

Des remparts de viviers revisités

Etienne Juvigné, Freddy Damblon et Maurice Streel.

1. Introduction

Le présent article prolonge tous ceux qui ont été publiés sur les viviers des Hautes Fagnes d'abord par des botanistes depuis Bouillenne R. & M. (1937), puis par des géomorphologues, après que Pissart (1956) les eut identifiés comme des traces de pingos qui allaient devenir des traces de lithalses (Pissart *et al.*, 1998). Dans ce cadre, plusieurs remparts de viviers ont été excavés dans les années 1970 et 1980 pour en étudier les processus de formation et l'âge. Nous revisitons ici des interprétations originales de quatre d'entre eux.

Remarques préliminaires

- Sur proposition judicieuse de Pissart (2014), le terme vivier devrait dorénavant être utilisé pour désigner les cuvettes tourbeuses entourées d'un rempart de limon caillouteux uniquement dans les Hautes Fagnes, tandis que les buttes qui leur ont donné naissance doivent être appelées 'lithalses' (Pissart *et al.*, 1998), et non plus pingos ou palses minérales. Dorénavant, les viviers sont donc des traces de lithalses.

- Dans le texte, les âges exprimés sous la forme '-14.000 ans' sont à décompter par rapport à l'an 2000 de notre calendrier.

2. Les remparts de viviers revisités

Les remparts de viviers revisités ici sont localisés sur la figure 1. Les descriptions originales sont dues respectivement à Bastin *et al.* (1974 : Brackvenn), Pissart et Juvigné (1980 : Konnerzvenn) et Pissart (1983 : site 2 de la Konnerzvenn et site 4 entre la Brackvenn et la Konnerzvenn).

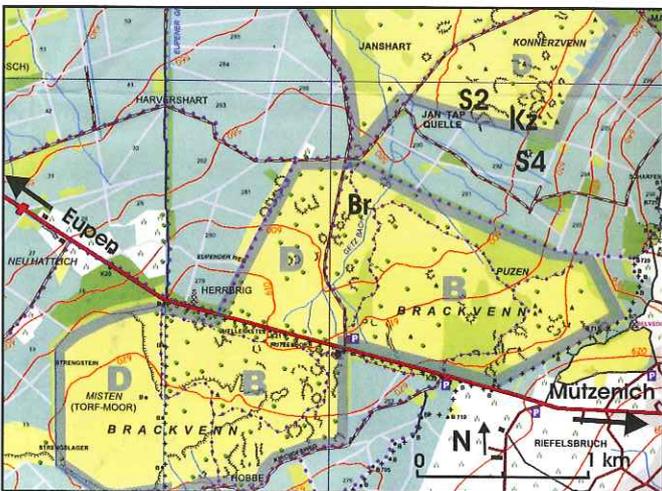


Figure 1. Localisation des quatre viviers dont les remparts sont ici revisités : Kz= Konnerzvenn ; Br= Brackvenn ; S2= site 2 de la Konnerzvenn ; S4= site 4 entre la Brackvenn et la Konnerzvenn.

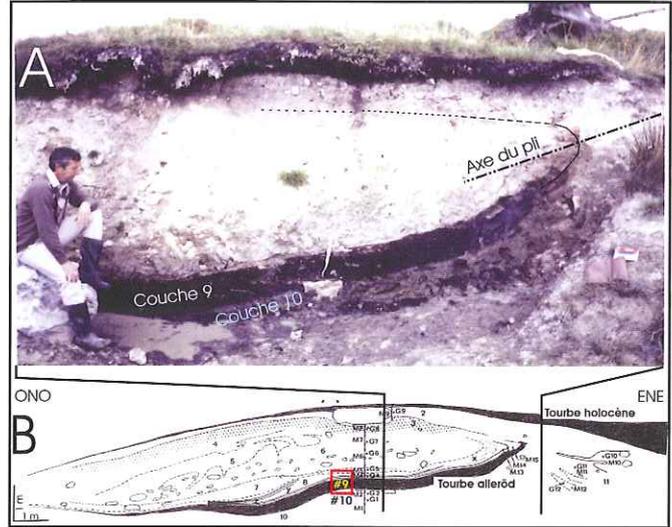


Figure 2. Coupe d'un rempart de vivier de la Konnerzvenn. A, photo de la coupe en 1980 ; B, description de la même coupe publiée par Pissart et Juvigné (1980). Les 'couches 9 et 10' citées dans le texte qui suit, sont numérotées sur les figures. Le cadre rouge indique la position des prélèvements rapportés dans la figure 3.

