

# LES LITHALSES ALLONGÉES DES HAUTES FAGNES ET DU PAYS DE GALLES

Albert Pissart, Yves Cornet

*Laboratoire de Géographie Physique, UMR CNRS 8591, 1 place Aristide Briand, 92195 Meudon Cedex, France*  
*Email : olivier.moine@cnrs-bellevue.fr*

## **ABSTRACT**

Après avoir montré dans le précédent numéro (2008) de la présente revue que les lithales se développent très probablement par croissance latérale, le présent article fournit de nouveaux arguments en faveur de cette thèse en étudiant les lithales allongées. Une description de restes de ce type de formes observés en Belgique est d'abord donnée avec l'explication fournie en 1960 par Muckenhausen. Ensuite pour la première fois, des lithales allongées actuelles sont montrés par des images Google Earth en Hudsonie. Enfin, au Pays de Galles, le passage de replats de cryoturbation à des traces de lithales allongées est démontré par des observations sur Google Earth. Il s'agit vraisemblablement d'une croissance latérale par poussée oblique de glace de ségrégation que la gravité seule ne peut expliquer. Les replats de cryoturbations et les traces de lithales sont beaucoup plus nombreux que supposé et la localisation des formes observées est indiquée sur une carte géologique. Celle-ci montre clairement que les lithales et replats de cryoturbation sont localisés seulement sur certaines assises de l'Ordovicien et du Silurien.

## Introduction

Des traces de lithales allongées selon la pente ont été observées jusqu'ici en Belgique près de Vert Buisson, près des sources de la Sawe (au Sud des fermes en Fagne), dans la Brackvenn, la Konnerzvenn, dans la Fagne de Steinley et de part et d'autre de la frontière à l'ouest de Simmerath.

La photo aérienne des Travaux Publics de 1953 (**Figure 1**) montre comment se présentent ces formes sur le versant à l'Est de la crête de Hoscheit. La morphologie est complexe, mais des formes isolées sont des exemples à la fois de dépressions plus ou moins circulaires entourées d'un rempart et de formes allongées selon la pente et ouvertes à l'amont. Toutes les transitions entre ces deux types de formes existent non seulement ici, mais aussi en d'autres endroits des Hautes Fagnes de telle sorte qu'il ne fait aucun doute que toute la morphologie ait été façonnée par un même phénomène, à savoir l'apparition de lithales.

Ces longs murs ont été expliqués pour la première fois par Mückenhausen (1960) par une alimentation préférentielle de la butte périglaciaire (on parlait de pingos à l'époque) par des eaux arrivant de l'amont. Dans cette hypothèse, ces lithales allongées (la plus longue s'étend sur 800 m en fagne de Steinley) ont grandi progressivement en s'étendant vers l'amont d'où arrivaient les eaux. Le processus invoqué était déjà une croissance latérale de lithale ainsi que nous l'avons proposé dans une note que nous avons publiée dans la présente revue en 2008 mais ici, toutefois, la croissance s'est faite dans une direction privilégiée. La direction de croissance est clairement déterminée par la pente, peut-être par l'intermédiaire d'une circulation d'eau à faible profondeur. En Belgique, ces formes allongées existent sur des pentes variant entre 2,4 et 4 %.

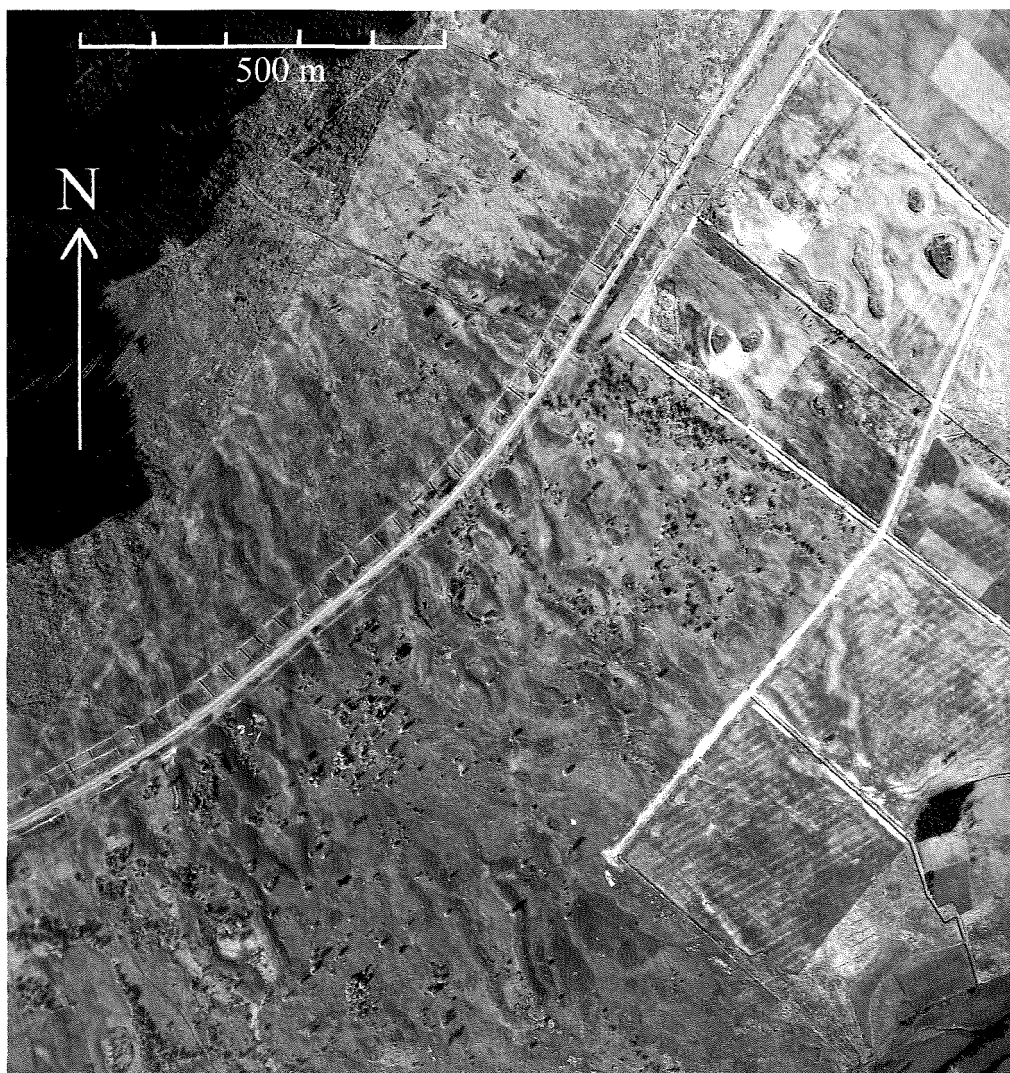
Ces formes n'ont pas attiré une grande attention par la suite. On s'est efforcé avant tout d'expliquer les formes rondes ou ovales qui sont les plus fréquentes sans guère se préoccuper par exemple de trouver des lithales allongées ailleurs. Aussi à notre connaissance, des lithales allongées n'ont pas été décrites en Hudsonie. Calmels nous a cependant indiqué par un mail du 22 septembre 2008 leur existence en nous invitant à aller voir sur Google Earth "du côté des cuestas du lac Guillaume de Lisle où elles sont le parfait indicateur de la pente générale du terrain".

