

## LES VIVIERS DES HAUTES FAGNES : LES FOUILLES RÉALISÉES, LA FORMATION DES REMPARTS, LEUR ÂGE.

Albert Pissart

*Professeur émérite à l'Université de Liège*

### **RÉSUMÉ**

Sont rassemblées ici les données recueillies dans 9 tranchées qui ont été réalisées au travers de remparts de viviers de 1974 à 1983. Ces descriptions n'ont pas été toutes publiées. Nous donnons les dessins des coupes et précisons les enseignements que l'on peut en déduire. Les indications stratigraphiques résultant de la mesure du  $^{14}\text{C}$ , de l'étude des poussières volcaniques et des travaux palynologiques sont ensuite présentées. Le moment d'apparition des lithales ne fait plus de doute après ces observations : ces buttes périglaciaires sont apparues pendant le Dernier Dryas, dernier coup de froid de la dernière glaciation dont la durée est mal précisée, mais qui s'est étendu entre  $\pm 13000$  et  $\pm 11600$  ans avant aujourd'hui.

## Introduction

Après avoir décrit, dans le numéro précédent de cette revue, ce que l'on connaît des lithales actuelles, et plus spécialement de la glace qui les constitue et de la structure interne de ces formes, nous abordons ici la description interne des remparts des viviers des Hautes Fagnes. Il faut noter que les mécanismes de fusion qui se sont développés chez nous ne peuvent être que supposés. Aucune observation actuelle ne montre comment se réalise l'effondrement de buttes semblables puisque nulle part de nos jours ne se produit un réchauffement climatique brutal semblable à celui qui a eu lieu à la fin du Dernier Dryas. En conséquence, seules les fouilles que nous avons réalisées permettent actuellement de reconstituer comment sont apparus les remparts des viviers.

C'est grâce à des crédits aux chercheurs du Fonds National de la Recherche Scientifique que des coupes au travers des remparts de viviers ont été dégagées. Toutes les coupes observées n'ont pas été publiées. Quatre coupes parmi les neuf qui ont été réalisées et dont nous donnons les dessins, sont présentées ici pour la première fois.

La première coupe (Bastin et al., 1974) a été dégagée dans la réserve naturelle au lieu-dit la Brackvenn. Le directeur de l'époque de la Station scientifique des Hautes Fagnes de l'Université de Liège nous a si vivement reproché d'avoir fait passer un véhicule chenillé sur une centaine de mètres dans la Réserve que toutes les excavations suivantes ont été réalisées en dehors de celle-ci dans le territoire appartenant à la forêt domaniale, avec la bienveillante autorisation de l'Administration des Eaux et Forêts, et spécialement de Monsieur l'ingénieur M. Letocart qui gérait ce secteur. Par ailleurs, nous avons bénéficié alors du soutien du Docteur R. Collard, Président des "Amis de la Fagne".

L'utilisation de puissantes pelles mécaniques a été indispensable pour creuser dans ces matériaux limono-argileux comprenant des gros blocs de quartzite revinien (figure 1). Pour que les excavations ne soient pas inondées, un drainage naturel devait être assuré. Aussi toutes les fouilles ont été réalisées au travers de remparts bien apparents, c'est-à-dire au travers de remparts élevés, en des endroits où la pente naturelle permettait l'écoulement des eaux.

Ces coupes ont donné des résultats permettant de comprendre comment les remparts se sont édifiés et aussi de préciser leur âge.

**Figure 1.** Dégagement en 1973 d'une tranchée au travers du rempart du vivier de la Brackvenn que montre la figure 7.



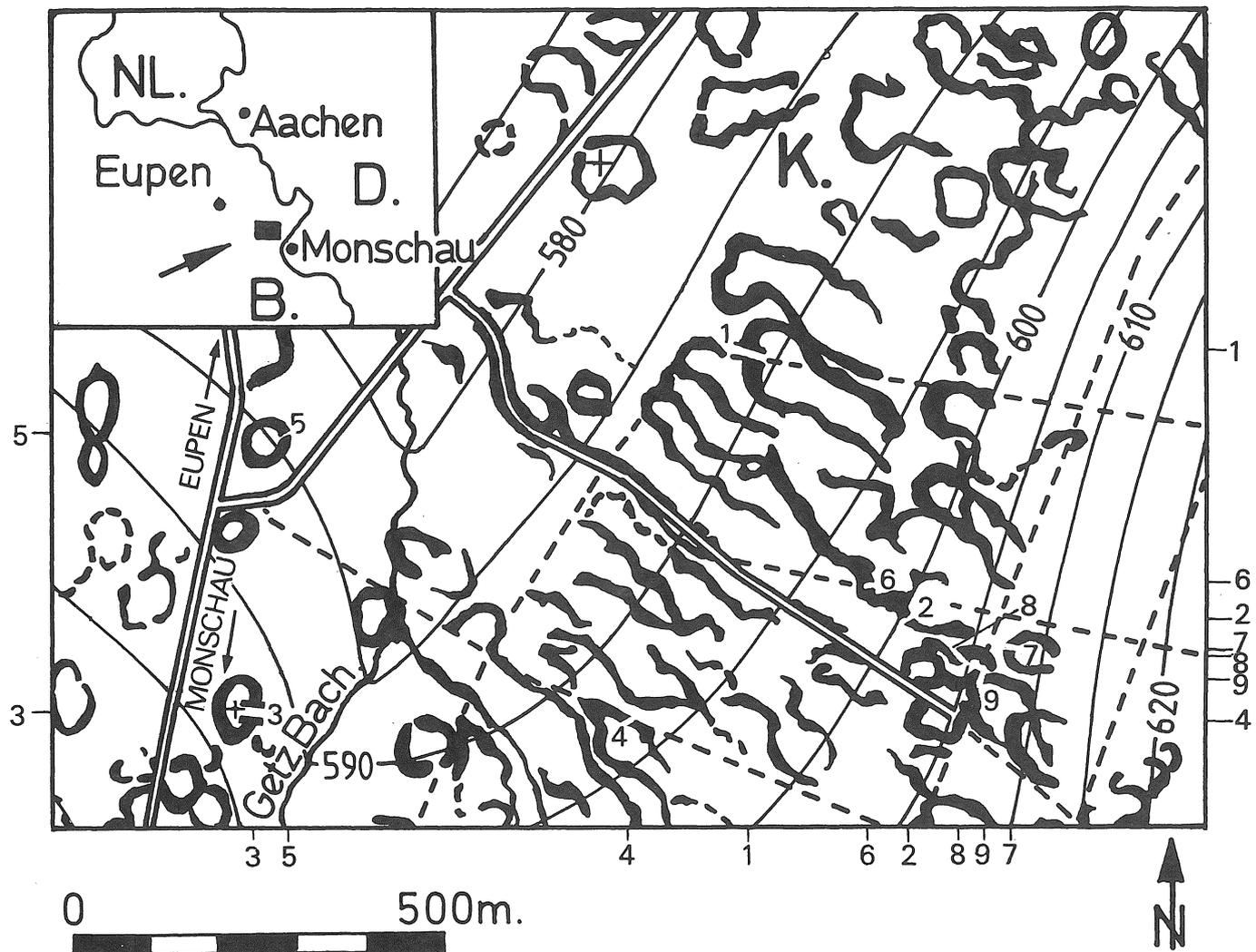
## La structure des remparts excavés

La localisation des différentes coupes est donnée sur la figure 2. Elles se trouvent toutes groupées dans la Brackvenn et la Konnerzvenn. Une seule, la première qui a été dégagée, se trouve sur le territoire de la Réserve (la coupe 3). Les autres sont localisées dans la partie de la forêt domaniale s'étendant entre la Brackvenn et la Konnerzvenn.

Nous présentons la structure des 9 remparts excavés en trois figures :

- a) La figure 3 rassemble 6 remparts qui présentent une structure montrant un retournement des couches,
- b) La figure 8 montre un rempart constitué par l'empilement de bourrelets de solifluxion
- c) La figure 9 groupe deux remparts dont la structure n'est pas expliquée

Figure 2. Localisation des coupes données sur les figures 3, 6 et 7.



Les chiffres inscrits au sein de la figure renvoient aux numéros des coupes qui sont donnés sur ces figures. Sous et sur les côtés de la présente figure, des indications permettent de retrouver les chiffres mal visibles dans l'image elle-même. Des croix indiquent deux viviers dont le remplissage a été étudié par Woillard (1975). Des vues aériennes des viviers où ont été réalisées les coupes 1 et 3 sont données sur les figures 4 et 7.