2.1. Le rempart d'un vivier de la Konnerzvenn

Cette coupe a été décrite par Pissart et Juvigné (1980) (Fig. 2). Les nombreuses recherches multidisciplinaires qui y ont été réalisées depuis lors en ont fait un site de référence des remparts de viviers.

A la suite des études récentes réalisées par Juvigné et Streel (2007) et Damblon *et al.* (2014) concernant le complexe de couches tourbeuses de la même coupe (Fig. 3), il a été conclu que : (1) l'épaisse lentille de tourbe (couche 9, d'âge Bølling-Allerød) appartient à un vivier, trace d'une lithalse d'avant dernière génération antérieure au Bølling (Juvigné & Streel, 2007) ; (2) la composition pollinique et l'âge ^{14}C des lamines tourbeuses T1 et T2 montrent qu'elles sont le résultat d'une sédimentation primaire, et non pas un matériau issu de l'extrémité intérieure de l'épaisse lentille, par ruissellement sur le flanc de la lithalse, comme l'avaient suggéré Pissart et Juvigné (1980) ; (3) un doute subsiste sur l'origine de la lamine T3 dans la problématique évoquée ci-avant en raison des recouvrements des tranches d'âge ^{14}C et de la faible concentration des pollens extraits ; (4) les couches L1, L2, L3, L4 (Fig. 3) et 10 (Fig. 2) consistent en limon d'origine éolienne ; (5) les couches alternativement limoneuses et tourbeuses qui surmontent l'épaisse lentille de tourbe attestent que le refroidissement qui a conduit au paroxysme du froid au cours du Dryas récent s'est fait par phases alternativement arides avec sédimentation de limon d'origine éolienne (L1, L2, L3, L4), et humides avec sédimentation palustre (T1 et T2 au moins) qui se sont succédé en moins de 7 siècles.

On peut maintenant ajouter : (1) le contenu en carbonate du limon loessique a été reconnu dès l'origine par l'analyse au calcimètre de Bernard (Pissart & Juvigné, 1980), puis confirmé successivement par l'analyse des macrorestes végétaux (Damblyon & Bastin 1987) et la spectrométrie de masse (Gaida *et al.*, 1993); (2) la lithalse se serait développée après environ -12.200 ans et aurait terminé son cycle au plus tard en -11.700 ans.

De plus, la figure 3 montre que les conditions climatiques entre -15.100 et -14.700 ans ont été pratiquement similaires à celles du Dryas récent. Avant -15.100 ans, la température moyenne annuelle dans les Hautes Fagnes devait être une peu inférieure à -6,6°C valeur qui correspond à la limite entre les régions à permafrost discontinu et continu. Les lithalses étant essentiellement connus dans les zones à permafrost discontinu, nous placerons donc la paléo-lithalse de la Konnerzvenn pendant les 4 derniers siècles du Weichselien supérieur.

Aujourd'hui, on peut aussi apporter des compléments d'interprétation à d'autres parties de cette coupe. Par sa position stratigraphique, la 'couche 10' (Fig. 2A.B) reconnue en qualité de limon d'origine éolienne carbonaté peut maintenant être attribuée à la période d'intense accumulation loessique du Weichselien supérieur, mise en évidence par de très nombreux travaux en Hesbaye (ex. : Gullentops, 1954 ; Haesaerts

et al., 1997 ; Pouclet & Juvigné, 2009) et reconnue dans les Hautes Fagnes (Bastin & Juvigné, 1978), et même un peu au-delà de la frontière belgo-allemande à Ormont au pied du volcan Goldberg (Cools *et al.*, 2011). Par ailleurs, si le pli couché à l'intérieur du rempart a été expliqué par un glissement de terrain survenu sur le flanc de la butte, on peut aujourd'hui nuancer en l'attribuant à la reptation lente et/ou la solifluxion de la 'couche active' (partie du sol qui dégèle annuellement) sur le flanc de la lithalse en été, alors que le permafrost continuait de figer les matériaux sous-jacents.

