

Les tourbières analysées en profondeur par le radar de subsurface

par Cécile WASTIAUX¹, Lucien HALLEUX², René SCHUMACKER¹, Maurice STREEL¹ et Jean-Michel JACQMOTTE³
¹ Université de Liège, Station scientifique des Hautes-Fagnes
² S.A. G-Tec, Spa
³ Ministère de la Région Wallonne, D.G.R.N.E.

Cet article résume une publication parue dans la revue finlandaise *Suo* : "Development of the Hautes-Fagnes peat bogs : new perspectives using ground-penetrating radar".

Introduction

L'intérêt exceptionnel des tourbières hautes à sphaignes des hauts plateaux ardennais a justifié de nombreuses études de ces milieux, dans des disciplines très diverses; et pourtant, l'origine et le développement mêmes de ces dépôts tourbeux restent mal connus. Quelle est l'extension et la morphologie des dépôts? Dans quelles conditions topographiques, conditionnant leur alimentation en eau, les tourbières ont-elles pu commencer à se développer? Comment caractériser les étapes de ce développement?

Jusqu'à présent, la seule méthode d'investigation consistait en des carottages manuels, qui pouvaient renseigner, à chaque point de sondage, l'épaisseur de tourbe et la structure macroscopique du dépôt. En cas de prélèvement de la carotte, des analyses microscopiques (palynologiques ou minéralogiques par exemple) sont également possibles.

De tels sondages représentent un travail long et lourd, et ne peuvent s'envisager que pour des questions précises et localisées. Toutefois, une campagne de sondages à très grande échelle a été menée dans le cadre de la réalisation de la carte pédologique (Pahaut, 1969), nous livrant un document déjà fort précieux. Cependant, cette carte résulte de l'interpolation de données ponctuelles (un sondage tous les 100 m), et elle ne renseigne pas l'épaisseur de la tourbe au-delà de 1,5 m.

Dans ce contexte, une méthode de prospection géophysique

s'impose comme l'outil le plus adapté. Le radar de subsurface, largement utilisé dans les tourbières finlandaises, suédoises et canadiennes notamment (Ulriksen, 1980; Tiuri et al., 1983; Warner et al., 1990), a été testé avec succès dans les tourbières ardennaises par Halleux (1990). La réduction récente de la taille et du poids du matériel de mesure a permis d'envisager une prospection systématique de toutes les zones tourbeuses des Hautes-Fagnes.

Ce projet a été soumis à la Région Wallonne, D.G.R.N.E., qui a reconnu l'intérêt de telles mesures en subsidiant une recherche.

Une première année a été consacrée à la fagne des Deux-Séries. Ce sont les principaux résultats de cette campagne qui seront exposés ici. Actuellement, les fagnes Wallonne et de Cléfaye sont en cours de prospection. Lors d'une troisième phase, la Grande-Fange et le Misten devraient être étudiés à leur tour, ainsi que les plus petits dépôts (Poleûr, Nesselo, ...).

La méthode du radar de subsurface

La prospection radar est basée

sur la propagation d'une impulsion électromagnétique de haute fréquence (200 MHz dans notre cas) dans le sous-sol. Cette impulsion est générée par une antenne émettrice; lorsqu'elle rencontre une discontinuité, une partie de l'énergie émise est réfléchie vers la surface et est détectée par une antenne réceptrice.

Une discontinuité est une interface entre des couches de caractéristiques électriques différentes. Pour provoquer un signal, il faut un contraste assez brutal entre les deux milieux, tandis qu'une transition progressive passera relativement inaperçue. Dans les tourbières, l'interface entre la tourbe et le limon argileux sous-jacent constitue un remarquable exemple de discontinuité donnant lieu à un signal très marqué. Au sein du dépôt tourbeux même, un réflecteur sera enregistré en cas de contraste dans la teneur en eau de la tourbe. Des différences de quelques pour cent seulement peuvent générer un signal. De telles différences peuvent être dues notamment à un enrichissement en matières minérales, ou à un changement du degré de décomposition.