### LES REMPARTS MONTRANT UN RETOURNEMENT DES COUCHES (FIGURE 3)

Sur cette figure 3, six coupes présentant une structure comparable sont disposées d'une manière identique : le centre du vivier se trouve à gauche, l'extérieur à droite. Ces coupes ont été creusées à peu près perpendiculairement à l'allongement du rempart.

La coupe la plus intéressante et la plus claire est celle qui a été dégagée en 1978 à l'extrémité d'une forme allongée au lieu-dit la Konnerzvenn (figure 3 : coupe 1). L'étude de cette coupe a été publiée par Pissart et Juvigné en 1980. Elle a mis à jour la tourbe la plus ancienne qui, aujourd'hui, a été découverte sur le Haut Plateau. *Description de la coupe 1 (de la figure 3 et figure 4)*

A droite, la tourbe superficielle (1 sur la figure) remplit la cuvette et se prolonge vers l'ESE au-delà de la figure où elle se développe sur une épaisseur maximale de 4,20 m. Une autre couche

de tourbe (couche 9) plus ancienne est enfouie sous des sédiments limono-caillouteux et atteint au maximum 32 cm d'épaisseur.

Directement au-dessus de cette dernière couche de tourbe, apparaissent de fines couches litées de limon (couches 8) qui constituent un dépôt mis en place par ruissellement.

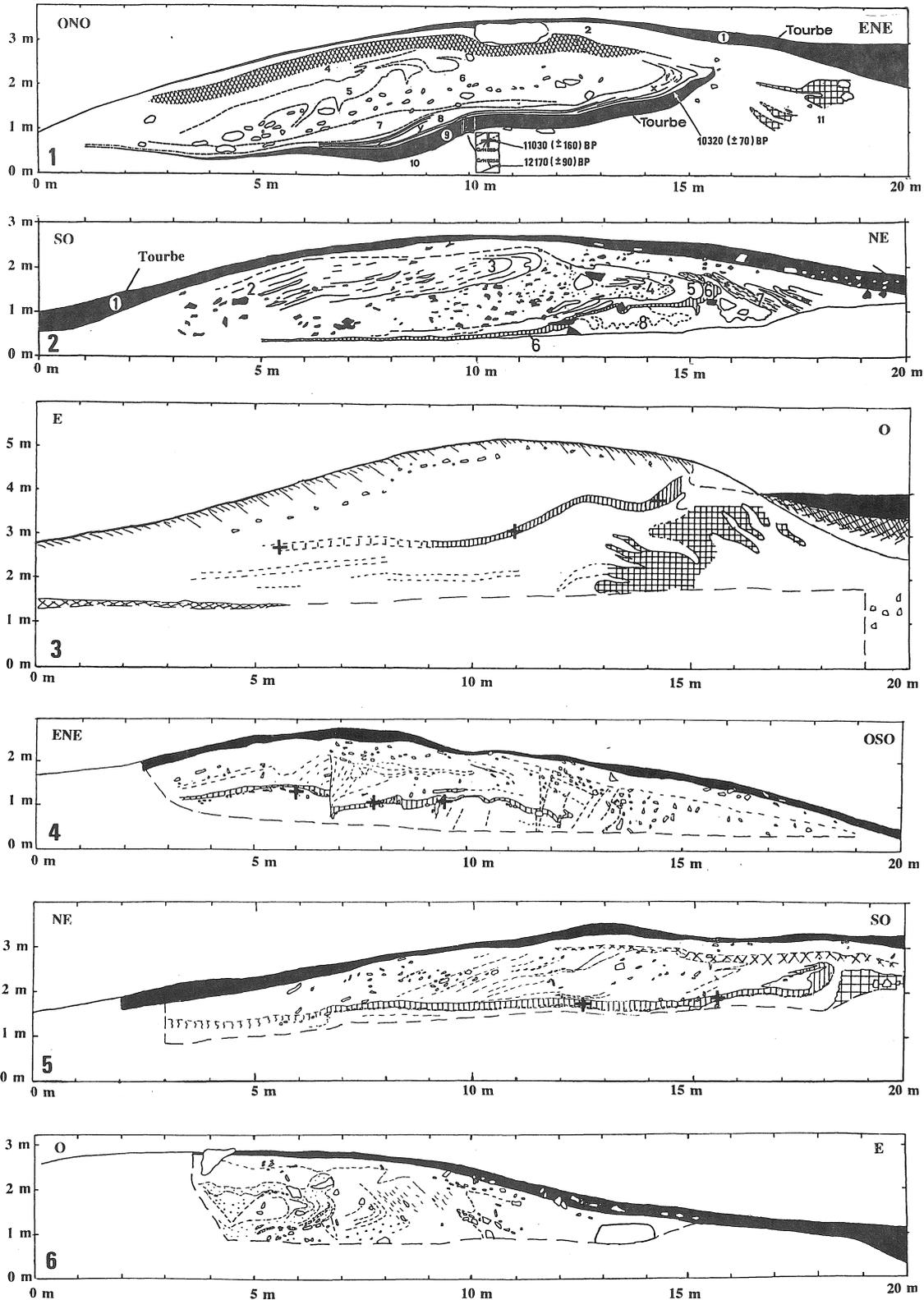
Le reste du dépôt est formé d'un mélange d'argile, de limons, et de débris du substratum paléozoïque. La fraction fine domine.

Partout des cailloux sont présents. Les limites données en tirets sont difficiles à distinguer.

Les minéraux denses étudiés par E. Juvigné montrent par la teneur en hornblende verte, épidote et grenat que dans tous ces matériaux la quantité de limon éolien est importante ; le rapport hornblende verte + grenat / zircon + rutile indique que les limons éoliens que l'on retrouve se sont déposés au cours de la dernière glaciation.

Dans la couche 10, sous tourbe, les formations limoneuses ont une forte teneur en calcaire, atteignant en poids 10 % du sédiment, ce qui témoigne qu'en cet endroit, les limons éoliens, qui constituent une partie importante du sédiment, n'ont pas été lessivés avant d'être recouverts par la tourbe, puis par le rempart du vivier.

Figure 3. Dessin des coupes 1 à 6.



Celles-ci montrent toutes un retournement des couches. Les flèches et les croix indiquent les endroits où un pourcentage très élevé des poussières volcaniques du Laacher See a été trouvé par E. Juvigné. La localisation des coupes est donnée sur la figure 2. La numérotation qui renvoie à ces coupes se trouve à gauche de chaque dessin.

## **MÉCANISME D'APPARITION**

La figure 5 montre comment le rempart est apparu. Au départ, une dépression où s'était accumulée de la tourbe (9) existait comme le montre la coupe a sur la figure 5; un soulèvement du sol a amené sur cette tourbe, dans la concavité qui apparaissait, une première lentille de limon ruisselé indiqué par x sur la coupe b (indiquée aussi par la même lettre sur la coupe 1 de la figure 3); le soulèvement s'est étendu latéralement en déplaçant la concavité et donc la zone d'accumulation du limon (y sur la coupe c); le soulèvement se poursuivant, la pente est devenue suffisante pour faire apparaître un déplacement en masse du matériau limono-caillouteux (coupes d, e, f), déplacement qui a entraîné le retournement des couches déposées antérieurement, dont la couche de tourbe; en même temps sont apparues des loupes de solifluxion visibles à l'extrémité droite des coupes e et f; la fusion de la glace apparue en profondeur, suivie de l'accumulation de tourbe dans la cuvette, a amené à la situation actuelle (coupe g).

Ces dessins montrent bien que la plus grande partie du rempart est due à l'accumulation de matériaux descendus par solifluxion sur la pente d'une butte aujourd'hui disparue.

Si l'on compare la figure a et la figure g, il apparaît toutefois que la couche de tourbe enfouie a été déformée et qu'elle reste partiellement soulevée dans la partie droite de la figure, en donnant naissance à un gradin bien marqué. Ce soulèvement est expliqué par la figure 6 qui montre comment l'apparition de glace soulevant obliquement les matériaux entraîne, après une retombée verticale de ceux-ci, un épaissement des couches et la formation d'un ressaut. Il faut tenir compte, pour comprendre le phénomène, de ce que la glace de ségrégation répartie dans toute la masse soulevée permet, au moment de la fusion, un mouvement fort libre des agrégats de terre qui étaient séparés par ces lentilles de glace.