2.2. Le rempart du vivier du site 4

La coupe de la figure 4 a été décrite par Pissart (1983) qui a aussi obtenu, pour la longue lentille de tourbe qui s'étire tout au long du rempart (couche 6), un âge ^{14}C qui permet de placer sa formation dans l'Allerød. Cette tourbe et celle du rempart de la Konnerzvenn sont donc synchrones. Ceci implique que la cuvette où elle s'est formée puisse aussi correspondre à un vivier issu d'une lithalse d'avant-dernière génération remontant au stade très froid du Weichselien supérieur (revoir la fig. 3).

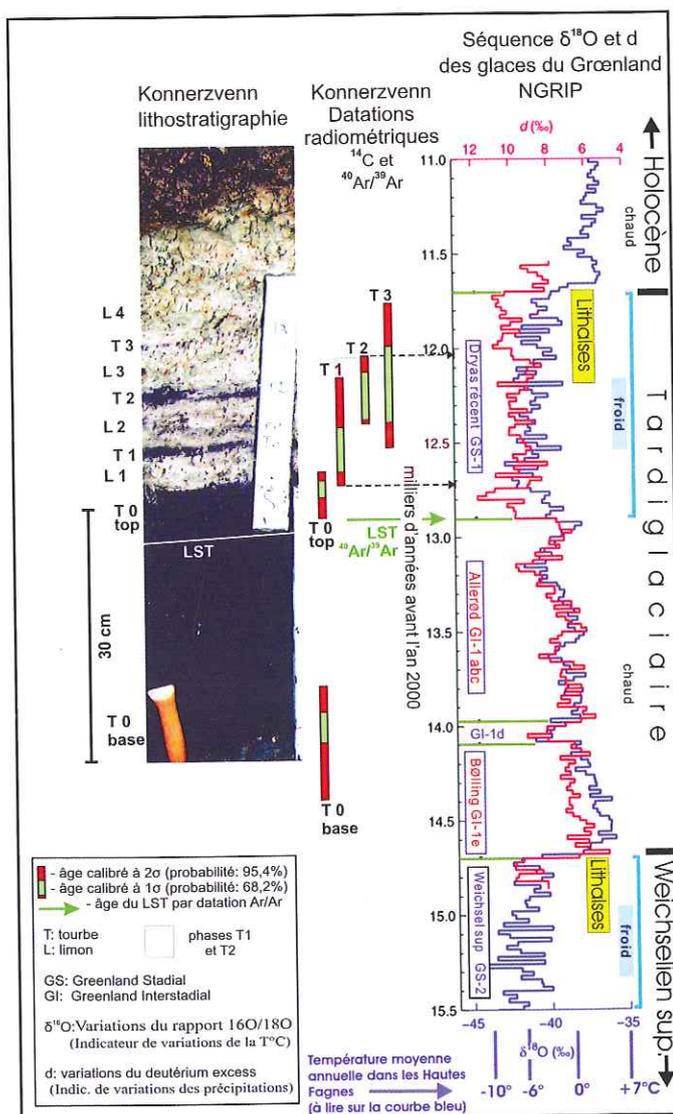
Figure 3. Lithostratigraphie de la séquence étudiée (photo) ; elle est localisée sur la figure 2. Âges ^{14}C calibrés avec écarts-types des couches de tourbe (barres verticales ; Oxcal v4.2.3 Bronck, Ramsey et Lee, 2013, basé sur Reimer *et al.*, 2013). Comparaison avec la séquence NGRIP de la glace du Groenland entre 11.000 et 15.500 avant l'an 2000 (Steffensen *et al.*, 2008). En bleu, les variations du rapport de concentration de deux isotopes de l'oxygène (^{16}O et ^{18}O) dans la glace, exprimé par le sigle $\delta^{18}\text{O}$, et en rouge le 'd-excess' (=excès en deutérium ; voir plus loin). Pour la représentation des dates, voir le tableau 1 dans lequel la calibration de la date de T3 a été ajoutée par rapport aux dates publiées antérieurement par Juvigné & Streel (2007). L'âge communément admis pour le Téphra du Laacher See (12.900 ans) est celui qui a été obtenu par la datation basée sur les isotopes de l'argon ($^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$) (Bogaard, 1995).

