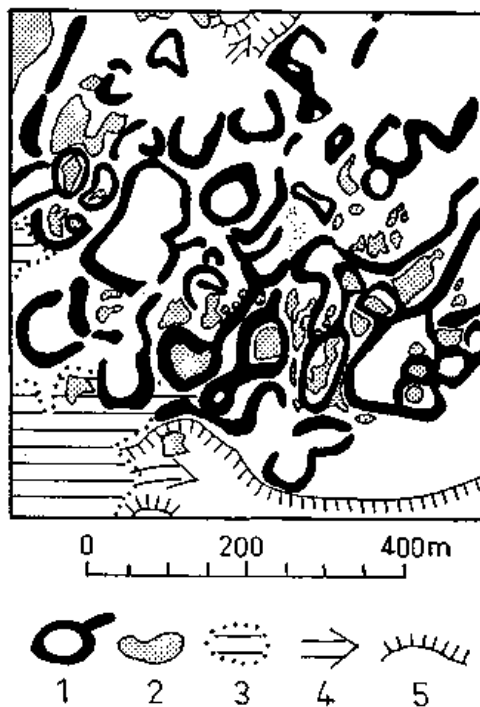
## AUX PAYS-BAS

### TRACES DE PINGOS PROBABLES

La première publication décrivant des traces de pingos en Europe a été l'œuvre de Maarleveld et van der Toorn en 1955. Cette publication reste tout à fait exemplaire. Elle concerne une partie sud-est de la province de Frise dans le nord des Pays-Bas. Si le rempart de la dépression étudiée n'est pas perceptible sur le terrain (1 m de dénivellation sur plus de 100 m de distance), par contre des sondages de quelques mètres de profondeur ont établi que des matériaux ont été accumulés en bordure de la cuvette. La coupe publiée en 1955 exagère 20 fois les hauteurs et donne une fausse impression du développement du rempart. Les dépressions de ce type, dont la profondeur atteint 6 m, étaient avant la publication de Maarleveld et Van der Toorn considérées comme des dépressions apparues à la suite de la fonte de blocs de glace abandonnés par le glacier qui a recouvert cette partie des Pays-Bas lors de l'avant-dernière glaciation (il y a près de 200.000 ans).



**Figure 7.** Morphologie identique à celle des viviers des Hautes Fagnes en Laponie (69° 05' N, 26° 37' E), qui a été décrite comme constituée de traces de pingos, mais qui sont vraisemblablement des traces de lithalses. Figure de M. Seppälä, 1972.



1. Ride de dépôts morainiques ; 2. Mare ; 3. Tourbière ; 4. Direction d'écoulement des eaux ; 5. Bordure d'un chenal de drainage tardiglaciaire.

Cependant la tourbe accumulée dans la cuvette date du Tardiglaciaire et l'absence de tourbe du Dernier Interglaciaire (Eemien) démontre que cette cuvette a été formée pendant la dernière glaciation. L'hypothèse glaciaire ne pouvant donc être retenue, Maarleveld et van den Toorn proposent d'y voir une trace de pingo. Cet article signale toutefois que, si des dépressions sont apparues pendant la dernière glaciation comme celle qui est décrite en détail, il en est d'autres qui ne commencent à se remplir de tourbe qu'à la limite Préboréal/Boréal et qui seraient apparues pendant le Dernier Dryas.

Nossin (1961), travaillant 1 à 2 km au sud de la zone étudiée par Maarleveld et van der Toorn, arrive aux mêmes conclusions, tout en insistant toutefois sur l'existence de deux stades de formation de pingos dans l'argile à blocs, l'une antérieure à l'Alleröd et l'autre antérieure au Préboréal. C'est toutefois le seul auteur qui, après Maarleveld et van den Toorn, ait admis que certaines formes auraient pu apparaître au Dryas Récent.

En 1976, De Gans publie un premier article sur les dépressions fermées d'une partie du plateau de Drenthe également au nord des Pays-Bas, mais plus à l'ouest, au sud de Groningue. Après avoir étudié 9 cuvettes, il distingue trois types de dépressions, à savoir 1) des dépressions peu profondes (-2 m), d'origine éolienne, 2) des dépressions de plus de 3,5 m de profondeur, qui sont considérées comme des traces de pingos avec de petits remparts de matériel non éolien autour des cuvettes, et dont le remplissage a débuté au Bolling, ce qui exclut une origine glaciaire saalienne, 3) des dépressions de profondeur intermédiaire, sans rempart, dont l'origine est indéterminée.

En 1981, W. de Gans, ayant poursuivi ses recherches sur cette question, présente à l'Université d'Amsterdam une thèse consacrée à la géologie du Quaternaire de la vallée de l'Aa, en Drenthe. Il donne une carte avec la répartition de 82 traces de pingos, mais précise que leur nombre est bien plus élevé en Drenthe. Il estime que 40% des dépressions topographiques peuvent être considérées comme des restes de pingos.