Nous y avons observé trouvé des formes allongées remarquables dont la fusion partielle indique clairement l'existence de remparts. Des exemples sont donnés sur les **figures 2** et **3**. Ces lithales allongées sont étirées selon des pentes qui varient entre 5 à 16 % d'après les altitudes (approximatives) données par Google Earth. Elles n'existent qu'à la partie inférieure des versants sur des dépôts meubles déposés sous la mer de Tyrrell.

## Les traces de lithales décrites au pays de galles

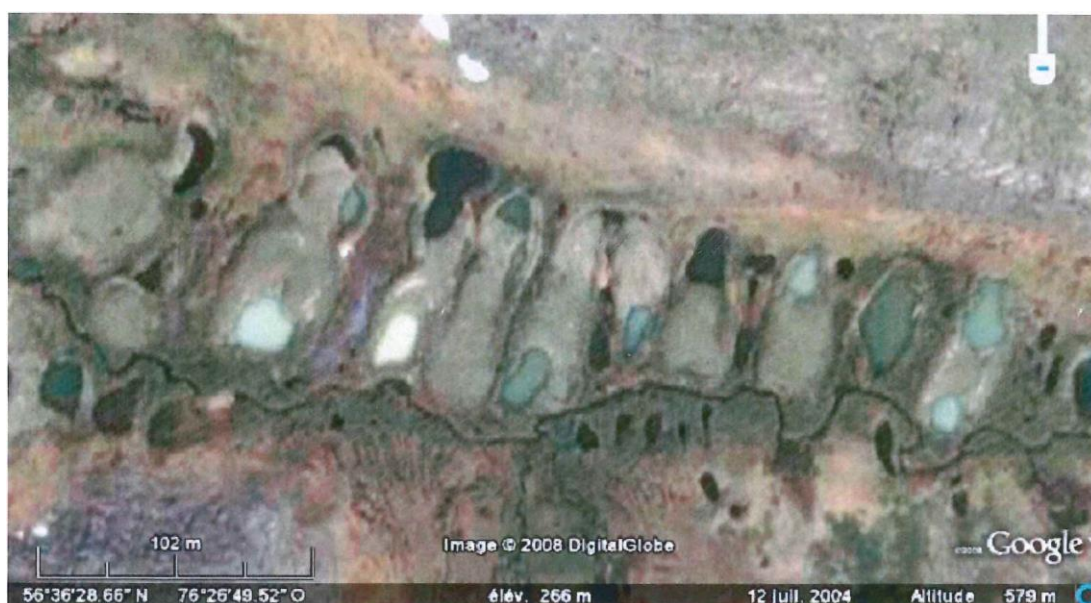
En 1963, pour la première fois en Grande Bretagne, nous avons décrit comme des traces de pingos des dépressions entourées d'un rempart près de Llangurig au Pays de Galles (Pissart, 1963c). La découverte avait été le fruit du hasard : en passant, nous avons reconnu des dépressions circulaires qui étaient semblables aux formes que nous avons étudiées quelques années auparavant sur le plateau des Hautes Fagnes en Belgique (Pissart, 1956) et expliquées comme des traces de pingos. Par la suite, E. et S. Watson ont décrit d'autres dépressions semblables, qu'ils ont interprétées aussi comme des traces de pingos (E. et S. Watson, 1971, 1972, 1974). Leur publication de 1974 montrait à côté de formes circulaires des remparts allongés comparables aux formes qui existent dans les Hautes Fagnes (**Figure 4**).

*Figure 1. Les traces de lithales sur le versant est de Hoscheit. Formes allongées et fermées. Photo 6.7008 de 1953 du MET. © Service Public de Wallonie, Secrétariat général – Département de la Géomatique, Direction de la Géométrie.*



Par la suite, comme nous l'avons expliqué dans des articles de synthèse (Pissart, 2000d, 2003), l'hypothèse pingo a été abandonnée et les viviers des Hautes Fagnes ont été considérés comme des traces de lithalses. La même explication a été admise pour les traces de pingos du Pays de Galles (Gurney, 1995 ; Worsley *et al.*, 1995). Signalons en passant que Gurney et Worsley (1996) ont décrit un site rassemblant des traces de lithalses dans la région que nous étudions ici. Ce site localisé N 52° 32' 11", W 3° 01' 06" est à une altitude de seulement 146 m, soit à une altitude inférieure à celles des formes que nous reportons dans le présent article, montrant clairement que notre examen des images Google Earth n'a pas permis de reconnaître toutes les traces de lithalses qui existent. La **figure 5** donne la localisation des sites observés.

