

2009
2010



Ecologie et
protection des tourbières
Ökologie und Schutz der Moore
Bitche symposium 2008

Annales scientifiques

de la réserve de
Biosphère transfrontalière
Vosges du Nord - Pfälzerwald

Wissenschaftliches Jahrbuch

des grenzüberschreitenden
Biosphärenreservates
Pfälzerwald - Vosges du Nord



Annales scientifiques de la Réserve de Biosphère
Transfrontalière Vosges du Nord-Pfälzerwald

Wissenschaftliches Jahrbuch des
grenzüberschreitenden Biosphärenreservates
Pfälzerwald-Vosges du Nord

publiées sous la direction
de

Eric BRUA,

Directeur du Syndicat de Coopération
pour le Parc Naturel Régional des Vosges
du Nord

Maurice WINTZ,

Président du Conseil Scientifique du
Syndicat de Coopération pour le
Parc Naturel Régional des Vosges du
Nord

et

Gero KOEHLER,

Président du Conseil Scientifique du
Naturpark Pfälzerwald

Tome 15 - 2009/2010

veröffentlicht unter der Leitung
von

Eric BRUA,

Direktor des Zweckverbandes zur
Förderung des Regionalen Naturparks
Nordvogesen

Maurice WINTZ,

Vorsitzender des wissenschaftlichen
Beirates des Zweckverbandes zur För-
derung des Regionalen Naturparks
Nordvogesen,

und

Gero KOEHLER,

Vorsitzender des wissenschaftlichen
Beirates des Naturparks Pfälzerwald.

Band 15 - 2009/2010

Parc Naturel Régional des Vosges du Nord
Maison du Parc
67290 La Petite-Pierre
www.parc-vosges-nord.fr
www.biosphere-vosges-pfaelzerwald.org

Les « Annales scientifiques de la Réserve de Biosphère transfrontalière Vosges du Nord-Pfälzerwald » sont publiées par le Syndicat de Coopération pour le Parc naturel régional des Vosges du Nord, en relation avec le Naturpark Pfälzerwald, sous l'égide des deux Conseils Scientifiques. Elles sont ouvertes à tous les travaux scientifiques relatifs au milieu naturel (flore, faune, écosystèmes, influence de l'homme sur le milieu, etc.) dans le territoire du Parc naturel régional des Vosges du Nord et du Naturpark Pfälzerwald, auxquels ont été attribués en 1989 et en 1993 le label de « Réserve de Biosphère » par l'UNESCO ainsi qu'en 1998, le label de Réserve de Biosphère Transfrontalière Vosges du Nord-Pfälzerwald. La parution des Annales est en règle générale annuelle. Les articles peuvent être rédigés en français ou en allemand ; ils doivent être adressés avant le 31 décembre, pour publication dans le numéro de l'année suivante, au Secrétariat de Rédaction des Annales, Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, 67290 LA PETITE PIERRE. Les articles sont examinés par le comité de lecture de la revue, qui peut requérir l'avis de personnes extérieures au comité. Celui-ci décide de l'acceptation ou non des manuscrits et des modifications à y apporter.

L'édition n°15 des Annales Scientifiques de la Réserve de Biosphère transfrontalière a été possible grâce au concours financier des Régions Alsace et Lorraine et du Ministère de l'Environnement, des Forêts et de la protection des consommateurs de Rhénanie-Palatinat.

Le comité de rédaction et de lecture est composé de :

Maurice WINTZ, président du conseil scientifique du Syndicat de Coopération pour le Parc naturel régional des Vosges du Nord.

Yves MULLER, membre du conseil scientifique du Syndicat de Coopération pour le Parc naturel régional des Vosges du Nord.

Serge MULLER, membre du conseil scientifique du Syndicat de Coopération pour le Parc naturel régional des Vosges du Nord.

Jean-Claude GENOT, chargé de la protection de la nature du Syndicat de Coopération pour le Parc naturel régional des Vosges du Nord.

Patricia BALCAR, Institut de Recherche en Ecologie Forestière et en Sylviculture de Trippstadt.

Hans-Jürgen HAHN, membre du conseil scientifique du Naturpark Pfälzerwald.

Gero KOEHLER, président du conseil scientifique du Naturpark Pfälzerwald.

Et pour ce numéro, ont contribué à la relecture de certains articles :

Hervé CUBIZOLLE, Olivier MANNEVILLE Francis MULLER et Jérémie CHOLET du Groupe d'Etude des Tourbières.

Adam HÖLZER, directeur du département de botanique du Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe (Museum d'Histoire Naturelle de Karlsruhe)

Loïc DUCHAMP, conservateur de la réserve naturelle au Syndicat de Coopération pour le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord.

Das «wissenschaftliche Jahrbuch des grenzüberschreitenden Biosphärenreservates Pfälzerwald-Vosges du Nord » wird vom Zweckverband zur Förderung des Regionalen Naturparks Nordvogesen in Verbindung mit dem Naturpark Pfälzerwald und unter der Leitung und Aufsicht der beiden wissenschaftlichen Beiräte der Naturparks veröffentlicht. Es steht offen für alle wissenschaftlichen Arbeiten, die mit der natürlichen Umwelt im Gebiet des Regionalen Naturparks Nordvogesen und des Naturparks Pfälzerwald in Zusammenhang stehen (Flora, Fauna, Ökosysteme, Einfluss des Menschen auf die Umwelt, etc.). Die beiden Naturparke wurden 1989 (F) und 1993 (D) von der UNESCO als Biosphärenreservate anerkannt. 1998 schliesslich erhielten sie die Anerkennung als grenzüberschreitendes Biosphärenreservats Pfälzerwald-Vosges du Nord. Das wissenschaftliche Jahrbuch erscheint in der Regel jährlich. Die Artikel für die Ausgabe des darauffolgenden Jahres können auf Deutsch oder Französisch geschrieben werden ; sie sind vor dem 31. Dezember des laufenden Jahres beim «Secrétariat de Rédaction» der wissenschaftlichen Jahrbücher, Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, F-67290 LA PETITE PIERRE, einzureichen. Die Artikel werden vom Lektorenkomitee der Zeitschrift, das die Meinung von Personen ausserhalb des Komitees einholen kann, begutachtet. Dieses entscheidet über die Annahme der Manuskripte und über eventuelle Änderungen.

Die Ausgabe Nr.15 der wissenschaftlichen Jahrbücher des grenzüberschreitenden Biosphärenreservates war Dank der finanziellen Unterstützung der Regionen Elsass und Lothringen und des Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz des Bundeslandes Rheinland-Pfalz möglich.

Das Redaktions- und Lektorenkomitee setzt sich zusammen aus :

Maurice WINTZ, Vorsitzender des wissenschaftlichen Beirates des Zweckverbandes zur Förderung des Regionalen Naturparks Nordvogesen.

Yves MULLER, Mitglied des wissenschaftlichen Beirates des Zweckverbandes zur Förderung des Regionalen Naturparks Nordvogesen.

Serge MULLER, Mitglied des wissenschaftlichen Beirates des Zweckverbandes zur Förderung des Regionalen Naturparks Nordvogesen.

Jean-Claude GENOT, Leiter des Bereiches « Naturschutz » beim Zweckverband zur Förderung des Regionalen Naturparks Nordvogesen.

Patricia BALCAR, Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Trippstadt.

Hans-Jürgen HAHN, Mitglied des wissenschaftlichen Beirates des Naturparks Pfälzerwald.

Gero KOEHLER, Vorsitzender des wissenschaftlichen Beirates des Naturparks Pfälzerwald.

Einige Artikel dieses Jahrbuches nochmals gelesen haben:

Hervé CUBIZOLLE, Olivier MANNEVILLE, Francis MULLER und Jérémie CHOLET der « Groupe d'Etude des Tourbières » (Studiengruppe von Moores).

Adam HÖLZER, Direktor der Abteilung für Botanik des Staatlichen Museums für Naturkunde Karlsruhe.

Loïc DUCHAMP, Konservator des Naturschutzgebietes für den Interessenverband des Regionalen Naturparks Vosges du Nord.

DIRECTIVES AUX AUTEURS

Les textes doivent être envoyés sous format Word par email (j.c.genot@parc-vosges-nord.fr). Les graphiques et illustrations doivent être envoyés sous format JPEG et EXCEL et les légendes doivent figurer dans le texte.

Les noms latins doivent être en italique. Les références placées dans le texte prennent la forme CALLOT (1991) ou (CALLOT, 1991), avec nom de l'auteur en majuscules et renvoient à une liste bibliographique finale arrangée par ordre alphabétique des noms d'auteurs. Lorsqu'une référence comporte plus de deux noms, elle est citée dans le texte en indiquant le premier nom suivi de *et al.* (abréviation de *et alii*) et de l'année, mais tous les noms d'auteurs doivent être cités dans la bibliographie. Dans celle-ci, les citations sont présentées comme dans les exemples suivants : CALLOT H. 1991. Coléoptères Dytiscidae des Vosges du Nord. Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord 1 : 7-16 ou pour un livre : BOUCHARDY C. 1986. La loutre. Ed. Sang de la Terre. Paris. 174 p. Pour tout ouvrage, on indique l'éditeur et la ville d'édition ; s'il s'agit d'une thèse, rajouter «Thèse» avec la discipline et l'Université.