Dans la région de la vallée de l'Aa, la densité de ces traces de pingos est de 1 pour 4 Km<sup>2</sup>; le

nombre de traces de pingos aux Pays-Bas est estimé entre 500 et 1000 (de Gans, 1988). Toutes les dépressions dont la profondeur est supérieure à 2 m pourraient avoir cette origine. Il s'agit de formes ovales ou circulaires avec un diamètre compris entre 100 et 150 m. En 1988, de Gans précise que le diamètre maximum des dépressions est de 350 m. Cleveringa et *al.* (1977) ont montré que le remplissage d'une de ces dépressions avait débuté bien avant le Dernier Dryas, au Bolling. Le matériel organique existant sous les remparts a été daté par Paris et *al.* (1979), de Gans (1981), et de Gans et *al.* (1984). Les dates obtenues suggèrent la formation des remparts entre 18.000 et 13.000 B.P., soit avant le Dernier Dryas.

Ces traces de pingos sont caractérisées par l'existence d'un rempart, dont la hauteur ne dépasse toutefois pas 1,4 m. De Gans admet que ces remparts ont été partiellement érodés, car leur volume ne correspond pas au volume des dépressions. Les formes seraient, d'après les analyses palynologiques, apparues entre 25.000 et 19.000 B.P. et leur fusion se serait produite entre 18.000 et 13.000 B.P. Considérées comme des traces de pingos nés en système fermé, c'est à dire du type Mackenzie, ces formes sont localisées avant tout dans des têtes de vallées secondaires très peu marquées. Certaines formes n'auraient disparu, d'après certains auteurs, qu'au Pléniglaciaire supérieur, au Bolling ou même, immédiatement après, au Dryas Ancien. L'auteur explique cette date tardive par une fonte très lente du noyau de glace.

En bref, les études publiées sur ces dépressions sont donc nombreuses et concordantes. Van der Meulen (1988) donne la meilleure description structurale de telles formes observées moins de 10 km au sud de la zone étudiée par Maarleveld et Van der Toorn (1955). Un rempart a existé, mais a été altéré par des processus surtout éoliens. La taille des dépressions est plus grande que celles des Hautes Fagnes et leurs formes en plan sont régulières (ovale ou circulaire). Les âges obtenus montrent que les buttes cryogéniques seraient apparues au Pléniglaciaire. Il ne s'agit donc pas de formes comparables aux viviers des Hautes Fagnes et il est vraisemblable que, comme les auteurs néerlandais le proposent, il s'agit de vraies traces de pingos formés en système fermé, peut-être au moment de l'établissement d'un pergélisol profond. Les pingos ne seraient pas en relation avec des lacs mais, selon nous, ils pourraient être apparus au moment du développement du pergélisol au cours de phases de refroidissement brutal, dont on connaît maintenant l'existence au cours de la dernière glaciation.

## TRACES DE LITHALSES PROBABLES

En 1992, Kasse et Bohncke ont décrit au sud des Pays-Bas, dans la réserve du "Groote Peel", de très nombreuses dépressions, dont la longueur peut atteindre 90 m et la profondeur 3 m. Certaines de ces dépressions sont entourées d'un rempart peu élevé atteignant 50 à 100 cm d'élévation. Ces dépressions ont été considérées par Joosten et Bakker (1987), Van den Munckhof (1988) et Joosten (1988) comme des traces possibles de pingos. La photo aérienne publiée dans par Kasse et Bohncke (1992) montre une densité de formes très semblables à celle des viviers des Hautes Fagnes. Une étude détaillée du remplissage de deux cuvettes soigneusement choisies a permis de distinguer une cuvette peu profonde (1 m) due à la déflation éolienne et une cuvette plus profonde (3 m) attribuée à l'apparition de buttes cryogéniques formées de glace de ségrégation. Les analyses palynologiques indiquent que le remplissage de cette dernière dépression a commencé lors du Dryas Ancien et peut-être même lors du Dryas le plus Ancien. Les auteurs pensent que la fusion du noyau de glace a été terminée au début du Bolling.

Sur le terrain, la morphologie est peu apparente. La photo aérienne montre une densité de formes importante qui permet d'exclure qu'il s'agit de traces de pingos. Ces formes sont les seules qui, à notre connaissance, aux Pays-Bas, ressemblent aux viviers, mais, toutefois, s'il s'agit de formes semblables, elles sont plus anciennes puisque la glace du sol serait apparue pendant le Pléniglaciaire.

## EN FRANCE

A. Cailleux (1956, 1960) a proposé de considérer comme des traces de pingos des dépressions fermées de la région parisienne. Nous avons étudié ces formes (Pissart, 1958) et n'avons trouvé

aucune ressemblance avec les viviers des Hautes Fagnes. Boyé (1957, 1958) a présenté la même hypothèse pour des dépressions des Landes, mais jamais aucun rempart n'a été observé et ces formes sont restées énigmatiques. Signalons aussi que Rousset (1964) et Bout (1968) ont interprété comme périglaciaires de petits lacs et dépressions sur basalte du Massif Central, mais il s'agit cette fois encore de dépressions fermées sans rempart.

## EN ALLEMAGNE

Plusieurs travaux ont proposé d'interpréter des dépressions en Allemagne comme des restes de pingos. Le premier de ceux-ci (Mückenhausen, 1960) portait sur des viviers allongés qui se trouvent à proximité immédiate de la frontière belge. Cet article a montré que les formes allongées des Hautes Fagnes sont dues à une alimentation progressive vers le haut du versant du noyau de glace en croissance et admettait l'origine "pingo", que j'avais proposée quatre ans auparavant.