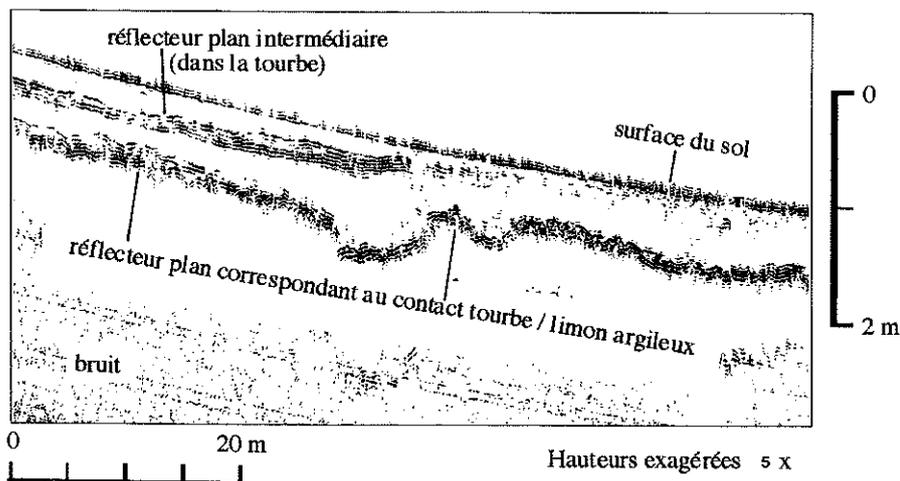


Fig. 1. Exemple de profil radar. Interprétation des signaux reçus.

La tourbe est un milieu favorable à la propagation des ondes radar, car c'est un terrain résistif. En effet, l'atténuation du signal est proportionnelle à la conductivité électrique du milieu traversé. Cela explique que les ondes ne passent pas dans la couche de limon argileux, dont la conductivité est élevée. Le radar ne donne donc aucune information sur les couches qui se trouvent sous la tourbe.

Les informations reçues par l'antenne réceptrice sont placées sur une échelle de temps (temps mis par l'onde pour effectuer un aller-retour entre la surface et la discontinuité). Si l'on connaît la vitesse de propagation dans le milieu prospecté, il devient simple de calculer la profondeur du réflecteur. La vitesse de propagation peut être calculée à partir d'équations théoriques, ou estimée en comparant l'image obtenue avec un sondage. Elle est d'environ 36 m/μs dans la tourbe.

Tout ce qui précède relate l'aventure d'une seule impulsion, émise en un point donné. Or, l'intérêt du radar est de fournir une coupe continue de la subsurface, en émettant des impulsions à intervalles réguliers (tous les 20 cm dans notre cas) pendant que les antennes sont déplacées à la surface du sol le long d'un profil. La juxtaposition des traces obtenues fait alors ressortir des réflecteurs-plans (discontinuités ayant une certaine extension latérale) (fig. 1). Des objets de taille plus réduite (bloc par exemple) sont des réflecteurs ponctuels se marquant par une hyperbole de diffraction.

En pratique, la fagne des Deux-Séries a été prospectée en réalisant des profils parallèles distants de 50 m, auxquels se sont ajoutés des profils intermédiaires, là où une image plus détaillée de la subsurface s'avérait nécessaire. Au total, 130 km de profils ont ainsi été effectués.

Un complément indispensable à la prospection radar est le positionnement des profils. Il faut, d'une part, pouvoir situer les traces en x, y et, d'autre part, restituer la topographie de surface (z). C'est pourquoi un GPS (Global Positioning System ou système de positionnement par satellites) a été utilisé conjointement au radar.

Quelques enseignements des profils obtenus

Il est impossible de reproduire ici les 130 km de profils, aussi illustrerons-nous les principales caractéristiques de ces profils par quelques exemples.

Un relief périglaciaire

Contrairement à la morphologie de surface calme et régulière de la fagne des Deux-Séries, le relief de subsurface, beaucoup plus accidenté, témoigne des effets d'un climat périglaciaire sur la géomorphologie du substrat avant le démarrage de l'accumulation de tourbe.

Parmi les formes typiques façonnées sous climat périglaciaire se trouvent les lithalses, dont l'occurrence de traces sur les plateaux des Hautes-Fagnes et des Tailles constitue une rareté à l'échelle mondiale. Pour plus de détails concernant la formation des lithalses, nous renvoyons le lecteur aux remarquables articles de synthèse du Professeur Pissart, publiés dans cette revue (Pissart, 1999a,b,c; 2000a,b,c).