**Figure 2.** *Lithalses allongés en Hudsonie. Image verticale Google Earth. Localisation : 56° 36' 28" N, 76° 26' 50" O.*

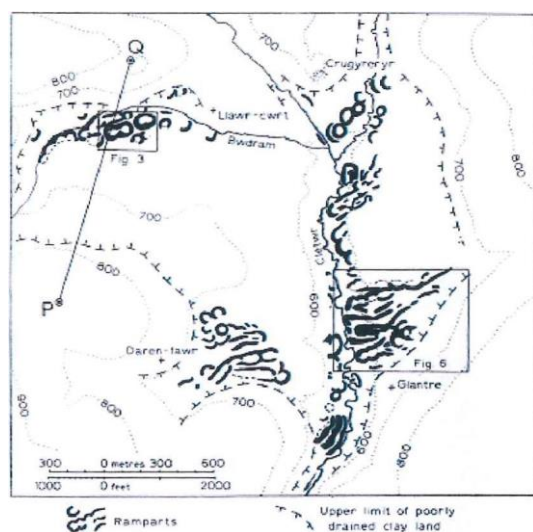


**Figure 3.** *Les mêmes lithalses de Hudsonie que sur la figure 2. Image oblique Google Earth.*



Reportés sur la carte géologique au 1/625 000 de 1957 (**Figure 5**), ces sites où se trouvent des lithalses étirés selon la pente sont localisés sur des formations ordoviciennes (Ashgill et Caradoc) et siluriennes (Tarannon et Llandovery, Wenlock, Ludlow) essentiellement schisteuses. La nature des roches explique les pentes faibles sur lesquelles sont localisées les formes que nous étudions, mais elle joue vraisemblablement un autre rôle dans la formation de ces formes. Le site décrit par Gumey et Worsley (1996) se trouve aussi sur les roches de Tarannon et Llandovery à la limite est de notre **figure 5**.

**Figure 4.** Les traces de pingos décrites par E. et S. Watson (1974, fig 2) dans le Cletwr basin (Pays de Galles). On reconnaît sur cette figure non seulement des dépressions circulaires, mais aussi des abrupts lobés et des remparts allongés atteignant plus de 500 m de longueur.



E. et S. Watson ont toujours défendu l'idée que les traces de buttes périglaciaires étaient des traces de pingos et E. Watson est malheureusement décédé sans avoir participé à l'évolution des idées qui a conduit à y voir des traces de lithalses, c'est-à-dire des traces de buttes nées par formation de glace de ségrégation et non de glace d'injection. Indépendamment de cette différence d'interprétation, l'intérêt des observations de Watson reste entier et nous nous y reporterons pour montrer que des formes associées aux replats de cryoturbation décrits ci-dessus sont identiques à celles qu'ils ont observées à 45 km au SSE d'Aberysthwyth et notamment dans le Cletwr basin (**Figure 4**).

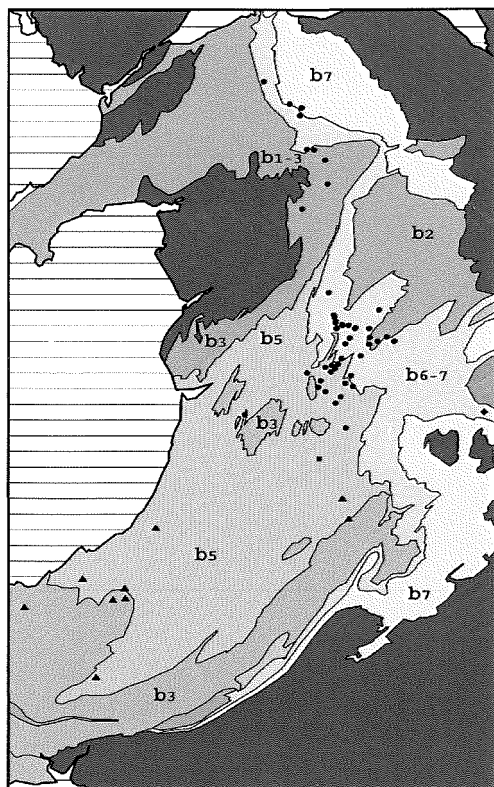
Une observation de grande importance est le passage de ces traces de lithalses à des "replats de cryoturbation" que nous avons aussi décrits au Pays de Galles (Pissart, 1963a,b). Cette transition est en effet susceptible de donner des informations sur les mécanismes d'apparition des formes allongées. C'est ce que nous allons examiner maintenant.

## Les replats de cryoturbation du Pays de Galles

Nous avons décrit au centre du Pays de Galles sous le nom de "replats de cryoturbation" des replats spectaculaires pour lesquels nous avons reconnu l'action initiale de la nivation étant

donné qu'ils sont presque uniquement localisés sur des versants exposés à l'Est (Pissart, 1963a,b). Ces formes avaient été observées principalement dans une zone s'étendant sur plus de 30 km en latitude (entre 52° 27' N et 52° 45' N) et 20 km en longitude (entre 3° 20' W et 3° 36' W).

**Figure 5.** Localisation des groupes de lithales visibles sur Google Earth et reportés sur une carte géologique.



Les 9 triangles noirs indiquent des sites décrits par les Watson (1974) qui en mentionnent aussi d'autres non reportés car non visibles sur Google Earth. Au milieu de la carte le site de Llangurig (Pissart, 1963a,b) est montré par un carré et le site décrit par Gurney & Worsley (1996) est représenté par un losange à la bordure est de la carte. Les points ronds localisent les formes dont il est question dans le présent article. Les coordonnées des endroits figurés sont données dans une annexe afin de permettre au lecteur de trouver facilement les sites mentionnés. Les tracés géologiques ont été repris sur la carte géologique de Grande Bretagne au 1/625 000, sheet 2, second edition, 1957. Les roches ignées ne sont pas reportées. Comme toutes les formes sont sur de l'Ordovicien et du Silurien, les roches plus anciennes et plus jeunes sont représentées par une seule teinte à savoir la plus sombre. Les assises géologiques représentées sont b1 : Arenig ; b2 : Llandello ; b3 : Ashgill et Caradoc ; b5 : Taranon et Llandovery ; b6 : Wenlock ; b7 : Ludlow. La carte indique que presque toutes les lithales et les terrasses de cryoturbation connues aujourd'hui sont sur b3, b5 et b6