La courbe isotopique $\delta^{18}\text{O}$ (en bleu) peut être lue en termes de variations de la température de l'air ; elle a permis de définir une alternance de stades très froids (GS pour Greenland Stadial) et d'interstades moins froids dit aussi tempérés froids (GI pour Greenland Interstadial) ; ces stades et interstades sont numérotés à partir du stade GS-1 en remontant le temps. Le Tardiglaciaire comprend : le GS-1, (=Dryas récent) un stade très froid ; le GI-1 (=Allerød), un interstade tempéré froid divisé en trois phases a, b, c ; le GI-d (=Dryas moyen), un stade froid de très courte durée ; le GI-1e (=Bølling), un interstade tempéré froid plus chaud que l'Allerød. Le GS-2 (=Weichselien supérieur ou encore Néowürm, voir plus loin) est la partie finale du stade du froid paroxysmal de la dernière glaciation. Les lignes en vert indiquent les moments de basculement rapide d'un épisode climatique à son suivant.

A titre indicatif, une graduation de température a été ajoutée en bleu en-dessous de l'échelle du $\delta^{18}\text{O}$ (-10°C, -6°C, 0°C et +7°C) ; elle fait en sorte que les valeurs de la courbe bleue puissent être lues en termes de température moyenne annuelle sur le plateau des Hautes Fagnes.

On remarquera également que, dans l'ensemble, les valeurs respectives des stades froids GS-2 (Weichselien supérieur) et GS-1 (Dryas récent) sont pratiquement similaires.

L'excès en deutérium (^2H) dans les molécules d'eau formant la glace est un indicateur de la variation des quantités de précipitations. Ce critère n'est pas pris en compte dans la présente note.



Objet	Date ¹⁴ C	Écart-type 1σ	Age calibré à 2σ (95,4%)	Age calibré à 1σ (68,2%)
	BP		Cal BP	Cal BP
K-T3	10310	90	12518 - 11765	12382 - 11985
K-T2	10360	40	12398 - 12038	12381 - 12125
K-T1	10565	95	12710 - 12151	12652 - 12419
K-T1	10500	90	12662 - 12102	12585 - 12188
K-T0 top	10840	70	12876 - 12640	12778 - 12691
K-T0 top	10845	70	12887 - 12646	12779 - 12694
K-T0 base	12170	90	14377 - 13760	14180 - 13923

Tableau 1. Dates obtenues sur les tourbes étudiées ; les étiquettes des échantillons sont celles de la figure 3. Les dates ¹⁴C sont basées sur les rapports isotopiques mesurés (¹⁴C/¹²C) ; BP= Before Present, par convention avant 1950 ; σ (sigma)= écart statistique sur la mesure. Ces dates doivent être corrigées en fonction de la production variable du ¹⁴C dans la basse stratosphère : 'cal BP'= date calibrée en années avant l'an 2000.

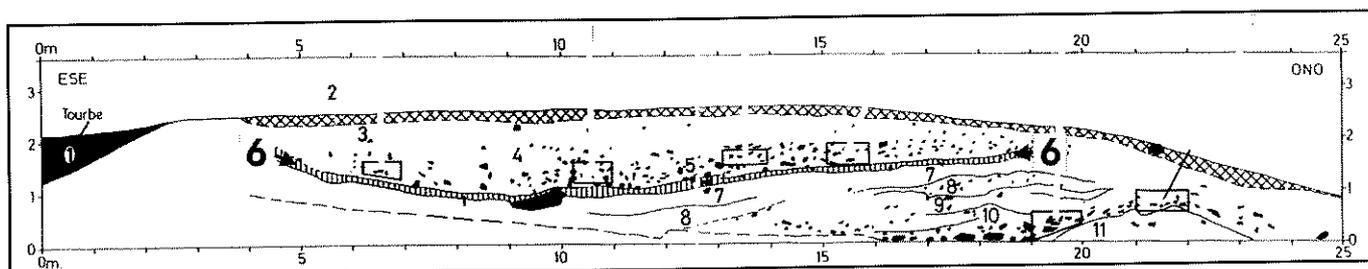


Figure 4. Rempart du vivier du site 4 comprenant une longue lentille de tourbe (n°6) d'âge Allerød (d'après Pissart, 1983, fig. 5, site 4, modifié).