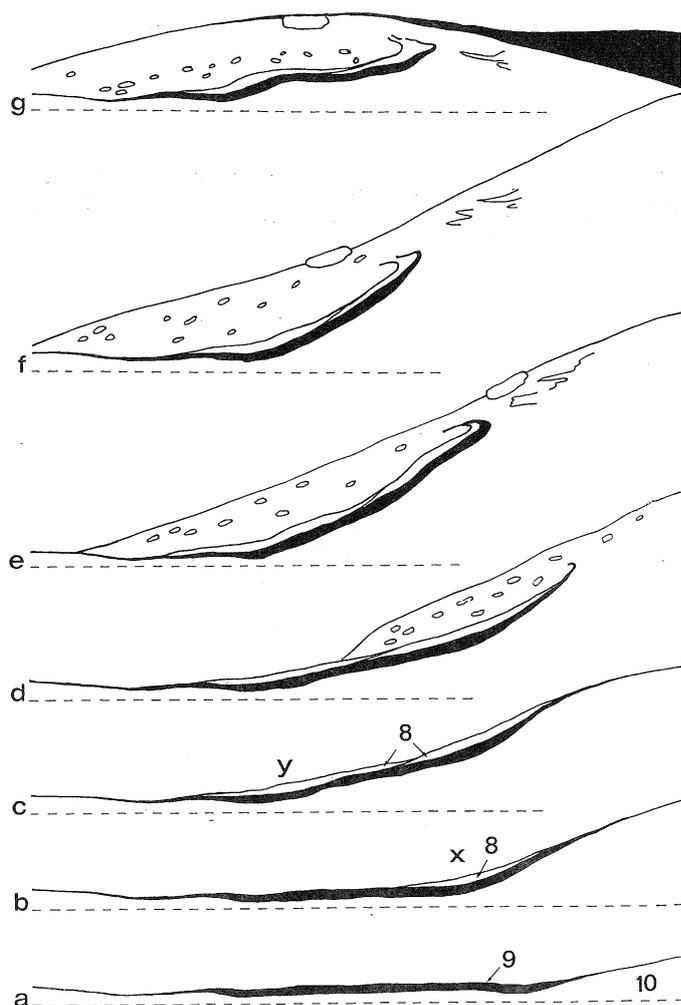
D'après ces figures, les remparts des viviers sont dus à deux mécanismes distincts, à savoir :

- 1) la descente de matériaux superficiels sur les versants des buttes
- 2) la retombée verticale de matériaux qui ont été déplacés latéralement lors de la formation de la glace de ségrégation.

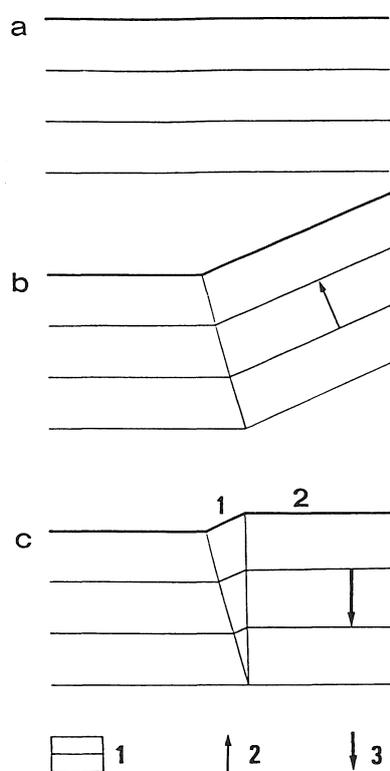
**Figure 4.** Vue aérienne prise en octobre 1999 du vivier allongé où a été réalisée la coupe 1 de la figure 3. La photo est prise du NNO vers le SSE. La flèche indique l'endroit où la coupe a été dégagée.



**Figure 5.** Etapes de la formation du rempart de la coupe 1 (figure 3) de la Konnerzvenn. Les explications sont données dans le texte.



**Figure 6.** Schéma expliquant comment est apparu un ressaut sous la tourbe enfouie de la coupe 1 (figure 3).



Le soulèvement oblique des matériaux à la suite de la formation de glace de ségrégation en profondeur a été suivi par leur retombée verticale lors de la fusion. Il en est résulté un épaissement des couches soulevées.

1 : tranches du sol à l'origine parallèles à la surface ; 2 : direction du soulèvement à la suite de la formation de glace en profondeur ; 3 : direction de la descente des matériaux lorsque la glace a disparu.

## LES AUTRES COUPES

La coupe 2 de la figure 3 (publiée par Pissart, 1983) montre une structure tout à fait comparable. Nous n'y avons toutefois pas retrouvé de tourbe, mais une couche de limon gris pratiquement sans cailloux (couche 6), bien individualisée et équivalente au limon ruisselé observé sur la tourbe de la coupe 1 de la figure 3. La base de cette couche limoneuse montre la même ondulation que celle affectant la tourbe de la première coupe. Nous retrouvons aussi le même retournement des couches et aussi des loupes de solifluxion dans la partie centrale de la forme, c'est-à-dire au NE.

La coupe 3 de la figure 3 est la première qui a été publiée (Bastin *et al.*, 1974). La figure 7, photo prise d'avion, montre comment se présentait le vivier excavé en 1976. Cette coupe présente les mêmes caractéristiques que les coupes précédentes, avec aussi une couche de limon bien apparente (hachurés verticaux) qui correspond à un dépôt de ruissellement mis en place au début de la croissance de la butte.

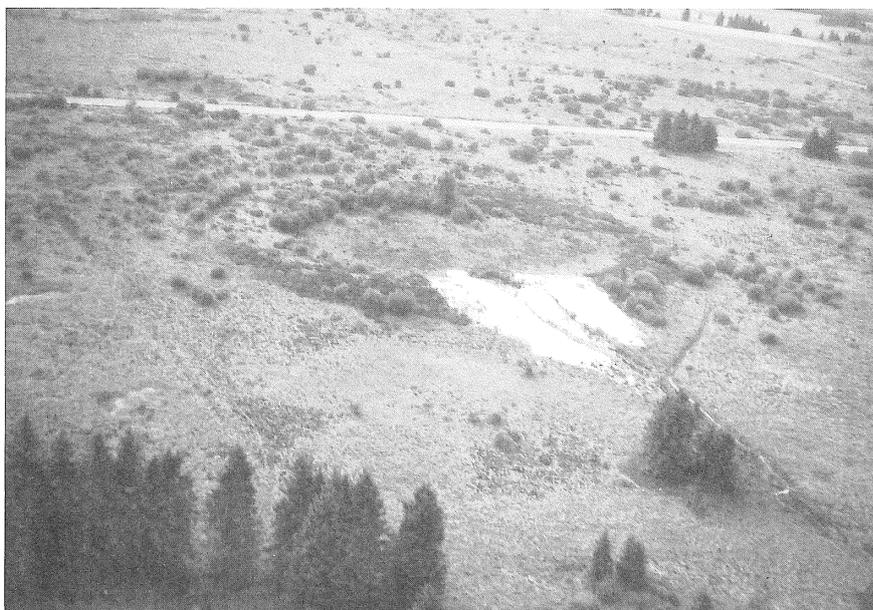
Les coupes 4, 5, 6 (inédites) montrent des images moins claires des mêmes structures. La couche de limon caractéristique est bien visible sur la coupe 4. La structure est hachée par des cassures sans doute apparues lors de la fusion de la glace. Ces cassures montrent que de la glace s'est formée loin sous le rempart. Il faut souligner que la cassure principale (à 7 m sur la coupe 4)

correspond à un ressaut visible en surface (mais pas apparent sur le dessin de la surface de la coupe) qui s'étend sur plusieurs dizaines de mètres parallèlement au rempart. Des ressauts de cette sorte ne pas rares, et je les avais déjà signalés en 1956 (fig. 1, et fig. 5 b de ce premier article).

La coupe 5 est comparable aux précédentes, sauf que le ressaut interne dû à la retombée des matériaux est peu apparent et seulement visible entre 16 et 17 m.

La coupe 6 ne montre que la moitié d'un rempart. Limitée par un chemin qui ne pouvait être excavé, elle a toutefois fait apparaître clairement le retournement des couches. Ce qui a été observé ne laisse aucun doute quant au type de structure, même si on n'a pas retrouvé la couche limoneuse si apparente dans les autres profils. Deux coins apparaissent dans cette structure. Il y a lieu de se demander s'ils ne sont pas apparus lors de la croissance de la butte.