Le terme "replats de cryoturbation" avait été retenu pour ces formes après avoir passé en revue les replats semblables ou voisins décrits dans la littérature périglaciaire (Pissart, 1963, p. 129 à 131). Nous avons comparé les formes du pays de Galles avec ce que l'on connaissait alors des replats d'altiplanation ou replats goletz, une variété géante de sols en guirlandes décrite par Obrutchev et reportée par Tricart et Cailleux (1961, p. 147), les descriptions de Capps (1919) et de Taber (1943). Ce dernier, a décrit sous le nom de *turf banked detritus benches*, des terrasses typiquement lobées qui ont été dénommées *earth runs*, *soil flows*, *solifluction flows*, *solifluction benches*, *solifluction sags*, *solifluction terraces*, *turf banked terraces*, *festoons*, *garlands*, *stepped*

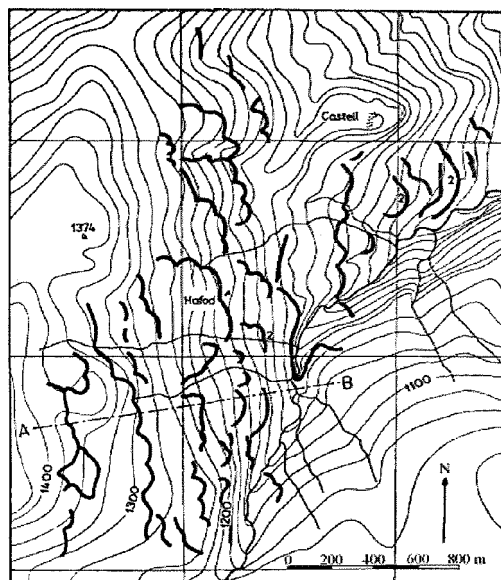
*crescents* (p. 1461). Il mentionne que ces terrasses observées en de nombreux endroits, s'étendent en largeur, sur plusieurs centaines de pieds et présentent des abrupts frontaux de plus de 20 pieds de hauteur. Les abrupts sont extrêmement raides et ne montrent aucun enrichissement en blocs. Ces formes existent seulement sur des pentes non boisées. Elles "sont si caractéristiques du sol toujours gelé où les débris, la couverture du sol et les conditions de pente sont favorables qu'ils ne peuvent être interprétés comme des écoulements de boue (*mud flows*) protégés de l'érosion par le gel postérieur et la croissance de la végétation" (p. 1462).

Depuis lors, à notre connaissance, des formes semblables avec des abrupts aussi élevés n'ont pas été décrites.

Les replats du Pays de Galles sont très bien visibles sur les images Google Earth et Virtual Earth comme le montrent entre autres, les images que nous reproduisons (**Figures 7 et 9 à 13**). Nous invitons par ailleurs le lecteur à examiner sur internet les sites mentionnés en annexe où la morphologie que nous décrivons est bien apparente.

La **figure 6** est celle de la publication de 1963a ; la **figure 7** est une image aérienne de la même zone qui montre très bien les différents abrupts limitant les replats. Ceux-ci découpent en gradins (**Figure 23**) un versant long de plus d'un km exposé à l'Est (localisation : à 11 km au Nord de Llanidloes et 10 km à l'Ouest de Carno, coordonnées : 52° 37' 26" N ; 3° 34' 00" W). La pente moyenne de ce versant est de 5° soit 9 %.

**Figure 6.** Tracé des abrupts des replats de cryoturbation près de Carno, vallée de l'Afon Cerniog (fig. 2 de Pissart, 1963a).



Dans cette partie du Pays de Galles, nombreuses sont les terrasses qui découpent de la même manière des versants dont la pente générale varie entre 2,5 et 8°. Les terrasses apparaissent en plan comme une juxtaposition de fronts convexes ressemblant à des guirlandes de terre (*earth garlands*) mais avec des abrupts beaucoup plus élevés. Des formes isolées identiques sont rares. Les convexités individuelles ont en général entre 50 et 200 m de corde et la largeur des replats des terrasses varie de moins de 100 à 500 m avec une moyenne de 200 m. La pente des replats

varie de  $1,5^{\circ}$  à  $7^{\circ}$  tandis que les abrupts sont inclinés entre  $12^{\circ}$  et  $27^{\circ}$  (80 % entre  $20^{\circ}$  et  $25^{\circ}$ ). Ces abrupts sont les plus élevés à l'apex des convexités dont la hauteur est le plus souvent comprise entre 2 à 11 m. Ces abrupts sont nets, sans bavures ou irrégularités provenant par exemple de glissements de terrain. Dans un grand nombre de cas, la pente immédiatement en contre-haut des abrupts est très faible, parfois nulle sur une distance d'une vingtaine de mètres. Parfois c'est une véritable dépression qui y est localisée. Elle y détermine la localisation d'une zone humide qui dans certains cas peut être vraiment marécageuse. Ces zones humides apparaissent bien sur les images Google Earth.

**Figure 7.** Les replats de la **figure 20** sont bien apparents sur cette image que l'on peut examiner en couleurs sur Google Earth. Les courbes de niveau ont été tracées par le modèle numérique de terrain Bluesky (Licence de 76461 de Bluesky International Limited for image and Digital Terrain Model).



Les abrupts de ces terrasses ne sont pas toujours perpendiculaires à la ligne de plus grande pente. Parfois ils sont obliques par rapport à celle-ci et même quelquefois, ils peuvent être allongés selon l'inclinaison du terrain (alors ils ne sont plus lobés). Presque toujours, les abrupts sont approximativement parallèles les uns aux autres et sont exposés au Nord-Est, moins souvent au Sud-Est et rarement au Nord ou au Sud. Il n'en existe pas sur les versants exposés à l'Ouest. Enfin, quand les terrasses sont obliques par rapport à la pente, celle-ci n'est pas exposée à l'Est.