Dans la bibliographie, les noms scientifiques, ainsi que les noms de revue et les titres d'ouvrages seront imprimés en italique. L'auteur vérifiera l'exactitude des abréviations des noms de revue ; en cas de doute mentionner le nom entier de la revue. S'il y a moins de 5 références, elles peuvent être citées complètement dans le texte entre parenthèses sans mentionner le titre ; par ex. (CALLOT, 1991, Ann. Sci.Rés. Bios. Vosges du Nord 1 : 7-16). Aucune référence non mentionnée dans le texte ne doit figurer dans la bibliographie. Les notes infra-paginales sont à éviter ; les noms vernaculaires doivent comporter, comme les noms scientifiques, une majuscule à la première lettre du nom du genre et une minuscule au nom d'espèce (ex.: le Faucon pèlerin), sauf nom de personne (ex.: le Vespertillon de Daubenton) ou géographique (ex.: le Sympétrum du Piémont) ou lorsqu'un adjectif précède le nom du genre (ex.: le Grand Murin) ou encore lorsque le nom d'espèce ou de genre remplace le nom complet (ex. : l'Effraie pour la Chouette effraie). Par contre, les noms vernaculaires de groupe ne doivent pas comporter de majuscule (ex. : les lycopodes) à la différence des noms scientifiques (ex.: les Ptéridophytes). Les dates données en abrégé seront présentées de la façon suivante : 10.07.87.

Dans le texte, seuls les noms d'auteurs sont à écrire complètement en majuscules ; le reste, y compris les titres et lieux géographiques sera dactylographié en minuscules.

Un résumé d'une demi-page au maximum sera inclus pour les articles, avec traduction en allemand et anglais. L'adresse de l'auteur doit figurer au début sous le titre de l'article. Trente tirés-à-part sont offerts à l'auteur ou au groupe d'auteurs ainsi qu'un exemplaire de la publication.

ANWEISUNGEN FÜR DIE AUTOREN

Die Texte müssen im Format «Word» per E-Mail (j.c.genot@parc-vosges-nord.fr) eingesandt werden. Grafiken und Illustrationen müssen im Format «JPEG» und «EXCEL» eingesandt werden und die Bildbeschreibungen/Zeichenerklärungen müssen im Text stehen.

Lateinische Namen müssen kursiv geschrieben werden. Die im Text plazierten Bezugnahmen erhalten die Form CALLOT (1991) oder (CALLOT, 1991), mit dem Namen des Autors in Großbuchstaben und beziehen sich auf eine bibliographische Liste am Ende des Artikels, die alphabetisch nach den Namen der Autoren angelegt ist. Umfasst eine Bezugnahme mehr als zwei Namen, so wird sie im Text mit dem ersten Namen angeführt, auf den *et al* (Abkürzung von *et alii*) und das Jahr folgen, aber alle Namen müssen in der Bibliographie genannt werden. In dieser werden die Zitate wie in folgenden Beispielen geschrieben : CALLOT H. 1991. Koleopteren Dytiscidae der Nordvogesen. Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord 1 : 7-16 oder für ein Buch : BOUCHARDY C. 1986. La loutre. Ed. Sang de la Terre. Paris. 174 p. Für jedes Werk wird der Autor und die Stadt des Verlages angegeben. Handelt es sich um eine Doktorarbeit, muss man «Dissertation» mit der Disziplin und der Universität hinzufügen.

In der Bibliographie werden die wissenschaftlichen Namen sowie die Namen der Zeitschriften und die Titel der Werke in Schrägschrift gedruckt. Der Autor muss die Richtigkeit der Abkürzungen der Namen der Zeitschriften prüfen : Sollte es Zweifel geben, muss man den ganzen Namen der Zeitschrift anführen. Gibt es weniger als 5 Bezugnahmen, können sie ganz im Text in Klammern genannt werden, ohne den Titel anzuführen : Zum Beispiel : (CALLOT, 1991, Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord 1 : 7-16). Eine im Text nicht erwähnte Bezugnahme darf in der Bibliographie niemals erscheinen. Anmerkungen am unteren Seitenrand sind zu vermeiden. Mit großem Anfangsbuchstaben geschrieben wird bei den deutschen Namen auch ein dem Artnamen vorgestelltes Adjektiv (z.B. Roter Milan). Abgekürzte Datumsangaben werden folgendermaßen geschrieben : 10.07.87.

Im Text werden nur die Namen der Autoren ganz mit Großbuchstaben geschrieben ; der Rest, auch die Titel und geographischen Bezeichnungen werden in Kleinbuchstaben (mit großem Anfangsbuchstaben) geschrieben.

Eine Inhaltsangabe von höchstens einer halben Seite mit einer Übersetzung auf Französisch und auf Englisch wird den Artikeln angefügt. Die Adresse des Autors muss am Anfang unter dem Titel des Artikels stehen. Dreissig Abzüge und ein Exemplar der Publikation werden dem Autor oder der Autorengruppe offeriert.

EDITO

Le colloque franco-allemand «Ecologie et protection des tourbières» qui s'est déroulé à Bitche en Moselle (France), au cœur de la Réserve de Biosphère Transfrontalière Vosges du Nord - Palatinat, ainsi que le présent ouvrage qui lui est associé, participent aux efforts du Groupe d'Etude des Tourbières (GET) pour favoriser les échanges entre le monde des scientifiques et celui des gestionnaires. L'initiative avait été lancée en octobre 2005 avec le premier colloque sur les tourbières organisé par le GET, à Gouttelas, près de Saint-Etienne. Un ouvrage avait été édité dans la foulée par l'université Jean Monnet de Saint-Etienne, co-organisatrice : «Origine, fonctionnement et conservation des tourbières». En octobre 2007, le GET avait été co-organisateur du colloque international de Lamoura (Jura) intitulé «tourbe en horticulture et la réhabilitation des tourbières après exploitation : quels enjeux pour demain?» Enfin, le GET a été impliqué au côté de l'association Naturagora dans la préparation du colloque «Regards 2010 sur les tourbières des vallées alluviales, les peupleraies et le pâturage» qui a eu lieu à Laon dans l'Aisne septembre 2010.

Il faut toutefois souligner l'originalité du colloque de Bitche dont l'organisation a fait l'objet d'une coopération étroite entre Loïc Duchamp, conservateur de la Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche, Adam Hölzer, directeur du département de Botanique du Staatliches Museum für Naturkunde de Karlsruhe et l'équipe du Naturpark Pfälzerwald. Par ailleurs, l'ouvrage qui est proposé ici au lecteur est édité conjointement par le Parc naturel régional des Vosges du Nord et le Naturpark Pfälzerwald qui ont accepté de consacrer un numéro spécial de leur revue, le volume 15, aux actes du colloque. Nous tenons ainsi, au nom de tous les participants, à saluer l'efficacité des organisateurs, au premier rang desquels Loïc Duchamp et Adam Hölzer. Ils ont su, d'une part, mobiliser les moyens matériels, financiers et humains nécessaires au bon déroulement de la manifestation et, d'autre part, mener à son terme le projet d'ouvrage, une tâche lourde comme chacun sait.

Le très grand intérêt du colloque de Bitche a été de permettre la confrontation de résultats scientifiques mais aussi des réflexions sur les modes de gestion dans deux pays, la France et l'Allemagne. Or, les discussions entre des scientifiques et des gestionnaires ayant des démarches, des approches, des méthodes, des cultures, des expériences différentes sont une condition primordiale à une amélioration de l'efficacité de la gestion conservatoire de ces écosystèmes humides qui, rappelons-le, continuent de reculer en

Europe malgré les dispositifs législatifs mis en œuvre. Aussi, bien que n'accueillant pas sur leurs territoires des surfaces tourbeuses aussi importantes que celles du Royaume-Uni ou de la Scandinavie, les deux grandes puissances européennes que sont la France et l'Allemagne ont une responsabilité notable dans le maintien de ces écosystèmes qui participent largement à la biodiversité européenne.

Depuis peu, nos sociétés sont fort heureusement sorties de l'affrontement stérile entre un humanisme anti-nature très dangereux et un naturalisme anti-société porteur de menaces pour la démocratie. A l'heure où elles s'interrogent sur leur vision de la nature et affirment de plus en plus clairement leur souci d'un bon usage de celle-ci, il est urgent de renforcer notre connaissance scientifique mais aussi de réfléchir à la dynamique des relations société/nature. Car seule la vision objective proposée tant par les sciences de la vie et de la Terre que par les sciences humaines et sociales, permettra de s'entendre sur ce que pourrait être «le bon usage» des écosystèmes en général et des tourbières en particuliers. Le colloque de Bitche est une contribution des spécialistes français et allemands des tourbières à ce vaste chantier. Nous ne pouvons que souhaiter que cette réussite encourage d'autres collègues, scientifiques ou gestionnaires, à proposer une nouvelle rencontre autour des tourbières qui rassemblerait au-delà des frontières, dans le cadre de l'Europe occidentale. Ainsi la dynamique lancée à Bitche en juin 2008 s'en trouverait pérenniser pour le plus grand bien des tourbières européennes.