*Figure 7. Vue aérienne prise en juillet 1976 du vivier où a été observée la coupe 3 de la figure 3 dont la localisation est donnée sur la figure 2.*



Les déblais étalés de part et d'autre de la coupe qui a été dégagée apparaissent en clair car ils n'étaient toujours pas colonisés par la végétation. La vue est prise de l'Est en direction de l'Ouest.

## **REMPART CONSTITUÉ PAR LA SUPERPOSITION DE LOUPES DE SOLIFLUXION (FIGURE 8)**

Une seule coupe (figure 8, coupe 7) montre une structure différente clairement identifiable témoignant de la descente de langues de solifluxion qui se sont superposées. Cette coupe a été publiée (Pissart, 1983). La partie de la coupe observée n'est pas suffisamment profonde pour bien faire apparaître toute la structure du rempart et surtout n'a pas permis d'identifier le niveau où se trouvait le sol au moment de la croissance de la butte. Mais elle montre clairement que l'accumulation de matériaux formant le rempart résulte de la superposition de langues de solifluxion. Cette coupe établit donc que tous les remparts n'ont pas la même structure, quoique, dans ce cas-ci comme dans les coupes précédentes, la plus grande masse du rempart est due à la descente de matériaux sur le versant de la butte.

## REMPARTS DONT LA STRUCTURE EST INCOMPRISE (FIGURE 9)

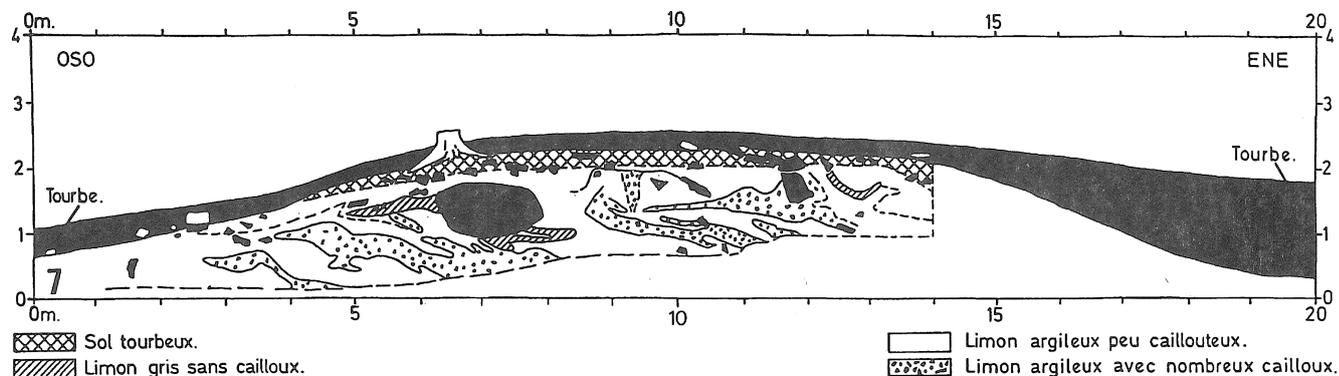
La coupe 8 donnée sur la figure 9 a été publiée (Pissart, 1983) ; elle a livré un mince liseré organique qui a été daté par <sup>14</sup>C. C'est une coupe dont la structure ne permet pas de reconstituer le mode de formation du rempart et où on ne reconnaît que la couche limoneuse qui a été datée. Les matériaux qui recouvrent cette couche sont certainement descendus depuis des parties soulevées par de la glace de ségrégation. Que représente la partie située à l'ONO ? Résulte-t-elle de l'existence de deux lithales quasi contiguës avec un effet du soulèvement oblique suivi d'une retombée verticale ? Nous ne disposons pas d'observations suffisantes pour reconnaître comment ce rempart s'est formé.

La coupe 9 (figure 9) a été réalisée perpendiculairement à la pente générale du terrain. La structure ne permet pas de comprendre la formation de ce rempart, mais montre clairement l'accumulation de matériaux descendus sur le versant pour former la zone extérieure SSO du bourrelet (au-delà de 9 m) qui n'est affectée d'aucun accident. En cet endroit, les couches se sont superposées et ont conservé leur pente originelle. Il n'y avait sans doute pas de glace sous cette zone. L'allure en gros horizontale des couches dans la moitié NNE de la coupe résulte sans doute d'un affaissement au moment de la fusion. Ces couches présentaient probablement, quand la butte était bien développée, une pente marquée. Des allures en coin comparables à celles visibles sur le profil 4 (figure 3) se retrouvent. Il est impossible d'affirmer qu'elles se sont formées ici lors de la fusion, car cette cassure ne correspond à aucune dénivellation en surface.

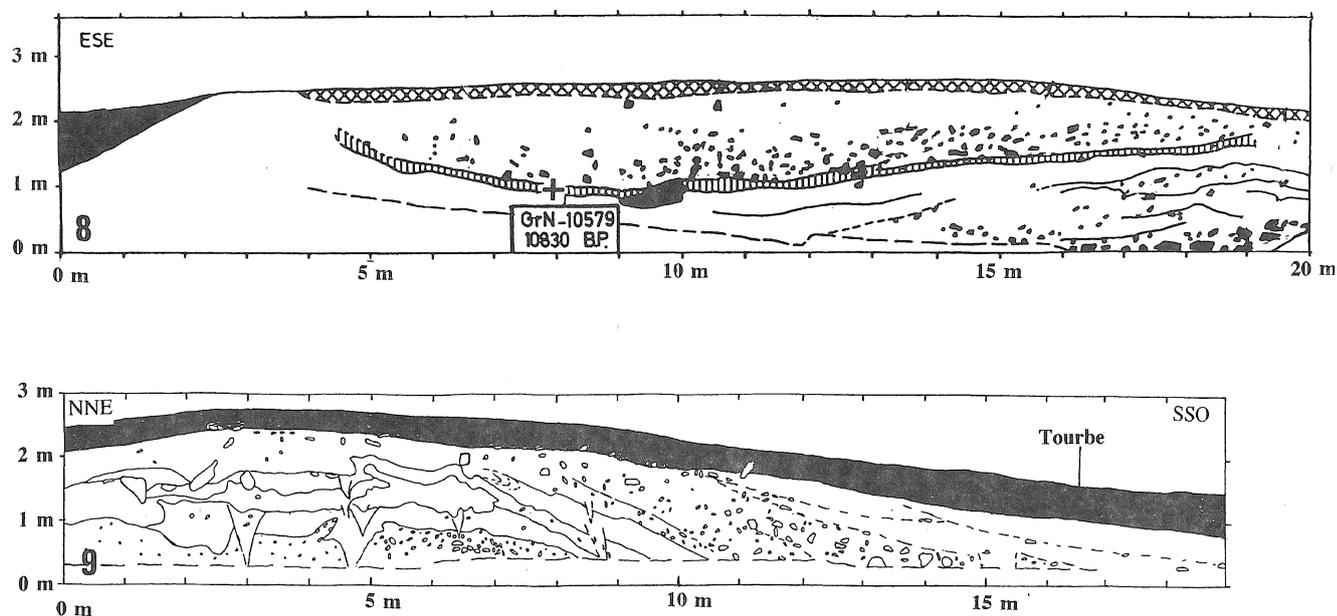
Les enseignements principaux que l'on doit retenir de l'étude de la structure de ces coupes sont les suivants :

- 1) De la tourbe a été trouvée dans une seule coupe. Cette découverte établit que de la tourbe a pu exister lors de la croissance des buttes et donc que certaines formes ont pu être des paises, (c'est-à-dire des buttes formées de glace de ségrégation recouvertes de tourbe). Cependant l'absence totale de tourbe dans les autres coupes prouve que la majorité des buttes n'avaient pas de couverture tourbeuse et étaient des lithales.
- 2) Les remparts sont apparus principalement à la suite de la descente de matériaux sur les versants des buttes. Une partie de la masse des remparts est due au soulèvement oblique des matériaux par la glace, suivie de leur retombée verticale. L'origine naturelle de ces formes est incontestable.
- 3) Des coins (en section) ont été trouvés dans plusieurs coupes. Certains apparaissent encore en surface par de faibles ressauts et résultent d'affaissement au moment de la fusion. Il n'est pas prouvé que certains de ces coins ne sont pas apparus au moment de la croissance des buttes.