En 1961, Picard décrit près de Husum, dans le Schleswig-Holstein, sur la côte ouest à environ 45 km au sud du Danemark, quatre dépressions de 60 m de diamètre qu'il interprète aussi comme des traces de pingos. Un important travail publié par Wiegand (1965) en Europe Centrale décrit de nombreuses dépressions qui sont aussi interprétées comme des restes de pingos.

Bien que des remparts soient décrits localement, aucune des photos ou des coupes ne montre une morphologie comparable à celle que nous connaissons chez nous. En 1976, Mückenhausen et *al.* décrivent des dépressions fermées sur des terrasses du Rhin, mais les descriptions ne mentionnent pas l'existence de remparts et ne présentent aucune ressemblance avec les viviers des Hautes Fagnes.

## EN POLOGNE

Dylik (1964) a décrit dans la région de Lodz des dépressions fermées, dont une a été étudiée par de nombreux sondages. Développées dans des sables et graviers fluvioglaciaires, ces dépressions datent de l'avant-dernière glaciation, puisque de la tourbe eemienne a été reconnue dans le remplissage. Aucun rempart n'a été distingué et, en tout cas, aucune structure qui résulterait de la descente de matériaux sur la pente d'une butte. Cette forme interprétée comme une trace de pingo est tout à fait différente des viviers des Hautes Fagnes.

Très récemment, une autre morphologie a été décrite à l'extrémité nord-est de la Pologne (Rutkowski et *al.*, 1998). La forme est spectaculaire, avec un diamètre de 140 m et un rempart de 10 à 18 m d'élévation (!) constitué de sables et de graviers. Les auteurs considèrent cette forme comme le reste du pingo le plus grand et le mieux préservé d'Europe. On attend avec intérêt une étude plus complète de cette dépression qui, en tout cas, par ses caractères extérieurs, n'est pas comparable aux viviers des Hautes Fagnes.

## EN AMÉRIQUE DU NORD

Beaucoup plus rares sont les dépressions qui ont été interprétées comme des restes possibles de pingos en Amérique. Les formes les plus connues sont les restes présumés de pingos décrits par Flemal en Illinois (Flemal et *al.*, 1973, Flemal, 1976). Ces formes sont plus de 500, sur une surface d'environ 300 Km<sup>2</sup> Elles sont réparties dans une basse plaine morainique avec des dépôts glaciaires épais. De forme circulaire ou elliptique, certaines sont entourées d'un rempart.

Le diamètre moyen est de plusieurs dizaines de mètres, quoique plusieurs atteignent 400 m de diamètre. La hauteur des remparts est comprise entre une fraction et plus de 5 mètres. Un groupement des formes est fréquent et celles qui se recouvrent sont nombreuses. Ces dépressions sont remplies de sédiments lacustres sur une épaisseur atteignant 7 m. L'absence de sédiments lacustres entre la couverture supérieure de loess et les sédiments glaciaires sous-jacents établit que ces formes datent de la dernière glaciation. Des dépressions annulaires entourent beaucoup de ces formes et sont expliquées comme résultant de la fusion de la glace du pergélisol autour d'anciens pingos. C'est un fait qui n'a jamais été observé autour de traces de lithalses et ne peut d'ailleurs apparaître si les buttes cryogéniques sont, comme les lithalses, des îlots de pergélisol. Nous considérons en conséquence que nous nous trouvons en présence d'une morphologie différente de celles que nous trouvons dans les Hautes Fagnes. Signalons aussi que Bik (1969) a proposé de considérer comme des traces possibles de pingos des buttes de prairie de l'Alberta au Canada. Ces formes ne présentent pas des caractères qui peuvent être comparés à ceux des viviers des Hautes Fagnes.

Par ailleurs, avec le Professeur P. Gangloff, nous sommes allés voir en 1993, en Pennsylvanie, des dépressions décrites comme des "pleistocene pingo scars" (Marsh, 1987), mais il s'agit de formes clairement différentes des viviers, et Marsh lui-même les a réinterprétées par la suite comme dues à des actions éoliennes (Marsh, 1992, 1998).

## **La répartition des traces de lithalses apparues au Dernier Dryas, les conditions d'apparition des lithalses actuelles et les données paléoclimatiques de Isarin (1997).**

La confrontation des données que nous avons présentées dans les articles précédents avec la distribution des traces de lithalses apparues au cours du Dernier Dryas que nous venons de reconnaître, fera apparaître si une cohérence existe entre la répartition des formes fossiles, la reconstitution paléoclimatique proposée par Isarin (1997) et les conditions d'apparition des lithalses que nous avons définies en étudiant les lithalses de Hudsonie et de Laponie (Pissart, 2000).

Nous retenons de la littérature rapportée plus haut que des formes semblables aux viviers des Hautes Fagnes ont été observées au sud de l'Irlande (Mitchell, 1971, 1973; Coxon, 1986 ; Coxon et O'Callaghan, 1987 ; Warren, 1987) à des altitudes variant entre 20 et 150 m, au Pays de Galles entre 200 et 330 m (Pissart, 1963 ; E. Watson, 1971, 1977 ; E. et S. Watson, 1972, 1974) et dans les Hautes Fagnes entre 500 et 700 m. Des formes semblables, mais plus anciennes, existent par ailleurs dans le Norfolk (Sparks et al., 1972) et aux Pays-Bas (Kasse et al., 1992).