En 1963, nous avons constaté que ces terrasses étaient formées dans des dépôts meubles très mal triés qui ne présentaient pas un plus grand nombre de blocs sur les abrupts. Des courbes granulométriques réalisées par tamisage ont été publiées alors, ainsi que des diagrammes montrant l'orientation des cailloux. Sur les abrupts, les cailloux sont perpendiculaires à la pente, résultat d'une poussée faisant avancer les lobes tandis que sur les replats, ils sont disposés avec leurs grands axes parallèles à la pente comme dans les dépôts de solifluxion. Les cailloux sont partout relevants.

Notre publication de 1963 a montré que ces formes sont particulièrement nettes dans des terrains qui n'ont jamais été cultivés et qu'elles ne peuvent avoir une origine anthropique. Le



même article a démontré aussi qu'il ne s'agit pas de formes structurales en relation avec le Silurien intensément plissé qui constitue le substratum de la région.

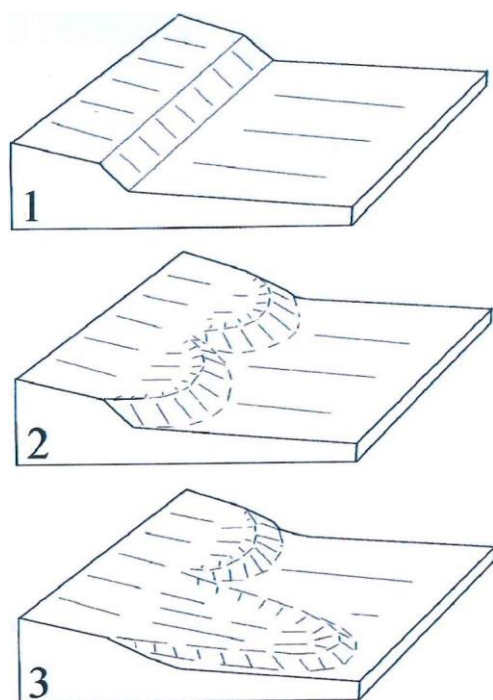
## Les traces de lithales allongées et les replats de cryoturbation du pays de galles : des formes associées

Nous n'avons pas réalisé en 1963 que les traces de lithales et les replats de cryoturbation étaient des formes associées avec toutes les transitions entre replats lobés et lithales allongées selon la pente. En considérant alors les restes de lithales comme des traces de pingos, il n'y avait guère de possibilité de relier les deux morphologies par un processus commun. Nos notes de terrain mentionnent cependant plusieurs fois la ressemblance étonnante entre ce que nous observions au Pays de Galles et les viviers des Hautes Fagnes.

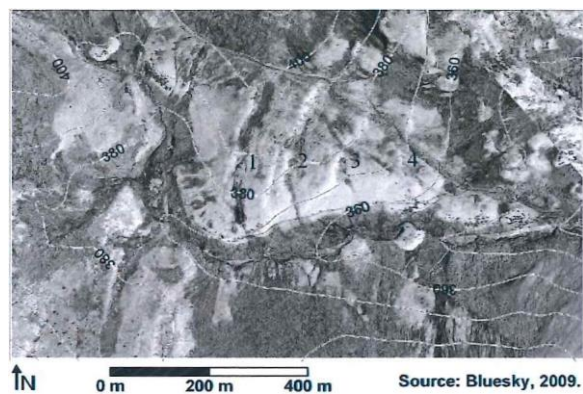
Les **figures 8 et 9 à 13** montrent cette transition. Les images 9 à 13 sont celles que l'on trouve sur Google Earth. Les courbes de niveau sont dessinées à partir du modèle numérique de terrain de Bluesky international (Licence 76471) qui ne fait malheureusement pas apparaître tous les détails du relief. La **figure 9** montre des abrupts linéaires exposés à l'Est qui sont localement obliques et même parallèles à la pente. La **figure 10** concerne des abrupts lobés caractéristiques. Sur la **figure 11**, des abrupts plus ou moins lobés passent à des formes allongées selon la pente qui sont en fait des dépressions entourées de remparts. Sur la **figure 12**, les remparts lobés peuvent atteindre jusqu'à 200 m de longueur. Enfin la **figure 13** montre en association avec ces formes, des dépressions circulaires. Ce passage de replats lobés à des traces de lithales semblables à celles des Hautes Fagnes est bien apparent en stéréoscopie sur les photos aériennes mais s'observent aussi facilement sans stéréoscopie sur Google Earth.

L'observation fondamentale qui relie les replats de nivation simples aux replats lobés puis ensuite aux lithales est la présence en contre-haut des abrupts de dépressions thermokarstiques témoignant de la fonte de glace qui a existé dans le pergélisol. Nous avons noté en 1963, que "dans un grand nombre de cas (ordre de 40 %), le profil montre immédiatement en contre-haut des abrupts une pente très faible, parfois horizontale sur une distance d'une vingtaine de mètres. Elle y détermine la localisation d'une zone humide qui dans certains cas peut être véritablement marécageuse." (Pissart, 1963a, p. 124). Ces dépressions peu importantes sur les replats lobés sont d'autant plus développées que les formes sont étirées, au point que les formes très allongées se présentent comme des dépressions entourées de remparts. Ces replats lobés sont nombreux dans cette région. Nous en avons signalé en 1963 mais ils sont répartis sur un territoire beaucoup plus vaste que nous ne le pensions alors comme le montre notre **figure 5**. Nous donnons en annexe, la liste de coordonnées correspondant aux images Google Earth où nous avons reconnu des formes de ce type, pour faciliter au lecteur la localisation des sites en question.