Hervé Cubizolle
Professeur des universités, géographe
Université Jean Monnet, Saint-Etienne, France
Membre du Groupe d'Etude des Tourbières

VORWORT

Das deutsch-französische Symposium «Ökologie und Schutz der Moore», das im Herzen des grenzüberschreitenden Biosphärenreservates «Vosges du Nord-Pfälzerwald» in Bitche im Departement Moselle (Frankreich) stattfand, sowie das in diesem Zusammenhang entstandene, vorliegende Werk, sind Teil der Bemühungen der Moor-Studiengruppe (GET - *Groupe d'Etudes des Tourbières*), den Erfahrungsaustausch zwischen Wissenschaftlern und Betriebs- und Verwaltungspersonal zu fördern. Die Initiative wurde im Oktober 2005 anlässlich des ersten, von der GET-Studiengruppe in Gouttelas bei St. Etienne organisierten Symposiums über die Torfmoore ergriffen. Unmittelbar danach wurde von der mitorganisierenden Universität Jean Monnet in Saint Etienne das Werk «Entstehung, Funktionsweise und Erhaltung von Torfmooren» herausgegeben. Im Oktober 2007 hatte die GET das internationale Symposium in Lamoura (Jura) mit dem Titel «Torf im Gartenbau und Sanierung der Moore nach beendeter Nutzung: welche Herausforderungen für die Zukunft?» mitorganisiert. Schließlich war die GET auch an der Seite der Vereinigung Naturagora bei der Vorbereitung des Symposiums «Sicht aus dem Jahr 2010 auf die Moore der Autäler, der Pappelpflanzungen und Weiden» involviert, das im September 2010 in Laon im Departement Aisne stattfand.

Es soll jedoch die Originalität des Symposiums von Bitche hervorgehoben werden, das gemeinsam vom Leiter des *Réserve Naturelle des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche*, Loïc Duchamp, und dem Direktor der Abteilung für Botanik am Staatlichen Museum für Naturkunde in Karlsruhe, Adam Hölzer, sowie dem Arbeitsteam des Naturparks Pfälzerwald in enger Gemeinschaft organisiert wurde. Auch wurde das hier dem Leser vorgestellte Werk vom Regionalen Naturpark Vosges du Nord und dem Naturpark Pfälzerwald, die eine Sondernummer ihrer Zeitschrift, den Band 15, dem Symposiumsbericht widmeten, gemeinsam herausgegeben. Wir möchten daher im Namen aller Beteiligten besonders die Effizienz der Organisatoren, an erster Stelle von Loïc Duchamp und Adam Hölzer würdigen. Sie konnten einerseits die für den guten Ablauf der Veranstaltung nötigen materiellen, finanziellen und menschlichen Ressourcen flüssig machen, als auch andererseits das geplante Buch abschließen, eine, wie jeder weiß, schwierige Aufgabe.

Das große Interesse des Symposiums von Bitche lag in der Gegenüberstellung der wissenschaftlichen Ergebnisse, aber auch im Nachdenken über die Bewirtschaftungs-

und Verwaltungsweisen in den beiden Ländern Frankreich und Deutschland. Denn die Diskussionen zwischen den Wissenschaftlern und dem Verwaltungspersonal, mit ihren unterschiedlichen Vorgehensweisen, Methoden, Ansätzen, Kulturen und Erfahrungen sind eine Grundbedingung für eine Verbesserung der Effizienz der Schutzmaßnahmen für diese nassen Lebensräume, die, wie wir erinnern möchten, in Europa trotz der eingeleiteten gesetzlichen Maßnahmen im Rückgang begriffen sind. Zwar verfügen die beiden großen europäischen Nationen Frankreich und Deutschland über nicht so viele Mooregebiete wie Großbritannien und Skandinavien, haben aber doch eine große Verantwortung für die Erhaltung dieser Ökosysteme, die weitgehend zur Artenvielfalt in Europa beitragen.

Seit kurzem haben unsere beiden Gesellschaften glücklicherweise sterile Konfrontationen zwischen sehr gefährlichen, naturfeindlichen humanistischen und gesellschaftsfeindlichen Demokratie gefährdenden, naturalistischen Konzepten aufgegeben. Zu einem Zeitpunkt, zu dem sie sich immer wieder fragen, wie man sich die Zukunft vorstellen soll, und immer klarer die Sorge um ihre gute Verwendung bekräftigen, ist es wichtig, unsere wissenschaftlichen Kenntnisse zu verbessern, aber auch über die Dynamik der Beziehungen zwischen Mensch und Natur nachzudenken.

Denn nur ein objektives, sowohl von den Naturwissenschaftlern als auch den Geistes- und Sozialwissenschaftlern vorgelegtes Zukunftsbild wird erlauben, sich über die «gute Verwendung» der Lebensräume im allgemeinen, und der Moore im besonderen, zu verständigen. Das Symposium von Bitche stellt einen Beitrag französischer und deutscher Moor-Fachleute zur Lösung dieser Aufgabe dar. Wir wünschen uns von ganzem Herzen, dass dieser Erfolg andere Kollegen, Wissenschaftler oder Verwalter anspricht, ein neuerliches Treffen zum Thema Moor vorzuschlagen, das über die Grenzen hinaus im Rahmen von ganz Westeuropa stattfände. So würde die im Juni 2008 in Bitche initiierte Dynamik nachhaltig fortbestehen - zum größten Wohle europäischer Moore.

Hervé Cubizolle
Universitätsprofessor, Geograph
Université Jean Monnet, Saint- Etienne, Frankreich
Mitglieder der Moor- Studiengruppe

COMPOSITION DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DU SYNDICAT DE COOPERATION POUR LE PARC NATUREL REGIONAL DES VOSGES DU NORD

- Maurice WINTZ, sociologie, président du conseil, Université Marc Bloc, Institut d'urbanisme et d'aménagement régional, 22 rue R. Descartes - 67084 Strasbourg Cedex
- Noël BARBE, ethnologie, DRAC Franche-Comté, 7 rue Charles Nodier- 25043 Besançon Cedex et Laboratoire d'Histoire et d'Anthropologie sur l'Institution de la Culture UMR 2558 Culture-CNRS Paris,
- Max BRUCIAMACCHIE, écosystèmes forestiers, 14 rue Girardet- 54052 Nancy Cedex
- Marc COLLAS, milieux aquatiques, ONEMA, Délégation régionale de Metz, 74 rue Nicole de Finance- 88260 Thuillières,
- Jean-Jacques GROSS, géographie, Faculté de Géographie et d'Aménagement de Strasbourg, 3 rue de l'Argonne- 67000 Strasbourg,
- Gilles JACQUEMIN, entomologie, Université Henri Poincaré, Laboratoire de Biologie des Insectes- BP 239 - 54506 Vandoeuvre,
- René KILL, archéologie, 6 rue de la Montée - 67700 Saint-Jean-Saverne,
- Colette MECHIN, ethnologie, Faculté des Sciences Sociales, Pratiques Sociales et Développement, Université Marc Bloch, 22, rue René Descartes- BP 80010- 67084 Strasbourg Cedex
- Agnès MICHELOT, droit et science politique, Faculté de Droit et de Sciences Politiques, Economique et de Gestion, 45 rue F. de Vaux de Foletier - 17024 La Rochelle Cedex 1
- Serge MULLER, phytosociologie, Université de Metz, Laboratoire Biodiversité & Fonctionnement des Ecosystèmes, Campus Bridoux, Avenue du Général Delestraint- 57070 Metz Cedex
- Yves MULLER, ornithologie, La Petite Suisse - 57230 Eguelshardt
- Francis MUNIER, économie, Université de Haute Alsace, Bureau d'Économie Théorique et Appliquée (B.E.T.A), 61 avenue de la Forêt Noire - 67085 Strasbourg Cedex
- Annik SCHNITZLER, écologie forestière, Université de Metz, Laboratoire Biodiversité & Fonctionnement des Ecosystèmes, Campus Bridoux, Avenue du Général Delestraint - 57070 Metz Cedex
- Gabrielle THIEBAUT, hydrobiologie végétale, Université de Rennes1, UMR ECO-BIO 6553, Equipe FORBIO Bât 14A, 263 Avenue Général Leclerc - 35000 Rennes

MITGLIEDER WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DES NATURPARKS PFÄLZERWALD

- Vorsitzender, Prof. Dr.-Ing. Gero KOEHLER, Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich A/RU/BI Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft, Postfach 3049 - 67653 KAISERSLAUTERN
- Stellv. Vorsitzender, Ltd. FD Hans Peter EHRHART, Forschungsanstalt für Wald-ökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Hauptstrasse 16 - 67705 TRIPPSTADT
- Prof. Dr. Kai TOBIAS

Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich A/RU/BI Fachgebiet Ökologische Planung, Postfach 3049 - 67653 KAISERSLAUTERN

- Dr. Hans-Jürgen HAHN, Universität Landau, Institut für Biologie, Im Fort 7 - 76829 LANDAU
- Präsident Dr.-Ing. Stefan HILL, Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Kaiser-Friedrich-Strasse 7 - 55116 MAINZ
- Dr. Karl LANDFRIED, Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung Neumühle, 67728 MÜNCHWEILER a.d. Alsenz
- Dr. Reinhard FLÖSSER, Pfalzmuseum für Naturkunde und Pollichia-Museum, Hermann-Schäfer Strasse 17 - 67098 BAD DÜRKHEIM
- Herbert GOUVERNEUR, Referent für Umweltbelange und Bauleitplanung, Planungsgemeinschaft Westpfalz, Bahnhofstrasse 1 - 67655 KAISERSLAUTERN
- Dr. Sibylle MÜNCH, Struktur und Genehmigungsdirektion Süd, Obere Naturschutzbehörde, Friedrich Ebert Strasse 42 - 67433 NEUSTADT/Wstr.