2.3. Le rempart du vivier du site 2

La coupe de la figure 5 a été décrite par Pissart (1983). Tout d'abord, comme à la Konnerzvenn, le rebroussement des couches en pli couché dans la partie intérieure du vivier (NE) peut aujourd'hui s'expliquer également par la reptation lente et/ou la solifluxion de la 'couche active' sur le permafrost.

La 'couche 6' est décrite comme essentiellement loessique par Pissart (1983), ce qui permet de faire le rapprochement avec les couches de limon d'origine éolienne qui encadrent l'épaisse lentille de tourbe de la Konnerzvenn (Fig. 2), soit d'une part le loess carbonaté sous-jacent du Weichselien supérieur (Fig. 2, couche 10), et d'autre part les couches L1, L2, L3 et L4 (Fig. 3) du Dryas récent sus-jacentes. Le rempart du présent site n'aurait pas été en dépression pendant le Bølling-Allerød, ce qui expliquerait l'absence de sédimentation palustre à ce niveau.

2.4. Le rempart d'un vivier de la Brackvenn

C'est en fait le premier rempart qui a été profondément excavé ; il a été décrit et interprété par Bastin *et al.* (1974) (Fig. 6), c'est-à-dire à une époque où des repères stratigraphiques actuels n'existaient pas encore.

La 'couche 9' est décrite comme essentiellement loessique et contenant à 5 cm sous son toit un pic de concentration de minéraux volcaniques qui devrait cor-

respondre à la position primaire du niveau de la retombée. Dans Bastin *et al.* (1974), l'origine de ces minéraux volcaniques a été déclarée indéterminable, car l'interprétation du contenu pollinique s'était imposée pour placer cette 'couche 9' dans le Weichselien supérieur (à l'époque Néowürm, *sensu* Bastin). En conséquence, le moment de la retombée et la formation de la lithalse correspondaient implicitement à la période du froid paroxysmal de la dernière glaciation, soit aux environs de -20.000 ans. Toutefois, il a été démontré postérieurement que les minéraux volcaniques qu'elle contient appartiennent au Téphra du Laacher See comme à la Konnerzvenn (Juvigné, 1991), sans que les conséquences sur l'âge de la lithalse aient été discutées à l'époque.

Dès lors une nouvelle interprétation de la stratigraphie du rempart peut être proposée. Le limon d'origine éolienne de la 'couche 9' peut être décomposé en deux générations par comparaison avec la coupe de la Konnerzvenn : 1) la première, de la base jusqu'au Téphra du Laacher See, peut correspondre au loess de la 'couche 10' (Fig. 2) allouée au Weichselien supérieur ; 2) la seconde, au-dessus du téphra, peut être corrélée avec le complexe de couches loessiques L1, L2, L3, L4 (Fig. 3) allouée au Dryas récent. En conséquence, la croissance de la lithalse du vivier de la Brackvenn antérieurement placée pendant le Néowürm doit maintenant être attribuée au Dryas récent.

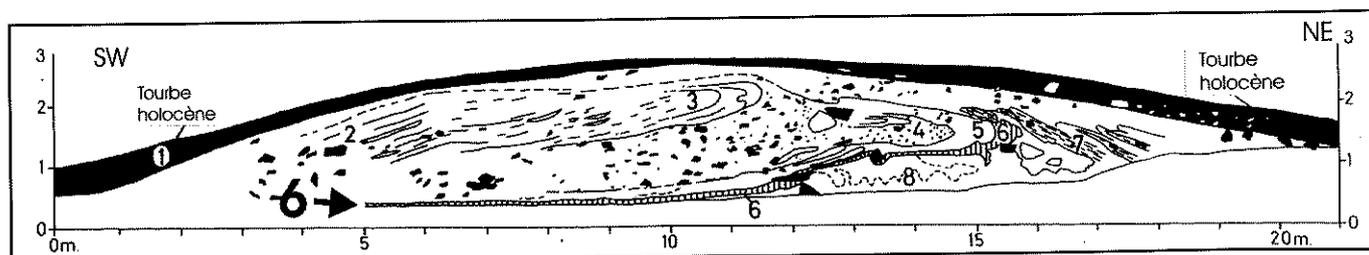


Figure 5. Rempart du vivier du site 2 (d'après Pissart, 1983, fig. 1, site 2, modifié).