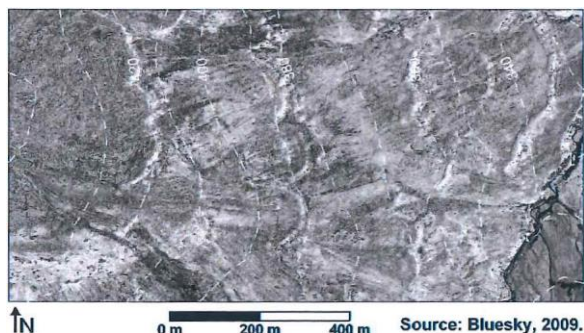
*Figure 8. Passage au Pays de Galles d'abrupts linéaires à des abrupts lobés puis à des traces de lithales allongées selon la pente.*



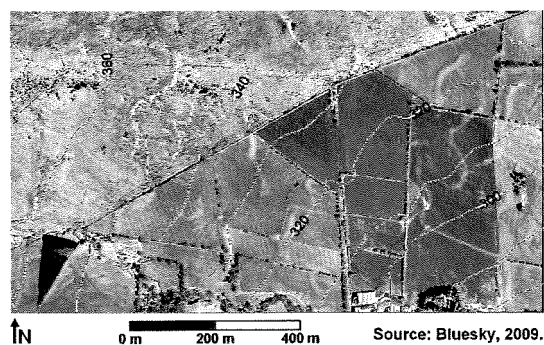
**Figure 9.** Image Google Earth. Les abrupts +/- rectilignes et exposés à l'est apparaissent en teinte plus claire. Numérotés de 1 à 4, ils sont localement obliques par rapport à la pente et même parfois, ils suivent la ligne de plus grande pente. Localisation du centre de l'image :  $52^{\circ} 43' 10''$  N,  $3^{\circ} 32' 46''$  W (Licence 76461 de Bluesky International Limited for image and Digital Terrain Model).



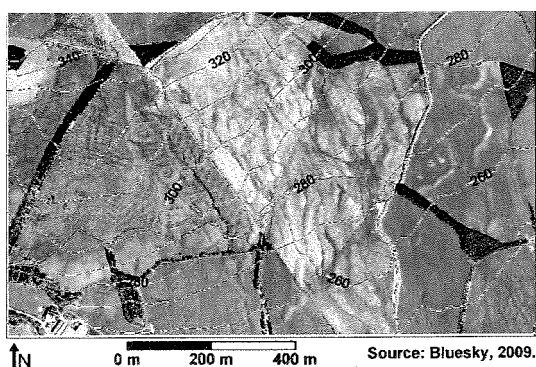
**Figure 10.** Image Google Earth. Abrupts lobés exposés à l'est. Les courbes de niveau sont dessinées à partir du modèle numérique de terrain de Bluesky. Localisation :  $52^{\circ} 32' 21''$  N,  $3^{\circ} 34' 00''$  W (Licence 76461 de Bluesky International Limited for image and Digital Terrain Model).



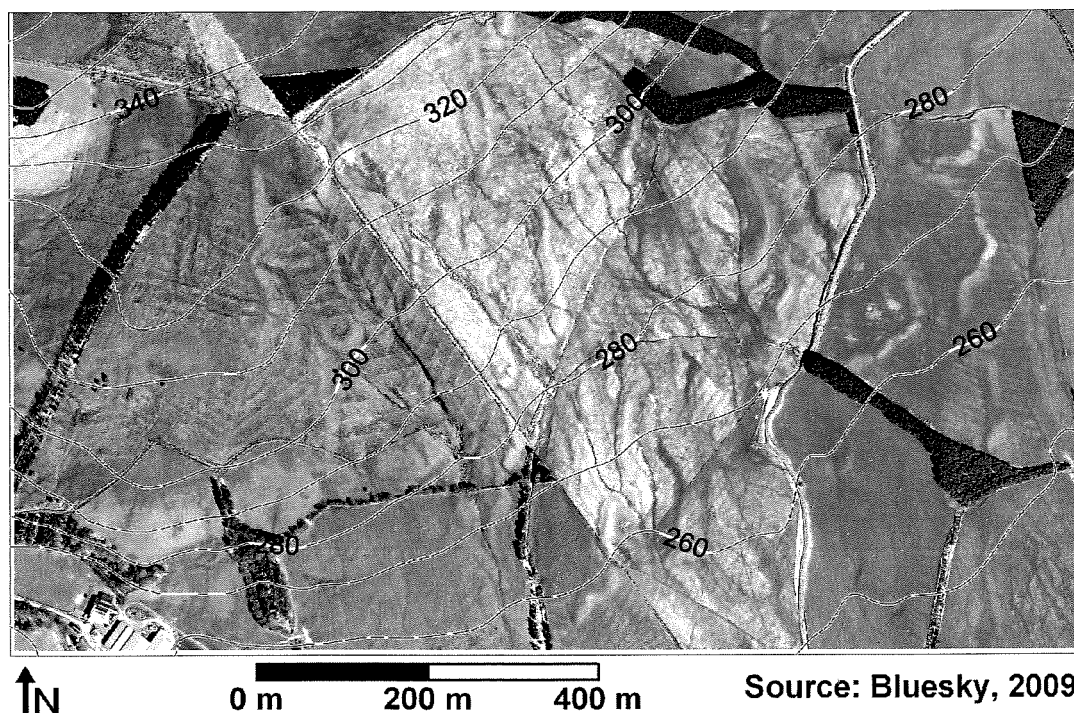
**Figure 11.** Image Google Earth. Les abrupts exposés à l'Est sont plus clairs. A l'Ouest, ils sont lobés. A l'Est, une forme est allongée selon la pente. Les courbes de niveau sont obtenues à partir du modèle numérique de terrain de Bluesky. Localisation du centre de l'image :  $52^{\circ} 32' 3'' N$ ,  $3^{\circ} 31' 9'' W$  (Licence 76461 de Bluesky International Limited for image and Digital Terrain Model).



**Figure 12.** Image Google Earth. Formes étirées selon la pente semblables aux traces de lithales des Hautes Fagnes (Belgique). Les courbes de niveau ont été obtenues à partir du modèle numérique de terrain Bluesky. Localisation du centre de l'image  $52^{\circ} 39' 24'' N$ ,  $3^{\circ} 31' 40'' W$  (Licence 76461 de Bluesky International Limited for image and Digital Terrain Model).