De nombreuses traces de lithalses étaient connues dans des zones où l'épaisseur de la tourbe ne dépasse guère le niveau des remparts, en particulier dans la Brackvenn. Plus d'une centaine de traces supplémentaires ont été détectées dans la fagne des Deux-Séries grâce au radar, la plupart

d'entre elles n'apparaissant pas sur les photos aériennes, car totalement recouvertes de tourbe. La fig. 2 montre comment se présentent ces traces en coupe le long d'un profil radar : une cuvette entourée d'un rempart (attention à l'exagération des hauteurs). Dans plusieurs traces, un court profil perpendiculaire a été effectué afin de s'assurer qu'il s'agissait bien d'une cuvette fermée, circulaire, ce qui s'est confirmé dans tous les cas.

Les cuvettes sont remplies de tourbe avec, souvent, à la base du remplissage, un limon organique, identifiable sur les profils. Des datations par la méthode palynologique (profils polliniques) dans plusieurs traces de lithalses montrent que la tourbe de base a commencé à se former au Préboréal, une période débutant environ en 9400 BC (= before Christus), c'est-à-dire il y a un peu plus de 11000 ans. Ceci corrobore parfaitement l'hypothèse défendue par Pissart (1999c), selon laquelle les lithalses des Hautes-Fagnes se sont formées au Dryas récent (ca. 10100 - 9400 BC), le dernier épisode froid du Tardiglaciaire avant le réchauffement holocène.

En dehors des cuvettes de lithalses, on n'a jamais trouvé de dépôt tourbeux aussi ancien; là, le processus de tourbification débute généralement à la période Atlantique (ca. 6410 BC), une phase plus chaude et plus humide que la période actuelle.

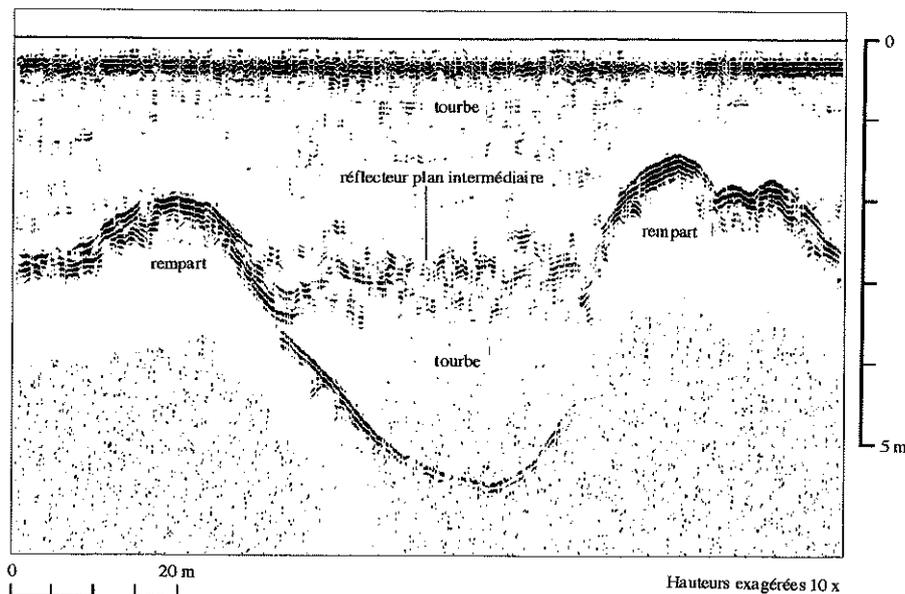


Fig. 2. Coupe dans une trace de lithalse.

Les traces de lithales et, de manière générale, les zones à relief de subsurface accidenté, ne se répartissent pas de manière homogène dans la fagne des Deux-Séries. Certains secteurs présentent une forte densité de traces de lithales. C'est le cas, illustré à la fig. 3, de la partie NE de la fagne (à l'est de la Soor), qui porte une tourbière dont la forme typiquement bombée est clairement mise en évidence par la topographie de surface. Il est probable que le relief post-périglacière de base, en créant de nombreuses possibilités de retenues d'eau, ait été particulièrement favorable au développement d'une tourbière à cet endroit.