CONTENT

TOME / BAND 15 – 2009-2010

- DUCHAMP L. The acidic mire complexes in the North Vosges regional nature Park 14-27
- DRUESNE C. The mire complexes in the Southern Vosges (High Vosges) 28-39
- MULLERS. Originality and recent evolution of the mire flora and vegetation in the Pays de Bitche (North Vosges Regional Nature Park) 40-49
- HAUPTLORENZ H. & PLANZ B. Distribution and plant sociological classification of the stocks of *Calla palustris* in the biosphere reservation of the Palatinate Forest 50-68
- MULLER S. *Calla palustris* L., a species which is rare and protected in France, currently expanding in the wetlands in North Vosges 69-80
- HÖLZER A & HÖLZER A. Distribution of peat moss in SW Germany, with the example of three species 81-102
- JULVEP. The sphagnum *synusia* interactions of the acidophilic mires of Western Europe: The position of sphagnum in the hydrological levels and phytosociological synthesis 103-122
- OTT J. Regarding the current situation with the mires dragonflies in the "Palatinate Forest" – how long can they still last in times of climate change? 123-139
- CUBIZOLLE H., THEBAUD G., SEYTRE L, PORTERET J. & TOURMAN A. Causes of trees development in the mires of the eastern Massif Central (France) in the course of the 20th century 140-170
- BRETSCHNEIDER A. Wooded bogs or birch stands of degenerated bogs. Regarding birch growth on mires 171-178
- GREGOIRE F., PARMENTIER H. & PASCAULT B. The bog, the plateau, and the tree: Example of the mires network of Montselgues (Ardèche) 179-191
- FRAHM E., SALZMANN T. & MIEGEL K. Investigations into the hydrology of a willow site (*Salix* spp.) in a riverine fen in North East Germany 192-206
- PORTERET J. Water storage capacity and the role of the low minerotrophic mires in the function of hillside basin heads 207-229
- EDOM F., DITTRICH I. & ESSLER K. Hydrogenetic and hydromorphological principles of the assessment of mires and wooded mires habitats for the implementation of the EU Habitat Directive – Experiences from the Erzgebirge region 230-250
- WALTER A.V. BOSSUET G., SIMONNET J.P., DEVELLE A.L., BÉGEOT C., RUFFALDI P., RÉGENT B. & WACKENHEIM C. Late glacial sedimentation in the mire of La Maxe and the lake of Sewen (Vosges Massif, France) – initial results 251-266
- THIRY M. & NIEVES-LIRON M. Sedimentary record from a small mire on the sandstone flatlands of the Fontainebleau Massif (77): Correlation with the evolution of the paleo-landscapes and climates 267-287
- DE KLERK P. & HÖLZER A. High-resolution pollen diagrams from the mire «Chaume Thiriet» (Southern Vosges, North East France) reveal small-area patterns in pollen precipitation during the last 2000 years 288-304
- DESPLANQUES C. & GARAMBOIS S. Characterisation of the paleotopography of the ombrotrophic mire of Luitel by means of geophysical methods 305-315
- SCHWEIKLE V. Natural extinction of vegetation involved in peat bogs growth in the Black Forest 316-319

INHALT

TOME / BAND 15 – 2009-2010

- DUCHAMP L. Die Moorkomplexe auf sauren Böden im Regionalen Naturpark der Nordvogesen 14-27
- DRUESNE C. Moorkomplexe in den Südvogesen (Hautes-Vosges) 28-39
- MULLER S. Einzigartigkeit und jüngste Entwicklung der Flora und der Vegetation der Moore des Pays de Bitche (RNP der Nordvogesen) 40-49
- HAUPTLORENZ H. & PLANZ B. Distribution et classement phytosociologique des populations de *Calla palustris* de la Réserve de Biosphère du Pfälzerwald 50-68
- MULLER S. *Calla palustris* L., eine in Frankreich seltene und geschützte Art, breitet sich derzeit in den Feuchtgebieten der Nordvogesen aus 69-80
- HÖLZER A & HÖLZER A. Distribution des sphaignes dans le Sud-Ouest de l'Allemagne. L'exemple de trois espèces 81-102
- JULVEP. Synusien von Torfmoosen in den acidophilen Mooren in Westeuropa: Position der Torfmoose in den Wasserpegeln und phytosoziologische Synthese 103-122
- OTT J. A propos de la situation actuelle des libellules des tourbières dans la Forêt du Palatinat (Pfälzerwald) - Combien de temps pourront-elle encore se maintenir étant donné le changement climatique? 123-139
- CUBIZOLLE H., THEBAUD G., SEYTRE L, PORTERET J. & TOURMAN A. Ursachen für die Entwicklung des Baumbewuchses in den Mooren des östlichen Massif Central (Frankreich) im 20. Jahrhundert 140-170
- BRETSCHNEIDER A. Bétulaie tourbeuse ou tourbière haute dégradée envahie de bouleaux. A propos du bouleau dans la tourbière 171-178
- GREGOIRE F., PARMENTIER H. & PASCAULT B. Das Moor, das Plateau und der Baum: Beispiel des Moornetzes von Montselgues (Ardèche) 179-191
- FRAHM E., SALZMANN T. & MIEGEL K. L'Hydrologie d'une saulaie naturelle (*Salix* spp.) dans une tourbière basse en Allemagne du nord-est 192-206
- PORTERET J. Speicherkapazität hinsichtlich des Wassers und Rolle minerotropher Niedermoores am oberen Rand von Niederschlagseinzugsgebieten 207-229
- EDOM F., DITTRICH I. & ESSLER K. Bases hydrogénétiques et hydromorphologiques pour une évaluation des tourbières et des forêts tourbeuses en vue de la mise en œuvre de la directive Habitat de l'Union Européenne pour les Monts métallifères (Erzgebirge) 230-250
- WALTER A.V. BOSSUET G., SIMONNET J.P., DEVELLE A.L., BÉGEOT C., RUFFALDI P., RÉGENT B. & WACKENHEIM C. Späteiszeitliche Sedimentation im Moor der Maxe (Marais de la Maxe) und dem Sewen-See (Lac de Sewen) (Vogesen, Frankreich) - erste Ergebnisse 251-266
- THIRY M. & NIEVES-LIRON M. Erfassung einer Torfniederung auf dem Sandsteinplateau des Massif de Fontainebleau (77) : Korrelation zwischen der Entwicklung historischer Landschaften und den Klimaveränderungen 267-287
- DE KLERK P. & HÖLZER A. Les diagrammes polliniques à haute définition de la Tourbière de la Chaume Thiriet (Vosges du Sud, Nord-Est de la France) révèlent, sur une petite zone localisée, des séquences de dépôts de pollen depuis 2 000 ans 288-304
- DESPLANQUES C. & GARAMBOIS S. Charakterisierung der Paläotopographie des Regenmoores von Luitel mit geophysikalischen Methoden 305-315
- SCHWEIKLE V. Extinction naturelle de la végétation produisant une tourbière haute en Forêt Noire 316-319

Les complexes tourbeux acides du Parc naturel régional des Vosges du Nord

Loïc DUCHAMP

Syndicat de Coopération du Parc naturel régional des Vosges du Nord
Maison du Parc - BP24 - 67290 LA PETITE-PIERRE

Résumé :

Dans le Parc naturel régional des Vosges du Nord, les principaux complexes tourbeux acides se rencontrent dans sa partie médiane, où se concentrent les sources des principaux cours d'eau du territoire ainsi que les vallées les plus larges et les moins pentues, sur alluvions anciennes et récentes issues de la dégradation des couches de grès vosgien. Il s'agit principalement de tourbières soligènes, topogènes et limnogènes (MANNEVILLE, 1999). Ces deux dernières sont le plus souvent associées à des barrages d'origine anthropique. Sur certaines d'entre elles, se développent des buttes de sphaignes ombrotrophes accompagnées d'une flore généralement inféodée aux tourbières hautes. Les épaisseurs de tourbe, souvent saprique à mésique, vont de quelques décimètres à 420 cm (sondage récent). Des datations au carbone 14 font remonter le démarrage de la turfigénèse à la période de l'Atlantique, aux environs de 6810 +/- 60 BP (DUCHAMP *et al.*, 2007).

Zusammenfassung :

Im Regionalen Naturpark der Nordvogesen findet man die wichtigsten Moorkomplexe auf sauren Böden im mittleren Teil, wo die Quellen der wichtigsten Wasserläufe des Gebietes und die breitesten Täler mit den sanftesten Hängen konzentriert sind. Sie ruhen auf altem und neuem Schwemmland, das aus der Verwitterung der Vogesensandstein-Schichten hervorgegangen ist. Es handelt sich hauptsächlich um Durchströmungs-, Kessel- und Versumpfungsmoore (MANNEVILLE, 1999). Letztere sind meistens durch von Menschen gebaute Wehre entstanden. Auf manchen von ihnen entwickeln sich aufgewölbte, ombrotrophe Bulte, meist in Begleitung einer Hochmoorflora. Die Dichte des meist stark zersetzten oder halbfeuchten Torfes reicht von einigen Dezimetern bis zu 420 cm (kürzliche Probebohrung). Die Radiokarbondatierung lässt den Schluss zu, dass die Torfbildung im Atlantikum des Holozäns begonnen hat, etwa 6810 ± 60 BP (DUCHAMP *et al.*, 2007).

Summary :

In the North Vosges Regional Nature Park the principal acidic mires complexes are to be found in the central part, where the springs of the principal water courses of the region are concentrated, as well as the widest and least steep of the valleys, on ancient and recent alluvial formations deriving from the breakdown of the Vosges sandstone layers. This involves in particular soligenous, topogenous, and limnogenous mires (MANNEVILLE, 1999). These latter two are most commonly associated with dams of human origin. In certain of these, ombrotrophic sphagnum hummocks are developing, accompanied by a flora generally predominant in the bogs. The peat layers thicknesses, often sapric to mesic, range from some tens of centimetres to 420 cm (recent soundings). Carbon 14 datings have set the origin of the peat formation to the Atlantic period, about 6810 ± 60 BP (DUCHAMP *et al.*, 2007).