**Figure 13.** Image Google Earth. Abrupts de teinte claire exposés à l'Est indiqués par des lettres x. Une ligne noire dessine la limite intérieure d'une dépression circulaire (Y), trace de lithalse caractéristique entourée d'un rempart. Localisation :  $52^{\circ} 38' 12'' N$ ,  $3^{\circ} 33' 06'' W$  (Licence 76461 Bluesky International Limited for image and Digital Terrain Model).



## La formation des lithales allongées – Discussion

Ce passage de lithales allongées aux replats de cryoturbations est susceptible d’apporter des éléments d’explication concernant le mode de formation des lithales. En effet, tous les termes de transition existent entre ce que nous avons dénommé en 1963 “replats de cryoturbation” et des traces de lithales étirées selon la pente. Comme nous l’avons déjà écrit, l’existence de tous les intermédiaires ne permet pas de douter qu’un même processus soit intervenu dans la formation de ces deux types de formes.

Au départ les formes lobées et étirées selon la pente du Pays de Galles, proviendraient d’abrupts de nivation étirés perpendiculairement à la direction du vent tels qu’ils se présentent par exemple sur Pile de Banks au Canada. C’est la direction du vent apportant ou remaniant la neige qui détermine la direction des abrupts. Ceux-ci ne sont pas nécessairement perpendiculaires à la pente mais peuvent être quelquefois parallèles à celle-ci comme le montrent localement les **figures 6 et 7**.

Les formes lobées témoignent pour leur part du déplacement des abrupts sur des pentes qui peuvent être aussi faibles que 2,4 %. Sur des versants aussi peu inclinés, il n’est pas possible que la gravité seule engendre des mouvements de terrain créant des abrupts lobés de plus de 10 m d’élévation. Il est évident en conséquence qu’une poussée autre que la gravité a été nécessaire pour former ces abrupts. Il s’agit d’une poussée à composante horizontale qui s’ajoutant à la gravité déplace les matériaux dans la direction de moindre résistance, c’est-à-dire vers l’aval.

La présence de légères dépressions au sommet des abrupts lobés, dépressions qui s’approfondissent et s’agrandissent pour donner des couloirs entre deux remparts (qui sont incontestablement des traces de lithales) démontre qu’il y avait bien un pergélisol et une

accumulation de glace qui a donné naissance plus tard à des dépressions que l'on peut appeler thermokarstiques.

Ces observations établissent l'existence de poussées latérales comparables à celles que nous avons évoquées dans la note que nous avons publiée en 2008. Il faut admettre pour expliquer une poussée latérale un accroissement de la masse de glace du pergélisol.

Deux explications différentes et peut-être conjuguées sont évoquées dans cet article pour expliquer la croissance latérale des lithalses. Dans les lithalses semblables à celle étudiée par Calmels, les couches de glace obliques qu'il a décrites montrent que la croissance de celle-ci sur le front du pergélisol (Pissart, 2008, fig. 13, p. 53) est la plus vraisemblable. Pour les lithalses allongées selon la pente, il est sans doute plus facile de croire en une alimentation en glace au sein même du noyau du pergélisol et pas seulement à sa bordure.

La pénétration d'eau atmosphérique récente au cœur des lithalses a été montrée par la présence de tritium au sein de la lithalse BGR étudiée en Hudsonie (Calmels *et al.*, 2008b). Les mesures de température réalisées dans cette même lithalse ont aussi indiqué que la température au sein de grandes parties de la lithalse étudiée était entre 0 et  $-1^{\circ}\text{C}$  toute l'année (Calmels *et al.*, 2008a) permettant ainsi une percolation d'eau par les films capillaires des limons compris dans le pergélisol.

Ce type de phénomène ne peut se produire que dans une zone géographique très limitée du pergélisol discontinu en accord avec ce qui est établi pour les lithalses (Pissart, 2000d, 2003).

## Conclusion

Si les propositions ci-dessus sont appliquées aux traces allongées de lithalses des Hautes Fagnes, ces lithalses étirées ne se forment pas comme l'a proposé Mückenhausen (1961) par une croissance vers l'amont des lithalses mais bien par une croissance vers l'aval.

Le terme de replats de cryoturbation a été employé en 1963 pour indiquer qu'un autre processus périglaciaire que la nivation ou la solifluxion intervenait dans la formation des replats lobés. Maintenant que le processus est identifié, un nom plus approprié devrait être donné à ces formes et par exemple en français "replats lobés par poussée par le gel" et en anglais "*lobate frost thrusting benches*".

Des travaux de datation des dépôts accumulés dans les dépressions que nous décrivons ici au Pays de Galles, sont indispensables pour vérifier que cette morphologie est apparue pendant le Dernier Dryas, comme le laisse supposer la fraîcheur des formes.

## Annexes

Localisation de restes de lithalses fermées et parfois lobées ouvertes vers l'amont :

N 51°57'12" W 4°16'13"	N 52°33'55" W 3°34'33"	N 52°40'00" W 3°25'48"
------------------------	------------------------	------------------------

N 52°05'33" W 4°31'08"	N 52°34'12" W 3°32'46"	N 52°41'18" W 3°32'15"
N 52°06'38" W 4°13'29"	N 52°35'40" W 3°31'25"	N 52°54'17" W 3°39'25"
N 52°08'03" W 4°12'10"	N 52°37'51" W 3°30'34"	N 52°57'28" W 3°34'19"
N 52°14'56" W 4°07'13"	N 52°38'01" W 3°33'06"	N 53°01'45" W 3°36'43"
N 52°09'21" W 4°20'18"	N 52°38'28" W 3°32'29"	N 53°01'52" W 3°38'41"
N 52°29'26" W 3°49'34"	N 52°38'55" W 3°32'53"	N 53°06'48" W 3°39'41"
	N 52°39'04" W 3°36'10"	

Localisation des terrasses de cryoturbations et restes de lithaleses allongées suivant la pente :