L'étude des lithalses actuelles de Hudsonie nous a montré que ces formes étaient présentes là où la température moyenne annuelle varie entre 4,3°C et -6°C et la température moyenne du mois le plus chaud varie entre +9,5°C et +11,5°C. Nous n'avons malheureusement pas des données aussi précises pour les formes de Laponie où les indications semblent être de -3,9°C pour la température moyenne annuelle et + 8,3 °C pour le mois le plus chaud (Pissart, 2000, p.19). Au total, nous estimons que les lithalses peuvent apparaître dans une zone où la température moyenne annuelle est comprise entre -4 °C et -6 °C et la température du mois le plus chaud est entre +9 et +11,5 °C.

Nous pouvons sur cette base localiser, en considérant les données des cartes d'Isarin (1997), les zones où ces deux conditions sont rencontrées. Les figures 8, 9, et 10 montrent où, selon le travail d'Isarin, de telles zones existent au niveau de la mer, à l'altitude de 250 m et à l'altitude de 500 m, altitudes qui correspondent aux zones à traces de lithalses d'Irlande, du Pays de Galles et des Hautes Fagnes.

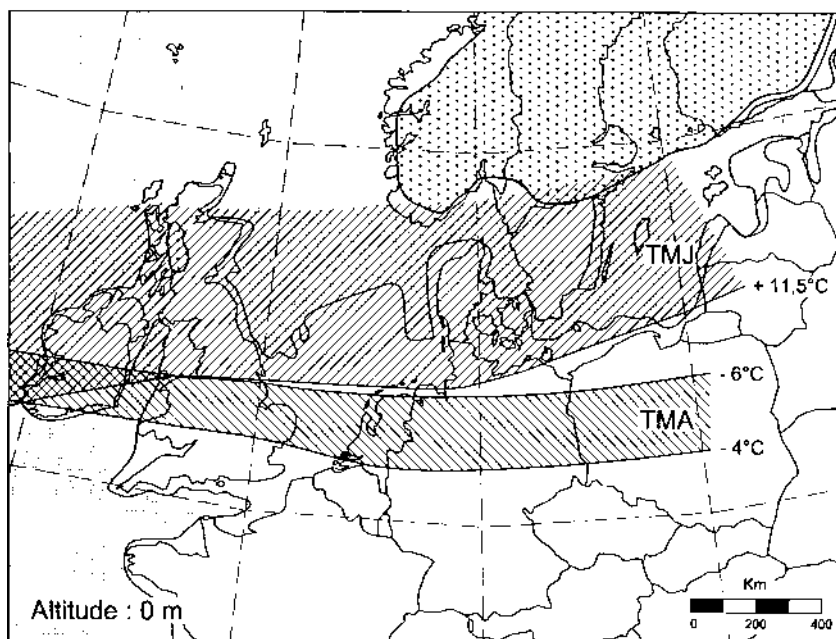
Ces cartes sont évidemment hypothétiques et exploitent d'une façon extrême, c'est-à-dire à une fraction de degré près, les reconstitutions d'Isarin. Nous allons voir qu'elles sont cependant fort intéressantes, car elles font apparaître pourquoi les traces de lithalses sont si rares en Europe.

Au niveau de la mer, la carte 8 montre que il n'y aurait qu'une petite zone en Irlande où des lithalses auraient pu apparaître. Précisons que si l'on tient compte du gradient de 0,6°C par 100 m d'élévation utilisé par Isarin, il y a une bonne correspondance entre la carte et les traces de lithalses qui y sont observées entre 20 et 150 m d'altitude (ce qui déplace d'autant vers le sud la zone favorable cartographiée).

A l'altitude de 250 m, en tenant compte du gradient de 0,6°C par 100 m utilisé par Isarin, la zone où les lithalses peuvent apparaître couvre (figure 9) la bordure sud de l'Irlande et la zone du Pays de Galles où des lithalses ont été observées. La prolongation de cette zone sur le continent s'étend sur les plaines des Pays-Bas et de l'Allemagne, où cependant aucun relief n'atteint l'altitude de 250 m et où des lithalses n'ont de ce fait pas pu se former.

A l'altitude de 500 m, qui est l'altitude à partir de laquelle on trouve des viviers dans les Hautes Fagnes, les zones où des lithalses auraient pu apparaître au Dernier Dryas, s'étendent, comme le montre la figure 10, du sud de l'Angleterre jusqu'au delà de Francfort en Allemagne. Ici, il faut noter une discordance avec la répartition des traces observées de lithalses: des massifs plus élevés que 500 m s'étendent à l'est de l'Ardenne et des formes semblables aux viviers n'y sont pas connues. Un changement de seulement un degré de la température du mois le plus chaud (figuré sur la carte 10 par l'isotherme de 10,5°C) permet cependant de faire correspondre les observations de terrain et les données d'Isarin en limitant la zone d'apparition des lithalses aux endroits où effectivement elles ont été trouvées en Belgique (extrême nord de l'Ardenne) et en excluant leur présence plus à l'est.