**Figure 8.** Coupe 7 : rempart formé par la superposition de loupes de solifluxion. Voir localisation de cette coupe sur la figure 2.



**Figure 9.** Coupes 8 et 9 réalisées dans des remparts dont la formation est mal expliquée.



La localisation de ces coupes est donnée sur la figure 2. La croix dessinée sur la coupe 8 indique l'endroit où E. Juvigné a observé les poussières volcaniques du Laacher See et où se trouvait la matière organique datée par 14 C.

## Les datations obtenues

Deux méthodes ont permis de préciser l'âge des remparts, à savoir le  $^{14}\text{C}$  et la téphrostratigraphie. Ces données ont été étayées et complétées par la palynologie. Précisons qu'avant le dégagement de ces coupes, Gullentops et Mullenders (1969) avaient daté les buttes périglaciaires du Dernier Dryas par téphrostratigraphie. De 1969 à 1980, nous ne considérions pas cet argument comme probant et nous n'en parlions pas. Il est apparu par la suite que cette étude était excellente, et nous nous excusons ici auprès de ces auteurs de ne pas avoir fait référence à leur travail avant 1980.

## RADIOCARBONE

C'est la coupe 1 reproduite sur la figure 3 qui a fourni les renseignements les plus nombreux et précis. La couche de tourbe reconnue comme antérieure à la croissance de la butte cryogène a été en effet datée à différents niveaux par  $^{14}\text{C}$ . Les dates obtenues sont les suivantes : (les abréviations des laboratoires et les numéros des datations sont donnés entre parenthèses) : base de la tourbe :  $12170 \pm 90$  BP (GrN 9258),  $12710 \pm 180$  BP (Lv 1012) ; le niveau de poussières volcaniques du Laacher See existant dans la tourbe (dont nous parlons ci-dessous) :  $11030 \pm 160$  BP (GrN 8891),  $10830 \pm 45$  BP (GrN 10579) et  $10820 \pm 150$  BP (Lv 1011); le sommet de la tourbe :  $10640 \pm 130$  BP (MBN 191) et  $10320 \pm 70$  BP (Beta 122423). Cette dernière datation a été réalisée en octobre 98 ; la localisation du prélèvement est indiquée sur la figure 3.

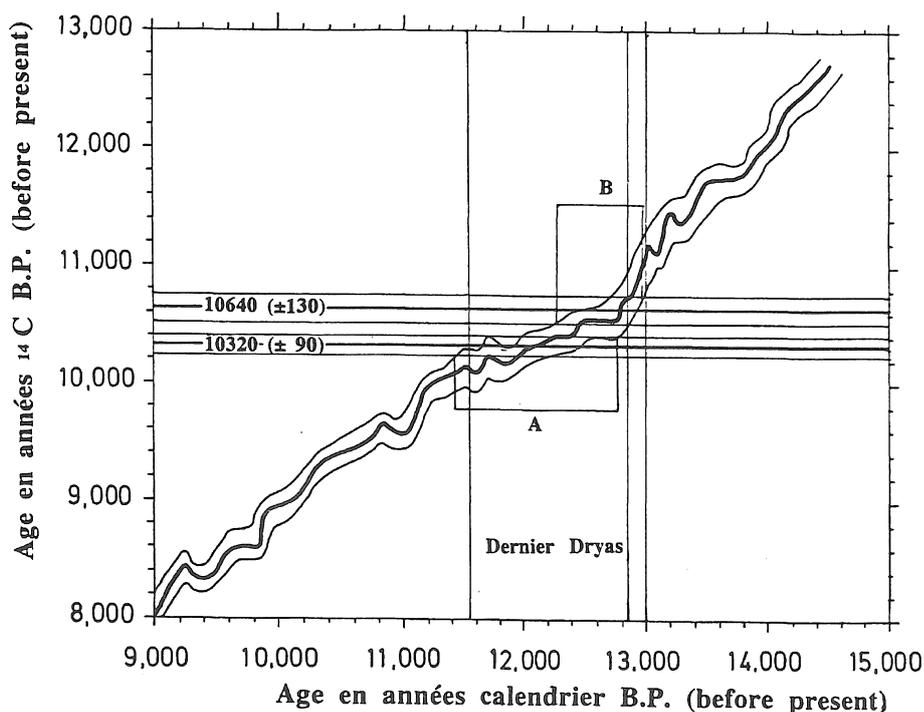
Précisons que les datations obtenues par radiocarbone donnent en années B.P. ("before présent", mais plus exactement avant 1950), la durée de la période qui s'est écoulée depuis la fossilisation du carbone étudié. La période après le sigle  $\pm$  est un écart-type des erreurs de comptage, c'est-à-dire qu'il y a 68% de chance que la vraie valeur tombe dans un écart-type (de part et d'autre de la valeur donnée), 95% qu'elle se trouve dans deux écart-types et 99,7% de chance qu'elle soit comprise dans 3 écart-types. Autrement dit, la première datation donnée, soit  $12170 \pm 90$ , a, du fait des erreurs de comptage, 68% de chance de se trouver entre 12080 et 12260 et 95% de chance de se trouver entre 11990 et 12350.

Mais l'incertitude la plus sévère en ce qui concerne les datations par  $^{14}\text{C}$  est due au fait que la date obtenue dépend de la teneur en  $^{14}\text{C}$  qui se trouvait dans l'atmosphère au moment où l'organisme vivant s'est constitué (car les organismes étaient alors en équilibre avec la teneur en  $^{14}\text{C}$  de l'atmosphère). Une correction pour cette teneur initiale est donc indispensable. La méthode utilisée pour reconnaître la teneur initiale en  $^{14}\text{C}$  s'appuie sur la dendrochronologie. Elle consiste à déterminer la teneur en  $^{14}\text{C}$  de cernes d'arbres dont l'âge est connu par simple comptage des cernes depuis l'époque actuelle (en passant d'un arbre vivant à des arbres morts) et donc à mesurer ainsi de combien l'âge obtenu par radiocarbone s'écarte du résultat des comptages des cernes. La courbe de calibration établie par cette méthode ne s'étend toutefois pas au-delà de 11 800 années calendrier, date proche de la fin du Dernier Dryas. De ce fait jusqu'il y a peu, il était impossible de traduire en années calendrier les datations qui vont au-delà de la courbe de calibration reconnue. Une étude de Hughen et *al.* (1998) a proposé récemment, sur la base de l'étude de sédiments lités du sud de la mer des Caraïbes, une courbe que nous reproduisons sur la figure 10. Y apparaissent le début et la fin du Dernier Dryas d'après les observations faites par Hughen et *al.* sur ces sédiments. Nous y avons reporté les dates obtenues pour le sommet de la tourbe de la Konnerzvenn, soit  $10630 (\pm 130)$  et  $10320 (\pm 90)$ . Les incertitudes en âge calendrier apparaissent ainsi clairement. Ajoutons enfin que en ce qui concerne le problème de la datation absolue du Dernier Dryas, une synthèse de différentes études a été publiée en 1995 par Hajdas et donne pour cette période des dates allant de  $\pm 12900$  à  $\pm 12100$  pour le début et de  $\pm 11600$  à  $\pm 11000$  pour la fin de cette période.

Ajoutons qu'une autre datation  $^{14}\text{C}$  a été obtenue dans la coupe 8 de la figure 9. La datation d'un très fin liseré organique qui a été trouvé à ce niveau, est tout à fait en accord avec les datations obtenues dans la couche de tourbe (coupe 1, figure 3) dont il a été question ci-dessus, puisque le résultat a été de  $10830 \pm 45$  B.P. (GrN 10579).

Nous reparlerons dans un prochain article de ce qui s'est passé au Dernier Dryas et pourquoi il y a eu une variation importante de la teneur en  $^{14}\text{C}$  de l'atmosphère rendant difficile pour cette période la conversion des dates  $^{14}\text{C}$  en années calendrier.

**Figure 10.** Relation entre les âges  $^{14}\text{C}$  en années conventionnelles BP (c'est-à-dire before présent, mais plus précisément avant 1950) et les âges en années calendrier BP (c'est-à-dire en années correspondant à la durée des années de notre calendrier) pour la période allant de 9000 à 15000 avant aujourd'hui d'après l'étude des varves du bassin de Cariaco dans la Mer des Caraïbes, d'après Hughen et al., 1998.