Des réflecteurs énigmatiques

Des réflecteurs-plans sont observés dans une grande majorité des traces de lithales (fig. 2). Elles en comportent généralement un au niveau de la base des remparts, et parfois un second plus bas. Une première hypothèse, actuellement en cours de test, lie ce signal à un

niveau à plus forte teneur en matières minérales. Si cette hypothèse se vérifie, il restera à expliquer l'origine de ces niveaux et à dater le ou les événements qui leur ont donné naissance.

Des dépôts de crue à la Helle

Dans un secteur longeant la Helle au lieu-dit des Trois-Bornes, un dépôt minéral peu profond a été identifié au sein de la tourbe. Des sondages ont montré qu'il s'agit probablement de dépôts de crue, constitués de matériau grossier. Là aussi, se pose la question de l'âge de ces sédiments.

Une carte de la fagne des Deux-Séries

L'interpolation des données d'épaisseur le long des profils a permis de dresser une carte des épaisseurs de tourbe de l'ensemble de la fagne des Deux-Séries. Ainsi sont précisément délimités les principaux massifs de tourbe épaisse et leur

morphologie générale (fig. 4).

Ce document améliore nettement la précision de la carte pédologique.

Dans les cuvettes de lithales, l'épaisseur de la tourbe peut atteindre 6 m ; en-dehors de ces points particuliers, elle ne dépasse pas 4,5 m. Deux massifs tourbeux dépassent quand même 4 m d'épaisseur en leur centre (voir carte).

Conclusions

La prospection au radar a permis d'enregistrer une impressionnante quantité d'informations sur la morphologie et la structure des dépôts tourbeux de la fagne des Deux-Séries. Elle a révélé la présence de nombreuses traces de lithales. Elle a aussi fait surgir de nouvelles questions qui ne manqueront pas d'alimenter les recherches actuelles et futures dans les tourbières des Hautes-Fagnes. Nous aurons certainement l'occasion d'y revenir dans cette revue.