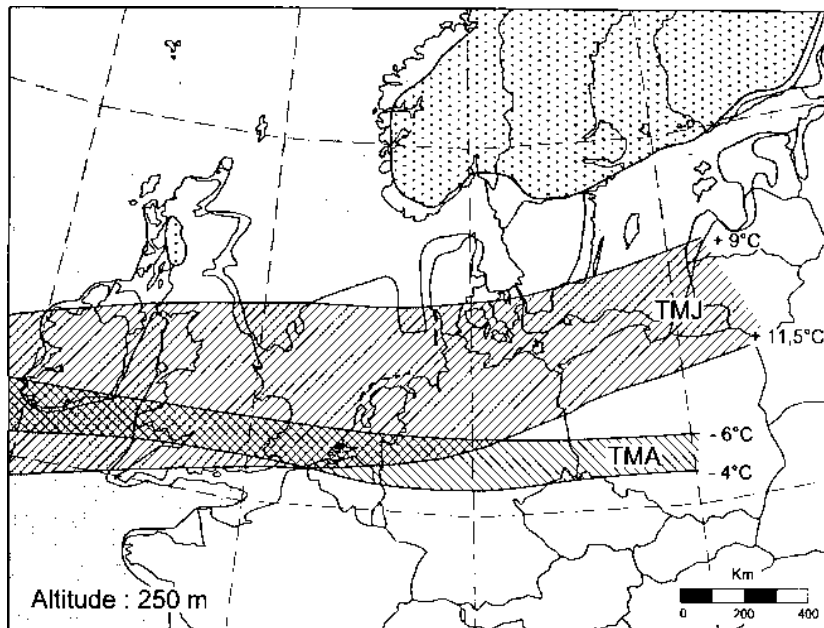
**Figure 8.** Carte établie d'après la reconstruction paléogéographique d'Isarin (1997) pour la première partie du Dernier Dryas. Elle montre les zones où, au niveau de la mer, la température moyenne annuelle (TMA) était comprise entre -4 et -6°C et la température du mois de juillet (TMJ) était comprise entre +9 et +11,5°C.



La zone où les deux hachurés se recouvrent est celle où, au niveau de la mer, les conditions climatiques étaient favorables à l'apparition des lithalses. Les conditions permettant l'apparition de lithalses au niveau de la mer n'existaient, d'après cette figure, qu'en Irlande. La zone favorable est un peu trop au nord de la zone où se trouvent les traces de lithalses, mais cadre mieux si on ne tient compte de l'altitude de ces témoins.

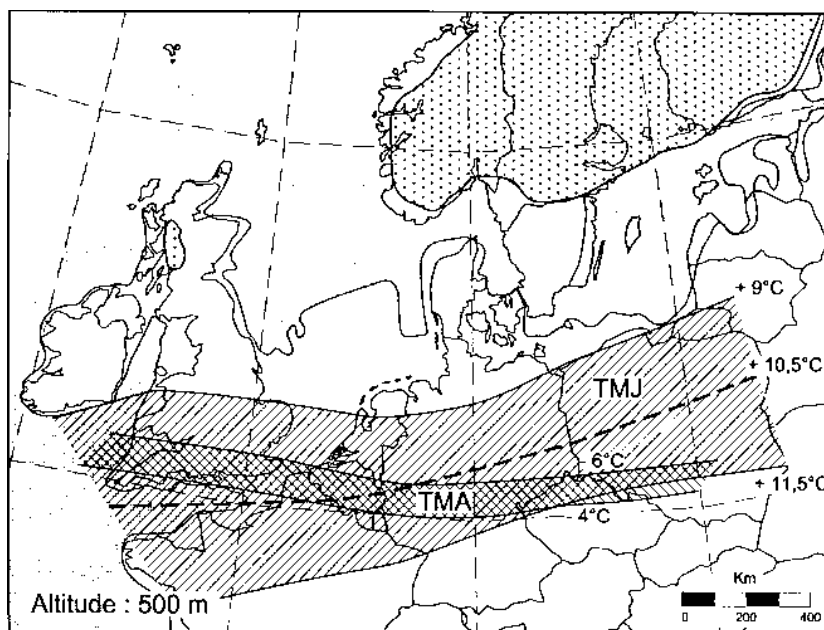


**Figure 9.** Carte établie d'après la reconstruction paléogéographique d'Isarin (1997) pour la première partie du Dernier Dryas. Elle montre les zones où, à 250 m d'altitude (gradient de température utilisé : 0,6°C par 100 m), la température moyenne annuelle (TMA) était comprise entre -4 et -6°C et la température du mois de juillet (TMJ) était comprise entre +9 et +11,5°C.



La zone où les deux hachurés se recouvrent est celle où, à 250 m d'altitude, les conditions climatiques étaient favorables à l'apparition des lithalses. Sur le continent, la zone favorable correspond à la plaine germano-hollandaise où aucun relief n'atteint cette altitude et donc où des lithalses n'auraient pas pu apparaître.

**Figure 10.** Carte établie d'après la reconstruction paléogéographique d'Isarin (1997) pour la première partie du Dernier Dryas. Elle montre les zones où, à 500 m d'altitude (gradient de température 0,6°C par 100 m), la température moyenne annuelle (TMA) était comprise entre -4 et -6°C et la température du mois de juillet (TMJ) était comprise entre +9 et +11,5°C.