Mots clés : tourbières acides, sphaignes, synthèse, Pin sylvestre, Vosges du Nord, Pays de Bitche.

Introduction et localisation

Cet article dresse le bilan de l'état actuel des connaissances sur les complexes tourbeux acides du Parc naturel régional des Vosges du Nord. Des zones humides alcalines sont également présentes mais uniquement sur les marges calcaires de ce territoire (MULLER, 2002). Elles ne sont pas traitées dans cet article. Celui-ci fait appel à des données collectées au cours du 20^e siècle essentiellement ainsi qu'à des travaux récents (2003 à 2009) développés dans la réserve naturelle des rochers et tourbières du Pays de Bitche et les Zones Spéciales de Conservation du réseau Natura 2000, «Cours d'eau, tourbières, rochers et forêts des Vosges du nord et souterrain du Ramstein» (FR4100208) et «Landes et tourbières du camp militaire de Bitche» (FR4100212).

Ce bilan reste malgré tout très fragmentaire et de nombreuses questions subsistent encore quant aux dynamiques ayant conduit à ces accumulations de tourbe mais aussi à l'évolution des habitats observés aujourd'hui.

Pour partie en Alsace et pour partie en Lorraine, le PNR des Vosges du Nord se situe dans la partie septentrionale du Massif Vosgien, dans un triangle dont les sommets sont les villes de Saverne et Wissembourg dans le Bas-Rhin et le village d'Obergailbach (près de Sarreguemines) pour la Moselle. Sa limite nord correspond à la frontière allemande où le massif se prolonge sous l'appellation de Pfälzerwald (Palatinat). Les territoires du Parc naturel régional des Vosges du Nord et du Naturpark Pfälzerwald sont réunis au sein de la Réserve de Biosphère Transfrontalière Vosges du Nord - Pfälzerwald, classement attribué par l'UNESCO en 1998 (figure 1).

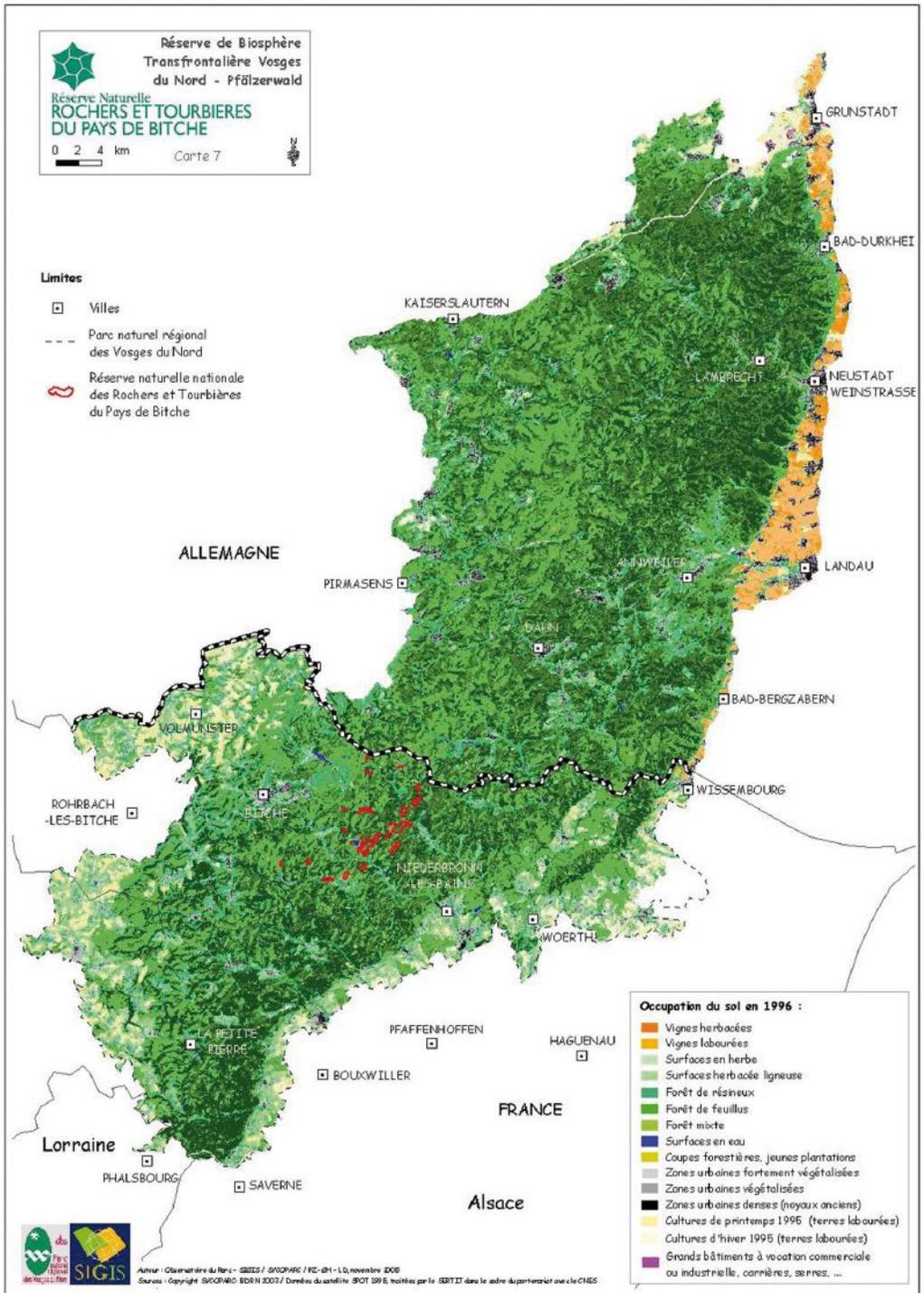


Figure 1 : Carte de la Réserve de Biosphère Transfrontalière Vosges du Nord - Pfälzerwald

1. Contexte écologique

1.1 Géologie, hydrologie et pédologie

La structure géologique des Vosges du Nord ou basses Vosges et de la Forêt Palatine voisine est celle d'un monoclin incliné vers le nord-est, à pente faible mais supérieure à la pente générale de la surface topographique, permettant l'affleurement successif des différentes assises du Buntsandstein (figure 2).

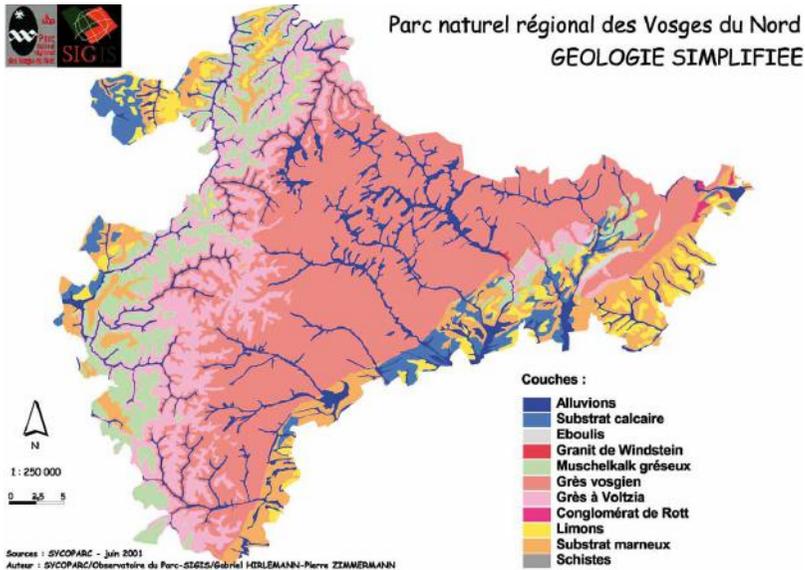


Figure 2 : Carte géologique simplifiée du Parc naturel régional des Vosges du Nord

Cette partie des Vosges correspond à l'extrémité orientale du plateau lorrain constituant lui-même la bordure du Bassin Parisien et à la bordure occidentale du Fossé Rhéna. Le socle gréseux du Buntsandstein est issu de dépôts sédimentaires fluviaux du début du Trias il y a 245 à 230 millions d'années environ. Sur ses marges, on trouve les couches, issues de la transition marine, plus riches en calcaire de la fin du Trias (Muschelkalk, Keuper, etc.) (MENILLET, 1989).

Le relief actuel résulte tout d'abord du rehaussement de l'ensemble du massif lors de l'orogénèse du début du tertiaire qui a progressivement formé les Alpes, le Jura et les Vosges. Cette poussée continue a provoqué un grand nombre de failles dans le manteau rocheux. Le fossé rhéna s'est lentement enfoncé, séparant le massif vosgien

du massif de la Forêt-Noire en Allemagne. L'eau, le gel et le vent n'ont cessé d'agir sur ce nouveau relief pour aboutir aujourd'hui à cette géomorphologie particulière. Ce monoclinale est entaillé de nombreuses vallées appartenant au grand bassin Rhin-Meuse. Les altitudes très modestes varient de 200 m à 580 m plaçant les basses Vosges gréseuses dans le domaine de végétation du collinéen au montagnard inférieur.