La différence entre les deux âges, de l'ordre de 1000 ans il y a 9000 ans, passe à 1750 ans vers 14500 BP calendrier. L'allure horizontale de la courbe pendant le Dernier Dryas rend très incertaine la transformation des années  $^{14}\text{C}$  en années calendrier. La zone entourant la courbe correspond à deux écart-types des erreurs de mesure  $^{14}\text{C}$ . Les limites du Dernier Dryas indiquées correspondent au début et à la fin de la période telle qu'elle apparaît dans la couleur de ces varves des Caraïbes selon Hughen et al., 1998.

Sur cette figure sont reportés deux résultats de comptage du  $^{14}\text{C}$  obtenus au sommet de la tourbe de la Konnerzvenn, à savoir 10320 (±90) et 10640 (±130). Les incertitudes en âge calendrier, en utilisant cette courbe de Hughen pour la conversion et en tenant compte des deux écart-types donnés par Hughen et un écart-type des erreurs de comptage, sont comprises pour la première mesure (A sur la figure) entre 11400 et 12770 ans B.P. cal. et pour la seconde mesure (B) de 12230 à 12 980 ans B.P. cal. Cette image montre l'incertitude qui est liée aux mesures  $^{14}\text{C}$  quant à la période exacte qui a été couverte par le Dernier Dryas.

## LES POUSSIÈRES VOLCANIQUES DU LAACHER TUF

L'étude des minéraux denses et donc aussi la reconnaissance de poussières volcaniques dans les coupes que nous avons reproduites (figures 3, 6, et 7) a été réalisée par Etienne Juvigné, actuellement Professeur à l'Université de Liège, qui possède une très grande expérience dans ce domaine. Rappelons que c'est par l'étude de telles poussières que Mullenders et Gullentops (1969) ont, les premiers, reconnu que des viviers (du plateau des Tailles) sont apparus pendant le Dernier Dryas, en montrant l'existence des minéraux volcaniques de l'Eifel d'âge Alleröd dans les remparts et leur absence dans le remplissage des cuvettes.

Dans la première coupe que nous avons réalisée dans le rempart d'un vivier de la Brackvenn (Bastin et al., 1974), un niveau de poussières volcaniques a été trouvé (figure 3, coupe 3) dans la couche limoneuse qui était en surface avant la formation de la butte périglaciaire. Sur la base des résultats de l'étude palynologique qui attribuait les formations qui recouvrent cette couche au Pléniglaciaire et aussi parce que la téphra était composée de 95% de hornblende basaltique, une composition minéralogique qui n'avait jamais été trouvée en Belgique, ce niveau de poussières volcaniques avait été considéré comme le témoin d'une éruption volcanique inconnue qui, de ce fait, n'apportait aucun argument de datation.

La coupe de la Konnerzvenn (Pissart et Juvigné, 1980) a permis pour la première fois en Belgique d'observer à l'oeil nu un niveau de poussière volcanique. Au sein de la couche de tourbe elle-même, E. Juvigné a reconnu une traînée blanchâtre qui correspond à un niveau de poussière composée à 57% de hornblendes brunes, avec 31% de pyroxènes et 11% de sphènes. Les datations  $^{14}\text{C}$  dont nous avons parlé précédemment ne laissent plus aucun doute sur le moment de formation de ce tuf ; il provient de l'éruption du Laacher See. Dans ce même travail de 1980, a été remis en cause l'âge pléniglaciaire supposé de la coupe de la Brackvenn décrite en 1974 (Bastin et al.), et les auteurs se sont déclarés "maintenant enclins à penser que les deux buttes sont apparues au même moment, à savoir au cours du Dernier Dryas", comme Mullenders et Gullentops l'avaient proposé dès 1969.

En 1983 toutefois, Juvigné considère toujours, vu la composition minéralogique différente des dépôts, que deux tufs différents se sont mis en place un peu avant le Dernier Dryas, à savoir le tuf de la Konnerzvenn, daté par la tourbe (figure 3, coupe 1), et le tuf de la Brackvenn (figure 3, coupe 3). Dix ans plus tard, Juvigné (1993), qui a étudié entre-temps les variations de la composition minéralogique des poussières de l'éruption St. Helens aux USA, a abandonné l'idée que les téphra de la Brackvenn et de la Konnerzvenn seraient dues à des éruptions différentes. Il écrit "on doit attendre au sein d'une même téphra des variations incontrôlables de fréquence au sein des associations de minéraux et on ne peut exclure des corrélations sur la base de différences quantitatives, même importantes" (Juvigné, 1993, p. 12).

Il est actuellement admis que les poussières volcaniques qui ont été trouvées provenaient toutes de l'éruption du Laacher See et constituent un marqueur stratigraphique excellent. Comme les trois unités de tuf du Laacher See qui ont été distinguées (lower Laacher See Tuf, middle Laacher See Tuf and upper Laacher See Tuf) auraient été éjectées en une période de temps très courte, allant de quelques jours à quelques semaines (van den Bogaard et Schminke, 1985), il n'y aurait plus de distinction à faire entre les niveaux de composition différente. Rappelons que les âges obtenus par  $^{14}\text{C}$  dans les coupes 1 et 8 que nous avons décrites sont de 11030 et 10820 B.P., alors que van den Bogaard et Schminke leur donnent un âge de  $11000 \pm 50$  BP et Hajdas et al. (1995)  $11230 \pm 50$  BP. Ces différences d'âge montrent bien les aléas liés aux datations  $^{14}\text{C}$  et qu'on ne peut considérer que l'âge réel se trouve dans un écart-type qui caractérise seulement la dispersion des résultats due aux erreurs de comptage. Précisons que les comptages de varves dans des mares de l'Eifel et dans des lacs de Suisse indiquent que l'éruption du Laacher See s'est produite entre 200 et 300 ans avant le début du Dernier Dryas (Hajdas *et al.*, 1995b).

Enfin, ajoutons que l'existence au sein des remparts de poussières volcaniques caractérisées par des enstatites et connues comme étant tombées au début de la dernière glaciation a établi dans toutes les coupes étudiées que les remparts se sont formés au cours de la dernière glaciation.

## LA PALYNOLOGIE

Plusieurs publications que nous avons réalisées sur des problèmes de géomorphologie des Hautes Fagnes font apparaître notre proche collaboration avec B. Bastin qui, à l'Université de Louvain, était attaché au laboratoire de palynologie du Professeur Mullenders. C'est B. Bastin qui a réalisé les études du pollen présent dans les sédiments des coupes étudiées. Dans ce domaine, comme nous l'avons vu en ce qui concerne le mode de formation des buttes périglaciaires et aussi l'étude des poussières volcaniques, les opinions ont été plusieurs fois modifiées au cours des dernières décennies, comme l'a très bien montré Damblon dans la revue "Hautes Fagnes" (1996). Nous considérerons ici d'abord les travaux qui ont eu pour but de dater les formations postérieures à l'apparition des viviers, c'est-à-dire le remplissage des cuvettes, puis ceux beaucoup plus récents qui ont étudié les formations antérieures à la formation des buttes, c'est-à-dire la couche de tourbe trouvée dans le rempart de la Konnerzvenn que montre la figure 3, (coupe 1).

## LE DÉBUT DU REMPLISSAGE DES VIVIERS

Jusqu'aujourd'hui, seule la palynologie a donné des renseignements sur le début du remplissage des dépressions que constituent les viviers. Le premier travail sur le sujet est celui de Florschütz (1937), sorti de presse d'après Florschütz et Van Oye (1938), environ un an avant l'étude de R. et M. Bouillenne publiée aussi en 1937. Florschütz estimait que le remplissage avait commencé pendant la deuxième époque du Tardiglaciaire car il avait trouvé des traces de plantes froides dont *Selaginella selaginoides* Link dans l'argile, à 490 cm de profondeur, dans le vivier "Fagnoul" de la Fagne Wallonne. Presque en même temps, la publication de R. et M. Bouillenne (1937) défend une origine anthropique pour les viviers en affirmant que le remplissage des viviers a débuté au Préboréal. Cette datation est cependant remise en question deux ans plus tard (M. Bouillenne-Walrand et F. Darimont, 1939). En outre, l'origine anthropique a été immédiatement contestée car Florschütz et Van Oye (1938) ont affirmé que l'homme n'avait pu vivre sur le Haut Plateau pendant la période froide dont ils trouvaient la trace ; ils ont souligné par ailleurs que les restes de constructions décrites étaient constituées non seulement de bouleaux, mais aussi de hêtres et de chênes et comprenaient donc des arbres qui ne vivaient pas à cette époque. En 1939, les mêmes auteurs sont moins affirmatifs, car de nouveaux spectres polliniques provenant de l'argile prélevée au fond du vivier Fagnoul ont montré non seulement un chiffre élevé de *Pinus*, *Betula* et *Salix*, mais aussi un léger pourcentage de *Alnus*, *Carpinus*, *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus* et *Corylus*, arbres qui auraient témoigné d'une époque plus chaude. Ce qui les fait écrire : "Par conséquent l'hypothèse de la présence humaine aux alentours du vivier, avant ou pendant le dépôt d'argile, paraît beaucoup moins hasardeuse". Le moment d'apparition du vivier Fagnoul est resté indéterminé par la suite puisque, en 1946, les mêmes auteurs, van Oye et Florschütz, écrivent que la formation de la tourbe dans ce vivier a commencé "au Tardiglaciaire et peut-être même pendant un interstade du Würm".