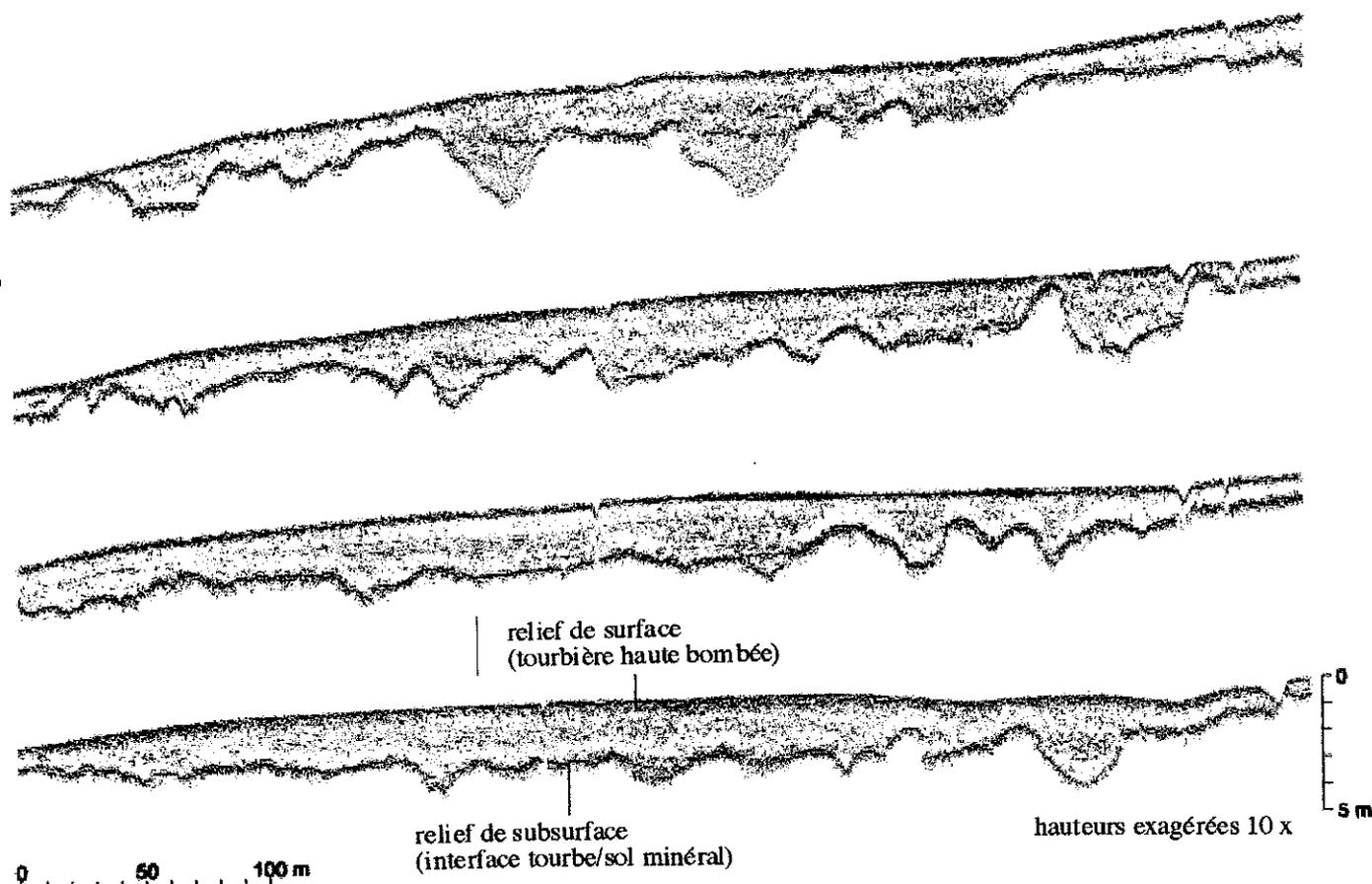


Fig. 3. Topographie de surface et de subsurface dans une zone à forte densité de lithales. Il s'agit de 4 profils parallèles successifs, effectués à intervalle de 50 m.

BIBLIOGRAPHIE

Halleux, L. 1990. Ground penetrating radar applied to the study of peat bogs and moors. *Annales de la Société géologique de Belgique* 113 : 115-123.

Pahaut, P., 1969. Cartes des sols de Belgique : Hoffrai 149 E. Gand, I.R.S.I.A.

Pissart, A., 1999a. Les traces de buttes cryogènes des Hautes-Fagnes. *Hautes Fagnes* 1999-2 : 44-50.

Pissart, A., 1999b. Les viviers des Hautes-Fagnes. Le mode de formation des paises et des lithales. *Hautes Fagnes* 1999-3 : 75-83.

Pissart, A., 1999c. Les viviers des Hautes-Fagnes. Les fouilles réalisées, la formation des remparts, leur âge. *Hautes Fagnes* 1999-4 : 99-109.

Pissart, A., 2000a. Le climat des régions où apparaissent aujourd'hui des lithales et le climat des Hautes-Fagnes pendant le Dernier Dryas. *Hautes Fagnes* 2000-1 : 16-25.

Pissart, A., 2000b. Les viviers des Hautes-Fagnes. La cause du refroidissement du Dernier Dryas. *Hautes Fagnes* 2000-2 : 49-55.

Pissart, A., 2000c. Les traces de lithales et de pingos connues dans le monde. *Hautes Fagnes* 2000-3 : 74-83.

Tiuri, M., Toikka, M., Tolonen, K. & Martilla, I. 1983. The use of radiowave probe and subsurface interface radar in peat resource inventory. Proceedings of the Symposium on Remote Sensing in Peat and Terrain Resource Surveys, Aberdeen, September 12-

15, 1983. International Peat Society, Helsinki : 131-143.

Ulriksen, P. 1980. Investigation of peat thickness with radar. Proceedings of the 6th International Peat Congress, Duluth, August 17-23, 1980. International Peat Society, Helsinki : 126-129.

Warner, B.G., Nobes, D.C. & Theimer, B.D. 1990. An application of ground penetrating radar to peat stratigraphy of Ellice Swamp, southwestern Ontario. *Canadian Journal of Earth Science* 27 : 932-938.