La zone où les deux hachurés se recouvrent est celle où, à 500 m d'altitude, les conditions climatiques auraient été favorables à l'apparition des lithalses. Ce schéma correspond bien à l'apparition des traces de lithalses des Hautes Fagnes. Toutefois, la zone favorable à l'apparition de lithalses s'étend au travers de l'Allemagne jusqu'à la République Tchèque, zone où cependant des traces de lithalses ne sont pas connues. Le trait en pointillés correspond à l'isotherme de la température de juillet de +10,5°C. Si on adopte cette valeur comme limite au lieu des 11,5 °C, la répartition observée des traces de lithalses qui n'existent qu'au nord de l'Ardenne et pas en Allemagne est expliquée.



Cet essai montre que les zones où les conditions climatiques ont été favorables à l'apparition des lithalses pendant le Dernier Dryas sont fort réduites et correspondent d'une manière fort satisfaisante aux données publiées par Isarin.

En ce qui concerne les traces de formes comparables aux viviers qui sont plus anciennes et qui sont observées dans le Norfolk (Sparks *et al.*, 1972) et aux Pays-Bas (Kasse *et al.*, 1992), il est probable qu'elles sont apparues ensemble au cours d'une phase climatique plus froide que le Dernier Dryas. Pour une température moyenne annuelle semblable à celle du Dernier Dryas, la température moyenne du mois le plus chaud devait être, pour en rendre compte, environ 2,5°C inférieure à celle qui a existé au cours de cette même période.

Bien entendu, les conclusions que nous avançons devront être revues si de nouvelles traces de lithalses datant du Dernier Dryas sont découvertes ailleurs en Europe.

## Conclusions

Cet inventaire des formes décrites dans le monde comme des traces de buttes cryogènes fait apparaître que, si de nombreuses dépressions fermées ont été expliquées comme des traces de pingos, il en est cependant très peu qui présentent des morphologies qui sont semblables aux viviers des Hautes Fagnes et qui peuvent être considérées comme des traces de lithalses. Les viviers des Hautes Fagnes sont des formes rares, dont on connaît seulement l'équivalent dans les Iles Britanniques et en Laponie.

Toutes les formes décrites comme des traces de buttes cryogènes dans la littérature ont été rassemblées jusqu'aujourd'hui en un amalgame malheureux à partir duquel il a été impossible de tirer des conclusions paléogéographiques. Les traces de lithalses étaient en effet considérées comme des traces de pingos. En retenant uniquement les conditions de température qui, en Hudsonie et en Laponie, permettent l'apparition des lithalses, il est possible d'une manière très satisfaisante, sur la base de la reconstitution paléo-climatique d'Isarin (1997), de limiter les zones où, au cours du Dernier Dryas, de telles formes ont pu apparaître. Le présent essai de reconstitution montre que les traces de lithalses sont des indicateurs paléo-climatiques précis, mais malheureusement fort rares.

Mes premières publications sur le sujet ont contribué à l'apparition de l'amalgame que nous venons de dénoncer, amalgame mélangeant traces de pingos et de lithalses. Il est vrai que l'existence des lithalses (ou pases minérales) n'a été connue qu'au début des années 70. Depuis de nombreuses années, je m'efforce de montrer les difficultés d'expliquer les viviers comme des traces de pingos et de les faire considérer comme de traces de lithalses (de pases minérales), sans arriver à convaincre. Guerny (1995), à ma connaissance, a été le seul à suivre cette voie pour les formes du Pays de Galles.

Je me garderai bien de penser que tout est connu sur les viviers et qu'un point final est apporté en ce qui concerne leur origine. Les lithalses actuelles restent peu étudiées et les recherches de nos collègues du Québec apporteront certainement des précisions nouvelles à ce sujet. La thèse de Isarin (1997) est venue à son heure au moment où, pour la première fois, des formes identiques aux viviers étaient observées en Hudsonie pour nous faire comprendre pourquoi ces formes sont si rares en Europe occidentale.