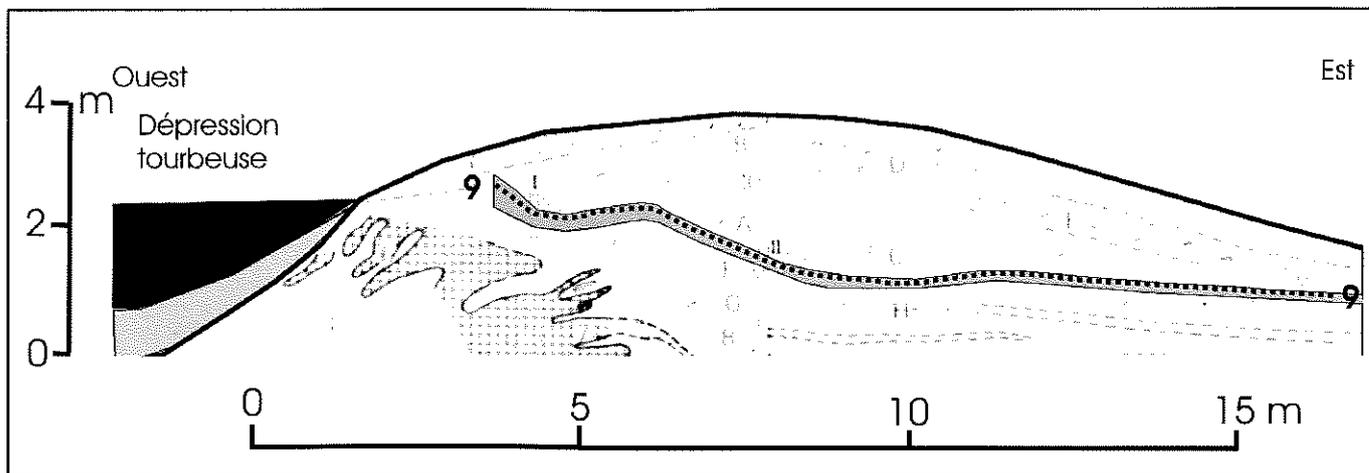


Figure 6. Rempart d'un vivier de la Brackvenn. A, Coupe dégagée à travers le rempart d'après Bastin et al., (1974, fig. 4, simplifiée : les seuls traits importants pour la présente révision ont été mis en évidence). Légende utile : quadrillage= structure en langues attestant la pression latérale liée à la croissance de la lithalse ; 'couche 9' en gris, loess contenant les minéraux volcaniques du Téphra de Laacher See (trait pointillé noir) environ 5 cm sous son bord supérieur. Les autres parties sont décrites dans le travail original précité.

3. Conclusions

La genèse de la formation des viviers et donc de leurs buttes cryogéniques correspondantes reste telle qu'elle a été reconstituée par Pissart (1983) dès qu'il a associé ces formes aux 'pales minérales', devenues 'lithalses' pour de simples raisons sémantiques (Pissart, 1998). Les observations récentes rapportées ici confirment que : (1) les lamines tourbeuses T1 et T2 relèvent bien d'une sédimentation primaire palustre ; (2) deux générations de lithalses ont dû se former dans les Hautes Fagnes et en précisent les périodes de développement : (1) la dernière date du stade très froid du Dryas récent entre -12.200 et -11.700 ans ; (2) l'avant dernière remonte à la fin du Weichselien supérieur entre -15.100 et -14.700 ans.

Bibliographie

- BASTIN B., 1985. Etude palynologique d'une couche de tourbe mise à jour dans le rempart d'une pale de la Konnerzvenn. *Hautes Fagnes*, 179 : 72-73.
- BASTIN B., JUVIGNE 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 : 341-348.
- BASTIN B. & JUVIGNE E., 1978. L'âge des dépôts de la vallée morte des Chôdières (Malmedy). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 101: 289-304.
- BOGAARD V.D. P., 1995. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of sanidine phenocrysts from Laacher See Tephra (12,900 yr BP) : chronostratigraphic and petrological significance. *Earth and Planetary Science Letters*, 133 : 163-174. marker
- BOUILLENNE R. & BOUILLENNE-WALRAND M. (avec la collaboration de Melle S. Defosse, MM. L'Abbé Ch. Dubois, J. Damblon et A. William), 1937. Les viviers du Plateau de la Baraque Michel. *Bulletin de la Société royale des Sciences de Liège*, 12 : 404-427.
- BRONK RAMSEY C. & LEE S., 2013. Recent and planned developments of the program OxCal. *Radiocarbon*, 55 (2-3) : 720-730.
- COOLS S., JUVIGNE E. & POUCKET A., 2011. Composition of tephra of the Goldberg volcano (West Eifel, Germany) and search for its widespread dispersion. *Quaternaire*, 22: 47-60.
- DAMBLON F. & BASTIN B., 1987. Etude paléocécologique d'une lentille tourbeuse ensevelie dans le rempart d'une pale de la Konnerzvenn (Hautes Fagnes, Belgique). *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, 120 : 20-29.
- DAMBLON F., JUVIGNE E. & STREEL M., 2014. Nouvelles données polliniques concernant la formation du lithalse de la Konnerzvenn