Dans les fonds de vallée, sur alluvions récentes (Holocène) recouvrant généralement des alluvions anciennes (Würm), essentiellement du sable issu de l'érosion des grès du Buntsandstein, on trouve les sols hydromorphes. Sous certaines conditions, de la tourbe s'est accumulée. Les épaisseurs sont la plupart du temps peu importantes. La plus importante se situe dans la vallée du Neudoerfel, partagée entre les communes de Sturzelbronn (Moselle) et Dambach (Bas-Rhin). Un sondage du début du 20^e siècle révélait une épaisseur de 275 cm (HATT, 1937). Un sondage récent au carottier russe, réalisé plus en amont dans la même vallée, atteste d'une épaisseur de 420 cm (GOU-BET, comm. pers.).

Les résultats d'une première campagne de prélèvements d'histosols dans la réserve naturelle des rochers et tourbières du Pays de Bitche en 2003, suivie d'une première approche de la genèse et du développement des tourbières de la région basée sur une série de relevés topo-stratigraphiques doublés d'une étude micromorphologique de quelques sites, apportent un certain nombre d'éléments sur leur fonctionnement actuel et l'évolution de la végétation depuis le début de la tourbification. En dépit d'une couverture de sondage assez restreinte finalement, des conclusions importantes ont pu être tirées. D'abord, la présence fréquente sur toute la stratigraphie des profils de sols de macrorestes ligneux ou de charbons de bois tend à indiquer que la plupart des sites ont été boisés ou semi boisés régulièrement au fil de leur évolution. La tourbe prélevée est surtout saprique, voire mésique, c'est à dire relativement minéralisée. L'analyse micromorphologique par la technique des lames minces a montré, au moins pour un site, une alternance de périodes humides favorables à la turfigénèse et de périodes sèches accompagnées parfois d'incendies. Cependant, certains sites ont révélé des épaisseurs superficielles de plusieurs décimètres de tourbe fibrique à sphaignes, comme en queue des étangs de Lieschbach, Waldeck, Welschkobert haut et d'Ersenthal. Enfin, une série de datations au ¹⁴C nous donnent un calage chronologique du démarrage de la turfigénèse sur le site du Grafenweiher au niveau de la confluence du Rothenbach et du Schwarzbach aux environs de 6810 +/- 60 BP soit entre 5835 et 5622 avant J.-C. (Ly-13247) (BONNEL & THOLOZAN, 2007 ; DUCHAMP *et al.*, 2007).

1.2 Climat

Le climat général actuel des Vosges du Nord est subatlantique. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 10°C et la pluviométrie moyenne de l'ordre de 950 mm d'eau.

Il fait un peu plus froid et un peu plus sec dans le secteur des «cuvettes» de Bitche (57) et de Dambach-Neunhoffen (67). On le dit à tendance boréo-continentale dans le fond des vallées du Pays de Bitche (MULLER, 1986) (figure 3).

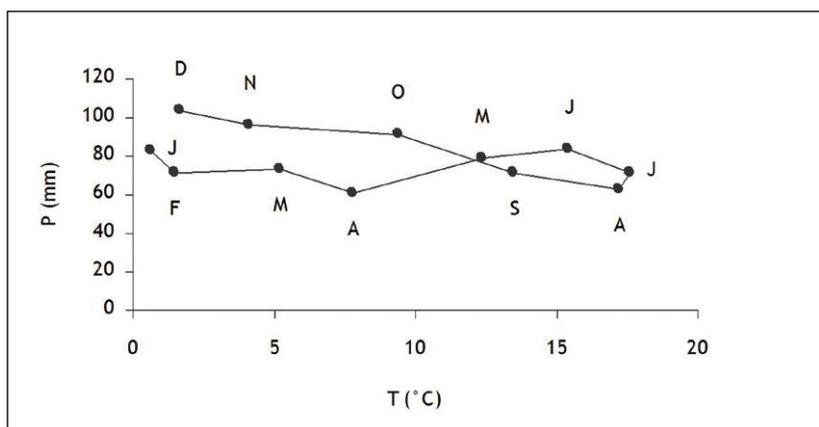


Figure 3 : Climatogramme (Précipitations, Températures) de la station de Moutershouse (alt. 270 m) sur la période 1975-1998 (source ONF).

2. L'impact anthropique

Les vallées et vallons du cœur des Vosges du Nord ont été pour la plus part modifiés par l'homme dès le Moyen Âge par drainage pour la pratique agricole et édification de barrages pour créer des étangs (RITTGEN, 1988 ; JEHIN, 2007). Les signes de cette anthropisation à vocation piscicole, agricole, technique (moulins, forges, scieries,...) puis enfin sylvicole sont le plus souvent encore nettement visibles aujourd'hui, malgré l'abandon depuis plusieurs décennies de l'entretien et de la gestion des sites dans certains secteurs. Ainsi certains drains sont encore fonctionnels et des plans d'eau toujours en place (figures 4 et 5). En terme d'induction turfigène, la baisse du niveau des nappes stoppe ou ralentit la tourbification, perturbe l'anaérobiose, entraîne une minéralisation des histosols, provoque un affaissement de la tourbe et des changements thermiques (JOOSTEN & CLARKE, 2002 ; PAYETTE & ROCHEFORT, 2001).



Figure 4 : Vue sur le château de Waldeck depuis l'étang de Hanau (photo Loïc Duchamp)



Figure 5: Drainages en forêt tourbeuse (photo Loïc Duchamp)

Les retenues d'eau, quant à elles, ont souvent recouvert des fonds de vallons déjà tourbeux mais ont aussi créé de nouvelles zones humides sur leur périphérie où certains habitats tourbeux ou paratourbeux ont pu se développer parfois directement sur un sol sableux (MULLER, 1985 ; 1988).

Autre phénomène ayant un impact sur la végétation et le fonctionnement des habitats des fonds des vallées tourbeuses, l'enrésinement. En effet, dès le 19^e siècle, pour les besoins de l'industrie minière de Lorraine, l'homme a planté le pin sylvestre, bien qu'autochtone, en peuplements purs sur des surfaces importantes, notamment sur les sols les plus pauvres, sur grès vosgien, comme dans le Pays de Bitche (NOEL, 1934). Un peu plus tard, et notamment lors de l'annexion allemande, ce fut aussi le cas pour l'épicéa. La litière de ces deux espèces est très acidifiante. Le pin a aussi été planté directement sur des sols tourbeux drainés.

Là où les fossés sont encore efficaces, la Molinie bleue est souvent l'espèce dominante de la strate herbacée sur sol tourbeux. Dans les secteurs où la nappe reste proche de la surface toute l'année (0 à 30 cm par rapport au niveau du sol), sur tourbe ou non, on observe une végétation oligotrophe pouvant s'apparenter aux bois tourbeux issus de l'évolution des tourbières hautes ou bombées, une pineraie riche en bryophytes avec des recouvrements en sphaignes (*Sphagnum magellanicum*, *S. capillifolium*, ...) fort variables selon les sites et avec la présence assez régulière de la Myrtille des marais (*Vaccinium uliginosum*).

3. Les habitats aujourd'hui observés

En ce début de 21^e siècle, une certaine diversité d'habitats tourbeux à paratourbeux peut être rencontrée dans les vallées des Vosges du Nord dont essentiellement des tourbières minérotrophes pauvres au sens de PAYETTE *in* PAYETTE & ROCHEFORT (2001).

Les différents habitats tourbeux remarquables selon la directive européenne Habitats, Faune, Flore de 1992, que l'on y rencontre sont : les fragments de tourbière haute (Code 7110*) ; les tourbières dégradées à Molinie (Code 7120) ; les tourbières de transition ou tremblants (Code 7140) ; les communautés à Rhynchospore (Code 7150) ; les tourbières boisées, ici principalement par le Pin sylvestre et le bouleau pubescent (Code 91D0*).

Les principales associations végétales, la flore remarquable et son évolution historique sont présentées dans ce volume par un article de Serge MULLER.

La faune remarquable au sens d'espèces peu communes à rares sous nos latitudes, inféodée à nos complexes tourbeux des Vosges du Nord, se compose essentiellement d'invertébrés tels que pour les groupes les mieux étudiés :

- des odonates tyrphophiles et tyrphobiontes : *Aeshna juncea*, *Coenagrion hastulatum*, *Epitheca bimaculata*, *Leucorrhinia caudalis*, *Leucorrhinia dubia*, *Somatochlora arctica*, *Somatochlora flavomaculata*, *Sympetrum danae* (JACQUEMIN et BOUDOT, 2002),
- des lépidoptères peu communs en France : le Fadet des tourbières (*Coenonympha tullia*) découvert récemment et la Bucklérie des marais (*Buckleria paludum*) dont les chenilles se nourrissent de *Drosera spp.* (PERRETTE *et al.*, 2009),
- des araignées dont, parmi les plus spectaculaires, la Grande Dolomède (*Dolomedes fimbriatus*), l'Argiope fasciée (*Argiope bruennichi*) et l'Epeire cornue (*Larinioides cornutus*) ou encore des espèces liées aux sphaignes, comme *Pirata uliginosus* et *Pardosa pullata*.

Très peu de vertébrés sont strictement liés à nos complexes tourbeux. Cependant, ils hébergent une importante population de Lézard vivipare (*Zootoca vivipara*) et, associés à un étang, de Couleuvre à collier (*Natrix natrix*). Le cortège typique d'amphibiens, quant à lui, est pauvre et dépend de la présence d'eau libre. Il est principalement constitué de 4 anoues communs (*Bufo bufo*, *Rana temporaria*, *Rana lessonae* et *Rana esculenta*) et de 2 urodèles (*Triturus alpestris* et *Triturus helveticus*). Un étang-tourbière est aussi occupé par un autre urodèle, *Triturus vulgaris*.