*Esneux, le 9-6-2000.*

## Bibliographie

- Akerman, H. J. and Malmstrom, B., 1986. Permafrost mounds in the Abisko area, northern Sweden. *Geografiska Annaler*, 68A (3) : 155-165.
- Ballantyne, C. K. and Harris, C., 1994. *The periglaciation of Great Britain*. Cambridge University Press, 330 p.
- Bik, M. J. J., 1969. The origin and age of the prairie mounds of southern Alberta, Canada. *Biuletyn Peryglacjalny*, 19 : 85-130.
- Bout, P., 1986. Des cicatrices de pingos en Devès (Haute-Loire), France. *Biuletyn Peryglacjalny*, 31 : 17-26.
- Boyé, M. 1957. Clots, lagües et lagunes de la lande girondine. *C. R. séances de l'Académie des Sciences*, 244 : 1058-1060.
- Boyé, M., 1958. Les lagunes du plateau landais. *Biuletyn Periglacjalny*, 6 : 195-335.
- Bryant, R. H. and Carpenter, C. P., 1987. Ramparted ground ice depressions in Britain and Ireland. In *Periglacial processes and landforms in Britain and Ireland* (John Boardman edit.), Cambridge University Press. 296 p. : 183-190.
- Cailleux, A., 1956. Mares, mardelles et pingos. *CR. Séances Académie des Sciences*, 242 : 1912-1914.
- Cailleux, A., 1960. Sur les mares et lacs ronds des plaines aujourd'hui tempérées. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 11 : 28-29.
- Cailleux, A., 1960. Les pingos quaternaires de France. *Revue de Géographie de Montréal*, 30 : 374-379.
- Carpenter, C. P. and Woodcock, M. P., 1981. A detailed investigation on a pingo remnant in Western Surrey, *Quaternary studies*, 1 :1-26 Cleveringa, P., de Gans, W., Kolstrup, E. en Paris F. P., 1977. Vegetational and climatic developments during the Late Glacial and the early Holocene and eolian sedimentation as recorded in the Uteringsveen (Drente, The Netherlands). *Geologie en Mijnbouw*, 56 (3) : 234-242.
- Coxon, P., 1986. A radiocarbon dated early post glacial pollen diagram from a pingo remnant near Millstreet, County Cork. *Irish Journal of Earth Science*, 8 : 9-20.
- Coxon, P. and P. O'Callaghan, 1987. The distribution and age of pingo remnants in Ireland. In *Periglacial processes and landforms in Britain and Ireland* (John Boardman edit.). Cambridge University Press. 296 p. : 195-202.
- de Gans, W., 1976. Dobben in het Drents Plateau. *Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap*, 5 : 354-364.
- de Gans, W., 1981. *The Drentsche Aa valley system. A study of quaternary geology*. Academisch proefschrift ter Verkrijging van de graad van doctor in de Wiskunde en natuurWetenschappen aan de Vrije Universiteit te Amsterdam. Edit. Rodopi, Amsterdam, 132 p.
- de Gans, W., 1988. Pingo scars and their identification. *Advances in Periglacial Geomorphology* (M.J.Clark, edit.). J. Wiley and sons Ltd, 481 p. : 299-322.
- Dylik, J., 1964. L'étude de la dynamique des dépressions fermées à Józefów aux environs de Lodz. *Revue de géomorphologie dynamique*, 15 (10) : 14 p.
- Flemal, R. C., 1976. Pingos and pingo scars. Their characteristics, Distribution and utility in reconstructing former permafrost environments. *Quaternary Research*, 6 : 37-53.

- Flemal, R. C., Hinkley, K. C. and Hesler, J. L., 1973. DeKalb mounds: a possible pleistocene (Woodfordian) pingo field in north-central Illinois. In "The Wisconsinan Stage" (R. F. Black, R. P. Goldwait and H. B. Willman, Eds). *Geological Society of America*, Memoir 136 : 229-250.
- Gurney, S. D., 1995. A reassessment of the relict pleistocene "pingos" of west Wales: Hydraulic pingos or mineral paisas ? *Quaternary Newsletter*, 77 : 6-16.
- Handa, S. and Moore, P., D., 1976. Studies in the Vegetational history of Mid Wales. IV. Pollen analyses of some pingos basins. *New phytologist*, 77 : 205-225.
- Hutchinson, J. N., 1980. Possible late Quaternary pingo remnants in central London. *Nature*, 184 : 253-255.
- Hutchinson, J. N., 1991. Periglacial and slope processes. In *Quaternary Engineering Geology*, A. Forster, M. G. Culshaw, J. C. Cripps, J. A. Little, and C. F. Moon (edit) : 283-331.
- Isarin, R. F. B., 1997. *The climate in northwestern Europe during the Younger Dryas. A comparison of multi-proxy climate reconstructions with simulation experiments*. Drukkerij Elinkwijk b.v., Utrecht, 160 p.
- Joosten, J. H. J., 1988. Het Groote Peellandschap : Samenhangen in verscheidenheid. *Natuurhistorisch Maanblad*, 77 : 146-151.
- Joosten, J. H. J. and Bakker, T. W. M., 1987. *De groote Peel in Verleden, Heden en Toekomst*, Rapport 88-4 Staatsbosbeheer, Utrecht, 291 p.
- Kasse, K. and Bohncke, S., 1992. Weichselian Upper Pleniglacial Aelian Ice-cored Morphology in the Southern Netherlands (Noord-Brabant, Groote Peel). *Permafrost and Periglacial Processes*, 3 : 327-342.
- Kolstrup, E., 1999. Recognition of former permafrost mounds in Pleistocene deposits and their use as indicators for past environments, *Biuletyn Peryglacjalny*, 38 : 111-126.
- Maarleveld, G. C. et Van Der Toorn, 1955. Pseudo-Sölle in Noord-Nederland. *Tijdschrift van het koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, 72 (4) : 344-360.
- Marsh, B., 1987. Pleistocene pingo scars in Pennsylvania. *Geology*, 15 : 945-947.
- Marsh, B., 1992. *Central appalachian periglacial geomorphology. A field Excursion Guidebook*. PennState , College of Agriculture, Agronomy series number 120 : 128-131.
- Marsh, B., 1998. Wind-transverse corrugations in Pleistocene periglacial landscapes in central Pennsylvania. *Quaternary Research*, 49 : 149-156.
- Matthews, J.A., Dahl, S.-O., Berrisford, M. S., et Nesje, A., 1997. Cyclic development and thermokarstic degradation of paisas in the mid-Alpine zone at Leirpullan, Doveefjell, Southern Norway, *Permafrost and Periglacial Processes*, 8 : 107-122.
- Mitchell, G. F., 1971. Fossil pingos in the south of Ireland, *Nature*, 230 : 43-44.
- Mitchell, G. F., 1973. Fossil pingos in Camaross Townland, Co. Wexford. *Irish Royal Academy Proceedings*, Sect B 73 : 269-283
- Mitchell, G. F., 1977. Periglacial Ireland. *Phil. Trans. R. Soc. London B*, 280 : 199-209.
- Mückenhausen, E., 1960. Eine besondere Art von Pingos am Hohen Venn/Eifel. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 11 :5-11.
- Mückenhausen, E, Schegiewal, A. D., und Schröder, D., 1976. Fossile Pingos und fossile Pingo-ähnliche Gebiide (Hohlformen). *Z. F. Kulturtechnik und Flurbereinigung*, 17 : 207-220.