Par la suite, la fin du Dernier Dryas et le Préboréal sont également trouvés dans les viviers de Belle-Croix (Van der Hammen, 1953), dans un vivier de la Fagne Wallonne (Slotboom, 1963) et dans un vivier du plateau des Tailles (Mullenders, 1963). Le problème a été repris par Woillard (1975 a et b) dans des viviers de la Konnerzvenn et de la Brackvenn, soit dans les secteurs où nous avons dégagé les coupes qui sont présentées dans cet article. Deux des remplissages

étudiés par Woillard sont localisés sur la figure 2 par des croix (il s'agit du vivier où a été réalisé la coupe 3 et d'un vivier intersecté par la courbe de niveau de 580 m). Elle y avait trouvé dans les couches limoneuses et tourbeuses du fond des cuvettes des traces d'épisodes chauds et froids et en a déduit que les buttes périglaciaires se seraient formées avant le Dernier Dryas.

En 1975, les avis étaient donc contradictoires, le pollen d'arbres de climat tempéré retrouvé au fond des cuvettes par Florschütz et van Oye (1939, 1946), puis par Woillard (1975) s'opposaient aux conclusions de M. et R. Bouillenne (1937), puis de Van der Hammen (1953) et de Slotboom (1963) qui pensaient que les viviers étaient apparus à la fin du Dernier Dryas. L'hypothèse défendant une origine antérieure au Dernier Dryas était par ailleurs étayée par l'interprétation palynologique donnée par Bastin et al. (1974) du pollen trouvé dans la couche limoneuse de la coupe dégagée dans la Brackvenn (figure 3, coupe 3) qui était interprété comme pléni-glaciaire.

Cette divergence d'avis peut sans doute s'expliquer par le fait que, dans le souci de remonter le plus loin possible dans le passé, le pollen étudié provenait non seulement des couches tourbeuses, mais aussi des dépôts silto-argileux du fond des cuvettes où le pollen peut provenir non seulement de la pluie pollinique de l'époque de la mise en place de ces couches, mais aussi de pollen plus ancien déjà compris dans la matière minérale qui a été remaniée.

### **LA TOURBE DÉPOSÉE AVANT LA CROISSANCE DES LITHALSES (FIGURE 3, COUPE 1)**

Les 7 datations <sup>14</sup>C réalisées sur la couche de tourbe mise en place avant la croissance de la lithalse étudiée à la Konnerzvenn (figure 3, coupe 1), la datation obtenue dans la coupe 8 (figure 9) et l'extension de la datation obtenue à 3 autres coupes par la présence de poussières volcaniques, sont venues résoudre le différend entre les interprétations palynologiques.

L'étude palynologique de cette tourbe de la Konnerzvenn a été publiée pour la première fois dans "Hautes Fagnes" en 1985, soit plusieurs années après la description de la coupe par Pissart et Juvigné (1980), et cela bien que l'auteur de ce diagramme, B. Bastin, soit venu prélever les échantillons dès que la coupe a été dégagée en 1978. Le diagramme pollinique qui est reproduit sur la figure 11 porte d'ailleurs la date de 1979. C'est que l'étude de cette couche de tourbe contredisait des conclusions d'études palynologiques antérieures, ce qui méritait d'être vérifié. B. Bastin a donc fait réaliser à Louvain des datations <sup>14</sup>C, afin de confirmer la validité des dates données dans notre article de 1980, dates qui avaient été obtenues à Groningue.

Vu l'importance scientifique exceptionnelle de cette couche de tourbe, nous reproduisons le diagramme pollinique de Bastin (1985) qui a été aussi publié, avec les commentaires adéquats et les résultats de l'étude des macrorestes, par Damblon et Bastin (1986).

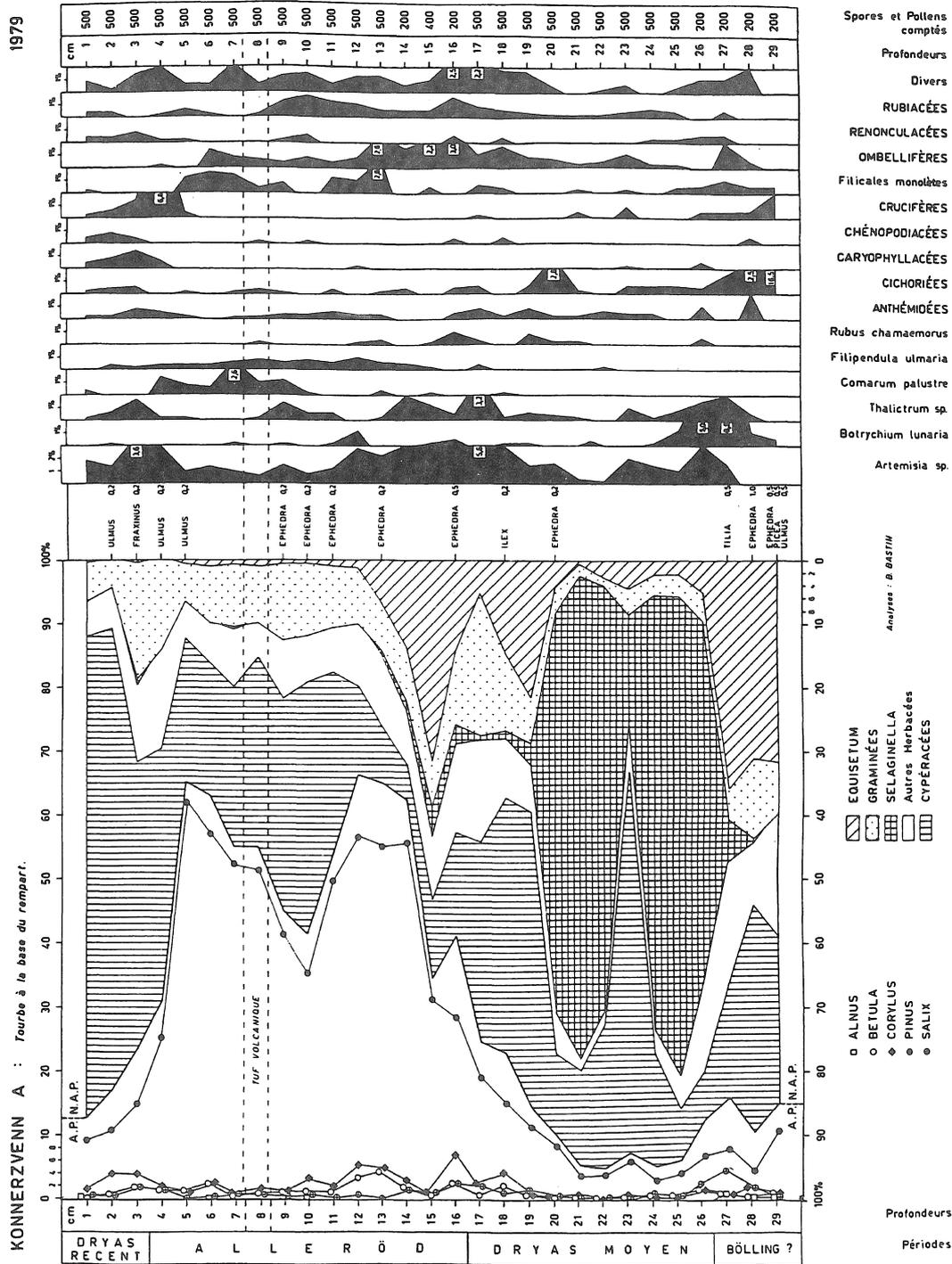
Le diagramme pollinique de B. Bastin (figure 11) décrit le pollen trouvé sur des échantillons prélevés tous les cm sur une épaisseur de 29 cm. Autrement dit 29 échantillons ont été analysés. La couche de téphra contenant les poussières du Laacher See et qui était visible à l'oeil nu est localisée à la profondeur de 8 cm. L'observation la plus aisée pour un non spécialiste est la variation de pourcentage du pollen arboréen (A.P.) et non arboréen (N.A.P.). Cette relation donne une image, sans doute déformée, de l'importance de la couverture arbustive et témoigne ainsi, en gros, des changements climatiques. Les faibles pourcentages de pollen d'arbres à la base comme au sommet de la couche de tourbe établissent l'existence de périodes froides.