Pour les oiseaux (MULLER, 1997), la Bécassine des marais (*Gallinago gallinago*), ayant

jadis niché dans les Vosges du Nord, y fait encore quelques haltes migratoires. La Cigogne noire (*Ciconia nigra*) y est de plus en plus régulièrement observée en période limite de nidification.

Concernant les mammifères, nous n'avons pas d'espèce strictement inféodée aux complexes tourbeux. Cependant, les ongulés sauvages et particulièrement le sanglier, y passent un temps non négligeable, soit pour s'y remiser à l'abri du dérangement, soit pour s'y nourrir ou se rouler dans la tourbe créant ainsi des micros habitats pionniers sur tourbe nue ou sable humide propice au développement de certaines espèces floristiques peu communes des habitats oligotrophes, comme le *Lycopode inondé* (*Lycopodiella inundata*).

4. Discussion sur l'origine de certains habitats

Nous l'avons dit précédemment, ces tourbières ont connu des dégradations importantes liées à des tentatives de valorisation piscicole, agricole, forestière voire industrielle, surtout entre le 17^e et le 20^e siècle (création de plans d'eau par endiguement, drainages et parfois plantations d'arbres). Certaines ont même été dégradées dès le Moyen Âge (à partir du 12^e siècle) suite à l'installation d'une abbaye cistercienne à Sturzelbronn. En effet, les moines de cette abbaye ont créé un nombre important de plans d'eau sur leurs terres jusqu'à la révolution française (RITTGEN, 1988 ; JEHIN, 2007). Il faut malgré tout mettre en parallèle ces destructions avec les dynamiques qui se sont enclenchées à l'amont des pièces d'eau et des levées de terre liées aux chemins et aux routes édifiées au cours des huit derniers siècles.

Au final, le bilan est tout de même très négatif au regard de la surface couverte par une tourbe ancienne (environ 530 ha d'histosols épais ennoyés ou drainés selon un premier sondage grossier non publié) et de la surface couverte par des complexes tourbeux acides actuels (environ 190 ha) dont seule une petite partie semble posséder une activité turfigène.

Un espoir de réhabilitation demeure cependant. En effet, une bonne proportion du territoire couvert de tourbe se trouve hors exploitation agricole depuis la seconde moitié du 20^e siècle et, dans une moindre mesure, hors exploitation forestière en ce début de 21^e siècle. La plupart des tourbières actives sont juridiquement protégées par classement en réserve naturelle ou se trouvent dans un site Natura 2000 au cœur d'un terrain militaire. Certaines dynamiques observées sur ces sites semblent positives. Nous

observons des paludifications en cours là où des fossés se comblent naturellement et les nappes d'eau semblent remonter dynamisant de ce fait les sphaignes minérotrophes, telles que *Sphagnum fallax*, *S. palustre* et *S. papillosum* qui couvrent de belles surfaces ponctuées de *S. rubellum* et de *S. magellanicum*, cependant plus rare. Par ailleurs, nous constatons que certaines sphaignes telles que *S. papillosum* et surtout *S. capillifolium*, parfois *S. russowii*, se développent bien sous les pins sylvestres plantés ou apparus spontanément sur tourbe drainée et généralement accompagnés par *Molinia caerulea*, *Vaccinium myrtillus* et localement par *V. uliginosum*. En effet, dans des conditions où l'air est saturé d'eau, il semble s'installer des conditions ombrogènes favorables au développement de buttes de sphaignes.

Quant à savoir quels étaient les habitats présents dans les vallées et vallons tourbeux avant les modifications anthropiques, la question reste entière. Les habitats marécageux boisés spontanés qui dominent à l'échelle des Vosges du Nord aujourd'hui sont les différentes communautés végétales associées à l'aulne : des saulaies marécageuses ou à sphaignes (*Salicetum auritae*) et des aulnaies tourbeuses de l'*Alnion glutinosae*, plus mésotrophes. Concernant les habitats non boisés, il s'agit généralement de cariçaies, de mégaphorbiaies et dans une moindre mesure, dans les conditions les moins riches, de moliniaies sur tourbe.

Dans sa thèse de 1986, Serge Muller décrit dans le Pays de Bitche des pineraies qu'il rapporte au *Vaccinio uliginosi-Pinetum* de KLEIST 1929. Après analyse, il propose trois sous-associations (MULLER, 1986) :

- la sous association *typicum*,
- la sous association *eriphoretosum vaginati*, correspondant à une version plus humide,
- la sous association *quercetosum roboris*, correspondant à la zone de transition vers les groupements forestiers sur sol minéral.

Très appauvrie en espèces boréo-continentales par rapport aux relevés de références de Pologne (absence de *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia* et *Vaccinium vitis-idaea* notamment), cette association végétale est toujours observée aujourd'hui dans le Pays de Bitche. Cependant, quelques questions demeurent quant à sa place dans le contexte tourbeux local. En effet, les relevés phytosociologiques de référence, effectués dans les années 1980, l'ont été sur des sites fortement anthropisés par drainage et plantation de pin sylvestre pour certains plus de 100 ans auparavant et notamment au Rothenbruch, autour de l'étang de Hanau, au Waldeckerhubel et au Hanauerbruch d'après les observations de terrain et les anciens aménagements forestiers. Quels ont été les impacts de ces interventions sur la flore d'origine ?

La permanence du pin sylvestre dans cette région depuis 8000 ans est attestée par les analyses palynologiques de HATT (1937). Le fait de trouver des pollens de pin dans la tourbe nous informe de sa présence dans l'environnement mais pas nécessairement au niveau du prélèvement même. On suppose que l'espèce s'est maintenue là où les hêtres et les chênes n'ont pas pu le déloger, sur les sols les plus secs des Vosges du Nord, comme les dalles sommitales des éperons rocheux et peut-être quelques hauts de versants d'exposition sud ou autres situations où le sol trop drainant ne permet pas aux chênes ou aux hêtres d'évincer le pin. De plus, son caractère pionnier a pu lui permettre de se régénérer à la faveur de chablis de grandes tailles dans la forêt de feuillus dominant naturellement les communautés végétales des Vosges du Nord depuis plusieurs milliers d'années (MULLER, 2005). Le pin sylvestre s'est-il aussi maintenu naturellement en bordure de certaines vallées tourbeuses ou dans les secteurs les moins détrempés des tourbières constituant des communautés végétales à rapprocher du *Vaccinio uliginosi-Pinetum* cité plus haut ? Dans quelle mesure l'implantation massive du pin sylvestre sur tourbe drainée a-t-elle modifié la litière et a-t-elle induit une modification de la flore vers un cortège plus acidiphile et plus oligotrophe ? Une analyse des macrorestes végétaux pourrait nous apporter des informations complémentaires.

Les observations actuelles dans les pineraies sur tourbe tendent à montrer que dans les zones les plus sèches, le chêne (souvent *Quercus robur*) et surtout l'épicéa (*Picea abies*) se mélangent au Pin sylvestre (avec une régénération quasiment nulle du Pin sylvestre) et là où les anciens fossés se comblent progressivement et où, de fait, la nappe se retrouve proche de la surface du sol en période de végétation, des boulaies pubescentes tourbeuses (selon les Cahiers d'Habitats) se développent. Le Bouleau pubescent (*Betula pubescens*), y est souvent accompagné du saule à oreillette (*Salix aurita*) et de la bourdaine (*Frangula alnus*) et le Pin sylvestre peut encore y être observé tout comme les *Vaccinium myrtillus* et *uliginosum*. Dans la strate herbacée, on observe en plus de *Molinia caerulea*, des laïches tels que *Carex rostrata*, *C. curta*, *C. echinata* et parfois *C. nigra* et la strate muscinale comprend des sphaignes telles que *Sphagnum fallax*, *S. palustre* ou *S. papillosum* ainsi que *Polytrichum commune*. Ailleurs encore, dans une pineraie à molinie, dense et spontanée d'environ 70 ans, une paludification est en cours du fait de l'élévation progressive de la nappe d'eau et de l'envahissement par *Sphagnum fallax*, *S. papillosum* et *S. palustre* et les pins régressent fortement (48% de mortalité de 2000 à 2008) (travaux de suivis de la réserve naturelle non publiés).

Il existe cependant des pineraies à myrtille des marais qui semblent spontanées en périphérie de tourbières actives, notamment sur le terrain militaire de Bitche et à l'Erb-

senweiher mais sur des tourbes de faible épaisseur (quelques dizaines de centimètres).

Il est donc important de comprendre aujourd'hui comment fonctionnent et se répartissent ces différentes communautés végétales dans les complexes tourbeux des Vosges du Nord pour mieux appréhender leur diversité naturelle et mieux les préserver.

Conclusion

Il reste encore beaucoup de travail à effectuer pour améliorer nos connaissances des complexes tourbeux des Vosges du Nord tant sur le plan du fonctionnement que sur le plan de l'évolution historique de la végétation, connaissances indispensables pour formuler des hypothèses d'évolution. Une étude plus fine des macrorestes et des pollens apporterait un éclairage nouveau.

Cependant, l'essentiel des sites remarquables bénéficie d'un statut de protection. Ces sites tourbeux se trouvent inclus dans des sites Natura 2000 et sont pris en compte dans les documents d'objectifs. Par ailleurs, nous avons vu aussi que la tendance est globalement positive en ce qui concerne l'hydrologie (même si certains fossés semblent encore bien actifs).