N 52°16'15" W 3°29'41"	N 52°34'51" W 3°32'18"	N 52°39'06" W 3°21'37"
N 52°20'12" W 3°29'59"	N 52°35'05" W 3°32'46"	N 52°39'25" W 3°32'06"
N 52°28'25" W 3°30'17"	N 52°36'13" W 3°31'14"	N 52°40'00" W 3°28'55"
N 52°30'52" W 3°32'20"	N 52°37'05" W 3°30'38"	N 52°40'02" W 3°32'31"
N 52°31'52" W 3°30'42"	N 52°37'35" W 3°33'54"	N 52°40'29" W 3°30'58"
N 52°32'32" W 3°33'60"	N 52°37'37" W 3°30'04"	N 52°42'16" W 3°24'22"
N 52°32'40" W 3°35'19"	N 52°38'13" W 3°29'40"	N 52°43'15" W 3°32'28"
N 52°32'58" W 3°28'46"	N 52°38'20" W 3°26'05"	N 53°00'37" W 3°33'58"
N 52°33'20" W 3°30'27"	N 52°38'37" W 3°29'17"	N 53°05'49" W 3°40'05"
N 52°33'53" W 3°30'07"	N 52°38'42" W 3°24'23"	N 53°07'47" W 3°42'58"
N 52°35'11" W 3°34'01"	N 52°38'43" W 3°28'43"	
N 52°34'26" W 3°37'01"	N 52°39'01" W 3°36'04"	

## Références bibliographiques

- Calmels F., Allard M., and Delisle G. (2008a) – Development and decay of a lithalsa in Northern Québec: A geomorphological history. *Geomorphology*, 97, 287–299.
- Calmels F., Delisle G., and Allard M. (2008b) – Internal structure and the thermal and hydrological regime of a typical lithalsa: significance for permafrost growth and decay. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 45, 31–43.
- Capps S.R. (1919) – The Kantishna region, Alaska. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 687, 1–116.
- Gurney S.D. (1995) – A reassessment of the relict pleistocene pingos of west Wales: hydraulic pingos or mineral palsas? *Quaternary Newsletter*, 77, 205–225.
- Gurney S.D. and Worsley P. (1996) – Relict cryogenic mounds at Owlbury, near Bishop's Castle, Shropshire. *Mercian Geologist*, 14(1), 14–21.
- Mückenhausen E. (1960) – Eine besondere Art von Pingos am Hohen Venn/Eifel. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 11, 5–11.
- Pissart A. (1956) – L'origine périglaciaire des viviers des Hautes Fagnes. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 79, 119–131.
- Pissart A. (1963a) – Des replats de cryoturbation au Pays de Galles (Une variété géante de sols en guirlandes). *Biuletyn Peryglacjalny*, 12, 119–135.
- Pissart A. (1963b) – Origine périglaciaire d'une variété géante de sols en guirlandes découverte au Pays de Galles. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences*, Paris. 256, 222–224.
- Pissart A. (1963c) – Les traces de "pingos" du Pays de Galles (Grande Bretagne) et du plateau des Hautes Fagnes (Belgique). *Zeitschrift für Géomorphologie*, 7(2), 147–165.
- Pissart A. (1974) – Les viviers des Hautes Fagnes sont des traces de buttes périglaciaires mais s'agissait-il réellement de pingos ? *Annales de la Société géologique de Belgique*, 97, 359–381.
- Pissart A. (1998) – Les traces de buttes périglaciaires des Hautes Fagnes et le climat du Dernier Dtyas (13000 à 11450 ans calendrier BP). *Bulletin de la Classe des Sciences de l'Académie*. Bruxelles, 7–12, 395–429.
- Pissart A. (2000d) – The remnants of lithalsas of the Hautes Fagnes (Belgium): a summary of present day knowledge. *Permafrost and periglacial Processes*, 11(4), 327–355.
- Pissart A. (2002) – Palsas, lithalsas and remnants of these periglacial mounds. A progress report. *Progress in Physical Geography*, 26, 605–621.
- Pissart A. (2003) – The remnants of Younger Dryas lithalsas on the Hautes Fagnes Plateau in Belgium and elsewhere in the world. *Geomorphology*, 52(1–2), 5–38.
- Pissart A. (2007) – La formation des lithalses et leur croissance latérale. *Bulletin de la Classe des Sciences de l'Académie Royale de Belgique*, 7–12, 2007, 273–294.
- Pissart A. (2008) – La formation des lithalses et leur croissance latérale. *Environnements périglaciaires*. Notes et comptes-rendus du Groupe de régionalisation du périglaciaire du Comité national Français, 15: 45–57.

- Pissart A. (1998) – Les traces de buttes périglaciaires des Hautes Fagnes et le climat du Dernier Dryas (13000 à 11450 ans calendrier BP). *Bulletin de la Classe des Sciences de l'Académie*. Bruxelles, 7–12: 395–429.
- Tricart J. et Cailleux A. (1961) – *Cours de géomorphologie. Le modelé périglaciaire*. Centre de documentation universitaire Paris, 350 p.
- Taber S. (1943) – Perennially frozen ground in Alaska: its origin and history. *Bulletin of the Geological Society of America*, 54, 1433–1548.
- Watson E. and S. (1971) – Remains of pingos in Wales and The Isle of Man. *Geological Journal*, 7, 381–392.
- Watson E. and S. (1972) – Investigations of some pingo basin near Aberystwyth. 24th International Geological Congress, Montreal Canada, Section 12, *Quaternary Geology*, 212–223.
- Watson E. and S. (1974) – Remains of Pingos in the Cletwr basin, Southwest Wales. *Geografiska Annaler*, 56A(3–4), 213–225.
- Worsley P., Gurney S.D. and Collins P.E.F. (1995) – Late Holocene “mineral palsas” and associated vegetation pattern: a case study from lake Hendry, Northern Quebec, Canada and significance for European Pleistocene thermokarst. *Quaternary Science Reviews*, 14, 179–192.