L'accumulation de tourbe a été interrompue par la croissance de la butte périglaciaire qui s'est bien produite au moment d'un refroidissement. L'amélioration climatique que montre ce diagramme correspond à l'Alleröd, comme le prouvent les datations au radiocarbone. Cette période tempérée a été précédée par la période froide du Dryas moyen, suivie par le Dernier Dryas (dénommé aussi Dryas récent). C'est le début du refroidissement du Dryas récent qui apparaît donc à la partie supérieure du diagramme pollinique en parfait accord avec l'hypothèse périglaciaire de la croissance de la butte pendant une période froide.

Ajoutons qu'une étude préliminaire des coléoptères présents dans cette tourbe a été réalisée par G. R. Coope et publiée en 1985 dans la présente revue.

La coupe 1 (figure 3) a donc permis un progrès extrêmement important des connaissances. La couche de tourbe qui y a été découverte est la plus ancienne du Haut Plateau. Elle a permis de retracer, cette fois sans contestation possible, révolution de la végétation au cours d'une période antérieure à la formation des lithalses. Bien que 7 fouilles différentes aient été réalisées ultérieurement dans le même secteur, (figures 3, 6 et 7), nous n'avons pas trouvé ailleurs de couche de tourbe équivalente, et nous pensons en conséquence, (en attendant des découvertes ultérieures possibles) que cette tourbe était extrêmement localisée. C'est cette conviction qui nous pousse à parler de lithalses et non pas de paises pour les buttes qui ont existé au Dernier Dryas dans les Hautes Fagnes.

Figure 11. Diagramme pollinique établi par B. Bastin (1985 et 1986) de la couche de tourbe de la Konnerzvenn et que représente la couche 9 sur la coupe 1, figure 3.



## Conclusion

Les coupes réalisées grâce aux subsides du FNRS ont permis 1) de reconnaître comment les remparts des viviers se sont constitués et ont confirmé leur origine naturelle, 2) de définir sans

ambiguïté pour 5 coupes sur 9 le moment d'apparition des lithalses au cours du Dernier Dryas. Pour les 4 coupes pour lesquelles aucun élément de datation n'a été recueilli, nous n'avons aucune raison de supposer qu'elles ont entaillé des remparts qui ne seraient pas apparus au même moment.

Dans le prochain article, nous montrerons quelles ont été les conditions climatiques qui ont existé sur le Haut Plateau pendant le Dernier Dryas, conditions établies d'après les restes biologiques de cette époque, et les phénomènes périglaciaires qui sont apparus à ce moment, ainsi que par comparaison avec les conditions qui existent actuellement en Hudsonie où se trouvent des lithalses probablement identiques à celles qui ont existé dans les Hautes Fagnes.

## Bibliographie

Bastin, B., 1985. Etude palynologique d'une couche de tourbe mise au jour dans le "rempart" d'une "palse" de la Konnerzvenn. *Hautes Fagnes*, 179 : 72-73.

Bastin, B., Juvigné, E., Pissart, A. & Thorez, J., 1974. Etude d'une coupe dégagée à travers un rempart d'une cicatrice de pingo de la Brackvenn. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 97 : 341-358.

Coope, G. R., 1985. Etude des coléoptères inclus dans la tourbe découverte dans le rempart d'un vivier de la Konnerzvenn. *Hautes Fagnes*, 179 : 74.

Bouillenne, R. et M., 1937. Les viviers du plateau de la Baraque Michel. *Bulletin de la Société royale des Sciences de Liège*, 12 : 404-427.

Bouillenne-Walrand.M. et Darimont, F., 1939. L'habitat antique sur le plateau de la Baraque Michel. *Association française pour l'avancement des Sciences*, 63<sup>e</sup> session, Liège : 1088-1090.

Damblon, F., 1994. Les dépôts tourbeux et l'histoire de la végétation sur le plateau des Hautes Fagnes (Belgique). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 117 (2) : 259-276.

Damblon, F. & Bastin, B., 1986. Etude paléoécologique d'une lentille tourbeuse ensevelie dans le rempart d'une palse de la Konnerzvenn (Hautes Fagnes, Belgique). *Bull. Soc. Roy. Bot. Belge*, 120 : 20-29.

Florschütz, F., 1937. Palaeobotanisch onderzoek in verband met een vermoede menschelijke nederzetting op het plateau van het Belgisch Hoogveen (Hautes Fagnes). *Proc. Kon Akad. wetensch. Amsterdam*, sect. B, 40 : 181-185.

Florschütz, F. & van Oye, E., 1938. Over de ouderdomsbepaling van het «vijvers» op het Plateau van het belgisch Hoogveen. *Tijdschrift Kon. Acad. Aardrijkskundige Genootschap*, 55 : 454-461.

Florschütz, F. & van Oye, E., 1939. Recherches analytiques de pollen dans la région des Hautes Fagnes (Belgique). *Biol. Jaarboek Dodonaea*, 6 : 227-233.

Juvigné, E., 1983. Two different volcanic ash falls of Alleröd âge in high Belgium. *Géologie en Mijnbouw*, 62 : 545-549.

Juvigné, E., 1993. Contribution à la tephrostratigraphie du Quaternaire et son application à la géomorphologie. *Mémoires pour servir à l'explication des cartes géologiques et minières de la Belgique*, 36, 66p.

Hajdas, I., 1995 a. Radiocarbon and absolute dating of the Younger Dryas climatic event. *Pages (Past Global Changes)*, 3(1), supplément : 2p.

Hajdas, I., Ivy-ochs, S., Bonani, G., Lotter, A., Zolitschka, B., and Schlüchter, C., 1995. Radiocarbon âge of the Laacher See tephra : 11230 ±40BP. *Radiocarbon*, 37 (2) : 149-154.

Hughen, K. A., Overpeck, J. T., Lehman, S. L., M., K., Southon, J., Peterson, L. C., Alley, R. & M., S. D., 1998. Deglacial changes in océan circulation from an extended radiocarbon calibration. *Nature*, 391 : 65-68.

Mullenders, W., 1963. Note préliminaire sur la palynologie des pingos du Plateau des Tailles (Belgique). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 7 (2) : 165-168.

Mullenders, W. & Gullentops, F., 1969. The age of the pingos of Belgium. In: Péwé, T. L. (Ed.) *The periglacial environment, past and présent*, Montreal, Mc Gill Queen's university Press, : 321-335.

Pissart, A. 1956. L'origine périglaciaire des viviers des Hautes Fagnes. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 79 : 119-131.

Pissart, A., 1983. Remnants of periglacial mounds in the Hautes Fagnes (Belgium). Structure and age of the ramparts. *Geologie en Mijnbouw*, 62 : 551-555.

Pissart, A. & Juvigné, E., 1980. Genèse et âge d'une trace de butte périglaciaire (pingo ou palse) de la Konnerzvenn (Hautes Fagnes, Belgique). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 103 : 73-86.

Van den Bogaard, P. et Schminke, H.-U., 1985. Laacher See Tephra: A widespread isochronous late Quaternary tephra layer in central and northern Europe. *Geological Society of America Bulletin*, 96 : 1554-1571.

Woillard, G., 1975 a. Recherches palynologiques sur le Pléistocène dans l'Est de la Belgique et dans les Vosges lorraines. *Acta Geographica Lovaniensia*, 14, 118 p.

Woillard, G., 1975 b. Les "pingos" du plateau des Hautes Fagnes. *Les Naturalistes belges*, 56 : 109-114.