- Nossin, J.J., 1961. De reliefontwikkeling in Zuidoostelijk Friesland, in: *Boven Boornegebied*, Waldrige, 9, 178 : 48-70.
- Paris, F. P., Cleveringa, P. en de Gans, W., 1979. The Stokersdobbe: geology and palynology of a deep pingo remnant in Friesland (The Netherlands). *Geologie en Mijnbouw*, 58 (1) : 33-38.
- Picard, K., 1961. Reste von Pingos bei Hunsum/Nordsee. *Schriften der Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein*, 32 : 72-77.
- Pissart, A., 1958. Les dépressions fermées de la région parisienne. Le problème de leur origine. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 9 : 73-83.
- Pissart, A., 1963. Les traces de "pingos" du Pays de Galles (Grande-Bretagne) et du Plateau des Hautes Fagnes (Belgique). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 7 (2) : 147-165.
- Pissart, A., 2000. Le climat des régions où apparaissent aujourd'hui des lithales et le climat des Hautes Fagnes pendant le Dernier Dryas. *Hautes Fagnes*, 237 : 16-25.
- Rapp A. and Rudberg, D., 1960. Recent periglacial phenomena in Sweden. *Biuletyn Peryglacjalny*, 8 : 143-154.
- Rousset, C., 1964. Sur l'origine périglaciaire des petits lacs du massif d'Aubrac. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7<sup>e</sup> série, 6 : 375-380.
- Rutkowski, J., Krol, K., Lemberger, M., 1998. The pingo remnant in the Suwalki Lake region (NE Poland). *Quaternary studies in Poland*, 15 : 55-60.
- Seppälä, M., 1972. Pingo-like remnants in the Peltajarvi area of Finnish Lapland. *Geografiska Annaler*, 54, ser A : 38-45.
- Sparks, B. W., Williams, R. B. G., et Bell, F. G., 1972. Presumed ground ice depressions in East Anglia, *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, 327 : 329-343.
- Svensson, H., 1964. Traces of pingo-like frost mounds. *Svensk Geografisk Arsbok*, 40: 93-106.
- Svensson, H., 1969. A type of circular lakes in northernmost Norway. *Geogr. Annaler*, 51 A : 1-12.
- Svensson, H., 1976. Pingo problems in the Scandinavian countries. *Biuletyn Peryglacjalny*, 26 : 33-40.
- Trotman, D. M., 1963, Peat deposits within a pingo near Llangurig, Wales. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 7 (2) : 168-171 .
- van den Munckhof, P., 1988. De *Ontstaangeschiedenis van de Groote Peel*. Rapport 88-34, Staatsbosbeheer, Utrecht, 134 p.
- van der Meulen, S., 1988. The spatial facies of a group of pingo remnants on the southeast Frisian till plateau (the Netherlands). *Geologie en Mijnbouw*, 67 : 61-37.
- Warren, W. P., 1981. Features indicative of prolonged and severe periglacial activity in Ireland, with particular reference to the south-west. *Biuletyn peryglacjalny*, 28 : 241-148.
- Warren, W.P., 1987. Periglacial periods in Ireland. In *Periglacial processes and landforms in Britain and Ireland* (John Boardman edit.) Cambridge University Press. 296 p. : 101-111.
- Watson, E., 1971. Remnants of pingos in Wales and the Isle of Man. *Geological Journal*, 7 : 381-392.
- Watson, E., 1972. Pingos of Cardiganshire and the Latest Ice limit. *Nature*, 236 : 343344.
- Watson, E and S., 1972. Investigation of some pingo basins near Aberystwyth, Wales; *Proceedings of the 24 th International Geological Congress*, Montreal, Section 12 : 212223.

- Watson, E. and S., 1974. Remains of pingos in the Cletwr Basin, Southwest Wales. *Geografiska Annaler*, 56 (3-4) : 213-225.
- Watson, E., 1977. *Mid and North Wales*. Inqua-X Congress-Excursion Guide C 9, Geoabstracts limited, Norwich, 48 p.
- Wiegand, G. , 1965. Fossile Pingos in Mitteleuropa. *Würzburger geographische Arbeiten*, Heft 16, 151 p.
- Worsley, P. Gurney, S. D., et Collins, P. E. F., 1995. Late Holocène "mineral paisas" and associated vegetation pattern: a case study from Lac Hendry, Northern Québec, Canada and significance for European Pleistocene thermokarst. *Quaternary Science Reviews*, 14 : 179-172.
- Wramner, P., 1972. Palslika bildningar i mineraljord. Nagra iakttagelser fran Taavavuoma, Lappland (Summary : Palsa-like formation in mineral soil. Some observations from Taavavuoma, Swedish Lapland.). *Goteborgs Universitet Naturgeografiska Institutionen, Guni rapport 1*, 60 p.