au cours du Dryas récent (Tardiglaciaire des Hautes Fagnes). *Hautes Fagnes* 295 : 26-27.

GAIDA R., RADTKE U, SAUER H.K. & SCHUMACKER R., 1993. Elementverteilung in einem Moorprofil aus dem Spätglazial (Bölling bis Jüngere Tundrenzeit) im Konnerzvenn (Hohes Venn, Belgien). *Düsseld. geogr. Schr.* 31: 141-153.

GULLENTOPS, F., 1954. Contribution à la chronologie du Pléistocène et des formes du relief en Belgique. *Institut géologique de l'Université de Louvain, Belgique, Mémoire*, 18: 125-252.

HAESAERTS P., MESTDAG H. & BOSQUET D., 1997. La séquence loessique de Remicourt (Hesbaye, Belgique). *Notae Prehistoricae*, 17 : 45-52.

JUVIGNE E., 1991. Distribution de vastes retombées volcaniques originaires de l'Eifel et du Massif Central aux temps post-glaciaires dans le NE de la France et les régions voisines. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 312, Série II: 415-420.

JUVIGNE E. & STREEL M., 2007. Un patrimoine exceptionnel en Europe moyenne : les lithalses des Hautes Fagnes. *Hautes Fagnes*, 268 : 18-20.

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 remparts. *Geologie en Mijnbouw*, 1983 : 551-555.

PISSART A., 2014. Les "viviers" des Hautes-Fagnes. Traces spectaculaires de la dernière glaciation. *Haute Ardenne*, 2014, 57 p.

PISSART A. & JUVIGNE E., 1980. Genèse et âge d'une trace de butte périglaciaire (pingo ou pale) de la Konnerzvenn. *Hautes Fagnes*, 192-213.

POUCLET A. & JUVIGNE E., 2009. The Eltville tephra, a late Pleistocene widespread tephra layer in Germany, Belgium and The Netherlands; symptomatic compositions of the minerals. *Geologica Belgica*, 12/1-2: 93-103.

REIMER P.J., BARD E., BAYLISS A., BECK J.W., BLACKWELL P.G., BRONK RAMSEY C., CAITLIN E., BUCK C.E., CHENG H., EDWARDS R.L., FRIEDRICH M., GROOTES P.M., GUILDERSON T.P., HAFLLIDASON H., HAJDAS I., HATTÉ C., HEATON T.J., HOFFMANN D.L., HOGG A.G., HUGHEN K.A., KAISER K.F., KROMER B., MANNING S.W., NIU M., REIMER R.W., RICHARDS D.A., SCOTT E.M., SOUTHON J.R. STAFF R.A., TURNEY C.S.M., JOHANNES VAN DER PLICHT J., 2013. Intcal13 and Marine13 Radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years Cal BP. *Radiocarbon*, 55 (4): 1869-1887.

STEFFENSEN J.P., ANDERSEN K.K., BIGLER M., CLAUSEN H.B., DAHL-JENSEN D., FISCHER H., GOTO-AZUMA K., HANSSON M., JOHNSON S.J., JOUZEL J., MASSON-DELMOTTE V., POPP T., RASMUSSEN S.O., ROTHLISBERGER L.R., RUTH U, STAUFFER B., SIGGAARD-ANDERSEN M.-L., SVEINBJÖRNSDOTTIR A.E., A. SVENSSON & WHITE J.W.C., 2008. High-Resolution Greenland Ice Core Data Show Abrupt Climate Change Happens in Few Years. www.sciencexpress.org/Report, 19 June 2008, 10.1126/science.1157707.