Wastiaux, C., Halleux, L., Schumacker, R., Streef, M. & Jacqmotte, J.-M., 2000. Development of the Hautes-Fagnes peat bogs (Belgium) : new perspectives using ground-penetrating radar. *Suo* 51 : 115-120.

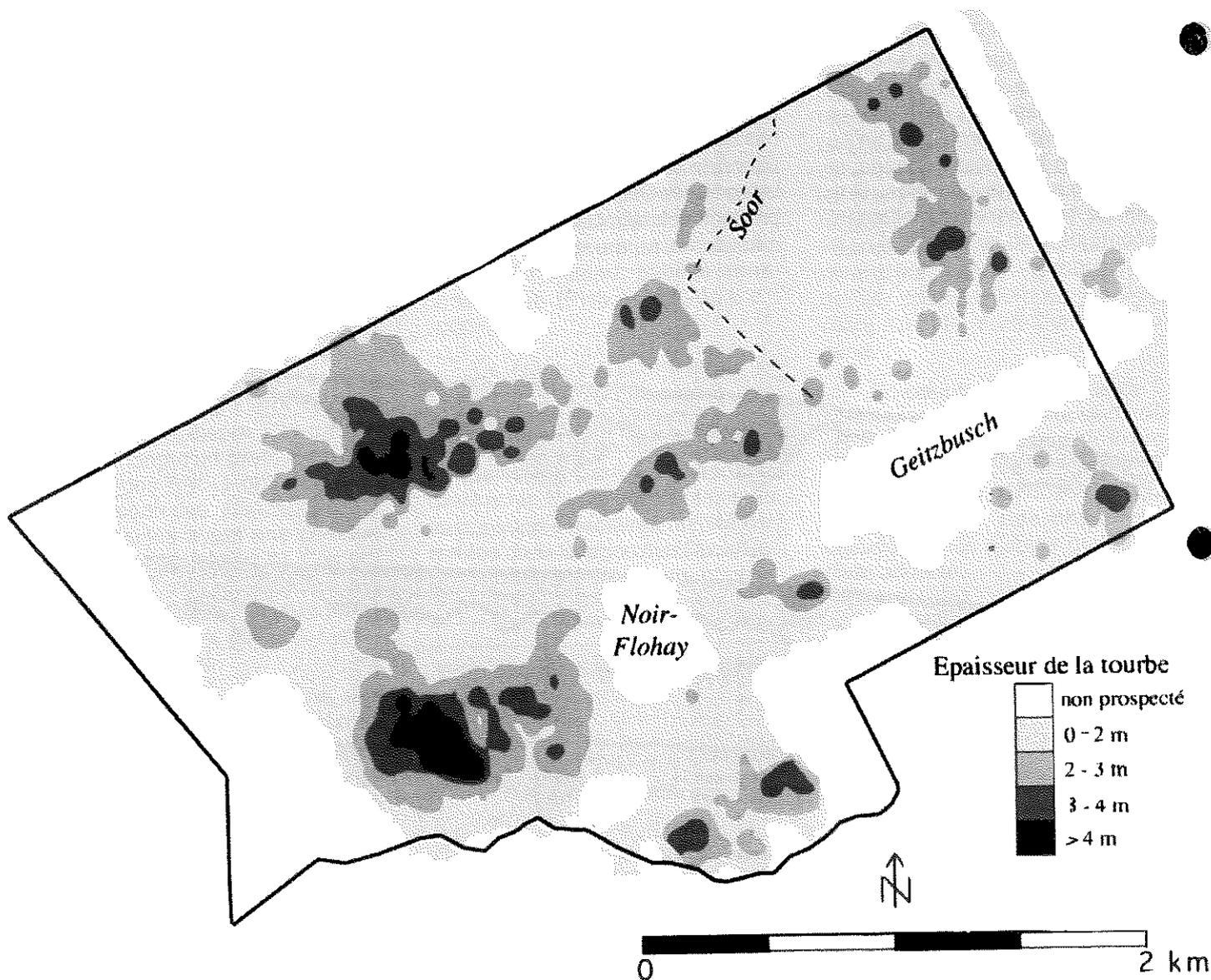


Fig. 4. Carte des épaisseurs de tourbe de la fagne des Deux-Séries.