Toutefois, une ombre se dessine au tableau : l'incertitude climatique. En effet, actuellement, la pluviométrie moyenne dans les Vosges du Nord se situe entre 850 et 950 mm d'eau par an avec une assez bonne répartition des pluies sur l'année et une température annuelle de l'ordre de 9 à 10 °C. Si cet état évolue vers une élévation de la moyenne des températures et/ou une réduction de la pluviométrie, notamment pendant les mois les plus chauds de l'année, les conditions seront peut être difficiles pour maintenir cette dynamique de réhabilitation en cours. D'où le pari que nous faisons, suite à la canicule de 2003 et la sécheresse qui s'en suivit, que les boisements de pins sylvestres en place peuvent être un atout indispensable à la conservation de nos complexes tourbeux car ils jouent un rôle de « parasol » en maintenant une hygrométrie élevée sous leur houppier sans pour autant pomper beaucoup d'eau dans la nappe (DUCHAMP *et al.*, 2007).

N'hésitons pas à rappeler aujourd'hui que, selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, les zones humides riches en matière végétale constituent « les meilleures réserves de carbone de tous les écosystèmes », avec une capacité moyenne de stockage de 1400 tonnes de carbone par hectare.

Bibliographie

- BONNEL P. & THOLOZAN A. 2007. Genèse et développement des tourbières du Pays de Bitche dans les Vosges du Nord. Origine, fonctionnement et conservation des tourbières, actes du colloque de Goutelas. CRENAM. Univ. de Saint-Etienne. Pp 145-167.
- DUCHAMP L., SCHNITZLER A. & GRANDMOUGIN L. 2007. Histoire et dynamique actuelle d'un complexe tourbeux sur grès : l'exemple de la tourbière du Grafenweiher dans le Pays de Bitche (Vosges du Nord). Origine, fonctionnement et conservation des tourbières, actes du colloque de Goutelas. CRENAM. Univ. de Saint-Etienne. Pp 169-181.
- HATT J.P. 1937. Contribution à l'étude pollinique des tourbières du Nord-Est de la France. *Bull. Service Carte Géol. Alsace-Lorraine* 4 : 1-79.
- JACQUEMIN G. & BOUDOT J.P. 2002. Les Odonates (Libellules) de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord : Originalité du peuplement. *Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald* 10 : 145-158.
- JÉHIN P. 2007. Rivières, étangs et pisciculture dans les Vosges du Nord avant la Révolution. *Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald* 13 (2006-2007) : 91-112.
- JOOSTEN H. & CLARKE D. 2002. Wise use of mires and peatlands. Ed. International Mire Conservation Group. 304 p.
- KLEIST C. de. 1929. Recherches phytosociologiques sur les tourbières de la région des dunes de la rive droite de la Vistule aux environs de Varsovie. *Bull. intern. Acad. polon. des Sci. et des Lettres Série B* : 41-104.
- MANNEVILLE O. 1999. Le monde des tourbières et des marais. France, Suisse, Belgique et Luxembourg. Ed. Delachaux et Niestlé. 320 p.
- MENILLET F. 1989. Carte géologique de la France à 1/50000. Lembach. Ed. BRGM.
- MULLER S. 1985. La flore vasculaire du Pays de Bitche. Mise au point sur les espèces les plus remarquables. Evolution de leur distribution depuis les temps de F.W. SCHULTZ. Les actions de protection entreprises. *Bull. Ass. Phil. Als. Lorr.* 21 : 129-156.
- MULLER S. 1986. La végétation du Pays de Bitche (Vosges du Nord). Analyse phytosociologique. Application à l'étude synchronique des successions végétales. Thèse. Univ. Paris-Sud (Orsay). 283 p + annexes.
- MULLER S. 1988. Affinités biogéographiques de la végétation des milieux tourbeux

du Pays de Bitche (Vosges du Nord). Modalités de gestion conservatoire des milieux secondaires. Actes du 15^e coll. intern. Phytosociologie : « Phytosociologie et Conservation de la Nature », Strasbourg, 1987, 441-452.

MULLER S. 2002. Les habitats naturels d'intérêt communautaire (Directive européenne 92/43) présents dans la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord. Intérêt biogéographique, état de conservation, mesures de gestion et de restauration à promouvoir. *Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald* 10 : 45-59.

MULLER S. 2005. Les phytocénoses d'indigénat du Pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) sur les affleurements de grès du Pays de Bitche (Vosges du Nord). *Ferrantia* 44 : 119-122.

MULLER Y. 1997. Les oiseaux de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord. *Ciconia* 21 : 1-347.

NOEL P. 1934. Le Pin sylvestre en Lorraine. ENGREF Nancy. 74 p.

PAYETTE S. & ROCHEFORT L., 2001. Ecologie des tourbières du Québec-Labrador. Ed. Les Presses de l'Université Laval. Canada. 621 p.

PERRETTE L.N., SPILL F. & RAUCH M. 2009. Les papillons de la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord. *Ciconia* : 1-323.

RITTGEN F. 1988. Bitche et son canton des origines à 1945. Editions Pierron. 320 p.

Les complexes tourbeux des Vosges du Sud (Hautes-Vosges)

Caroline DRUESNE

Parc naturel régional des Ballons des Vosges
Bureau des Espaces Naturels - 2, place des Verriers- 68820 Wildenstein.

Résumé :

Cœur du Parc naturel régional des Ballons des Vosges, les Vosges du Sud ou «Hautes-Vosges» abritent 257 sites tourbeux acides à sphaignes : soit 1338 hectares répartis sur trois régions (Alsace, Lorraine et Franche-Comté).

La richesse en tourbières de ce secteur de moyenne montagne dominée par la forêt s'explique par plusieurs facteurs : géologiques (substrat majoritairement granitique), géomorphologiques (modèles et dépôts glaciaires ou périglaciaires des glaciations quaternaires) et pluviométriques (barrière orogénique générant un climat froid et humide comparable au sud de l'Islande pour les crêtes vosgiennes).

Réparties de l'étage collinéen jusqu'au subalpin (200 à 1400 m), ces tourbières, concentrées pour la plupart sur le versant lorrain des Hautes-Vosges, sont aussi fort diversifiées : lacs-tourbières («Schwingrasen» et «Restsee»), tourbières de pente, hauts-marais («Hochmoor»), tourbières condensarogènes, tourbières boisées. Apparues à la fin du Würm, ces systèmes tourbeux, dont certains sont peut-être uniques en France ou en Europe, hébergent une dizaine d'habitats d'intérêt communautaire et des espèces végétales et animales spécialisées, souvent menacées.

Comme ailleurs en France, les tourbières des Hautes-Vosges ont régressé suite aux activités humaines. Pour y remédier, diverses mesures de préservation sont mises en œuvre depuis les années 1980. Actuellement, 1000 ha (73%) de ces tourbières disposent d'un statut de protection : protection réglementaire (réserve naturelle nationale...), site Natura 2000, espace naturel sensible des départements.

En termes de gestion, le dilemme du gestionnaire est toujours le même : intervenir avec un objectif de biodiversité et/ou un objectif de réhabilitation, ou laisser libre cours à l'évolution naturelle du milieu ? Aujourd'hui, il s'agit d'abord d'observer et de comprendre le système avant de choisir d'intervenir ou de ne pas intervenir, et de donner priorité à la fonctionnalité du complexe. Dans le massif vosgien, plusieurs gestionnaires de réserves ont ainsi engagé une analyse fonctionnelle de leurs complexes tourbeux, et d'ores et déjà, certains d'entre eux privilégient la naturalité. Parallèlement, les suivis scientifiques et la sensibilisation des publics aux tourbières se poursuivent.

En termes de perspectives, la mise en réseau des gestionnaires de sites tourbeux à l'échelle du massif vosgien doit s'organiser depuis la «simple» mutualisation de nos

expériences jusqu'à la mise en place de protocoles communs visant à étudier les changements globaux (apports azotés, climat...)

Zusammenfassung :

Der Regionale Naturpark der Ballons des Vosges, Herzstück der Südvogesen oder Hochvogesen, birgt 257 Torfmoore auf sauren Böden: das sind 1 338 Hektar, die auf drei Regionen aufgeteilt sind (Elsass, Lothringen und Franche-Comté).

Für den Moorreichtum dieses, vom Wald dominierten Abschnittes des Mittelgebirges gibt es mehrere Gründe: Geologische (hauptsächlich Granitboden), geomorphologische (glaziale oder periglaziale Modelle oder Ablagerungen der quartären Vergletscherungen) und die Regenmengen (tektonische Hindernisse bewirken ein kaltes und feuchtes Klima, das auf den Vogesenkämmen mit dem Süden von Island vergleichbar ist).

Diese von der kollinen bis zur subalpinen Stufe (200 bis 1 400 m) verteilten Moore, von denen die meisten auf der lothringischen Seite liegen, sind auch sehr unterschiedlich: Schwinggrasen und Restseen, Hangmoore, Hochmoore, Kondenswassermoore, bewaldete Moore. Am Ende der Würm-Kaltzeit entstandene Moorsysteme - von denen einige vielleicht einzigartig in Frankreich oder in Europa sind - beherbergen etwa ein Dutzend Habitats von allgemeinem Interesse und spezialisierte Pflanzen- und Tierarten, von denen manche gefährdet sind.

Wie auch andernorts in Frankreich sind die Moore in den Hochvogesen infolge menschlicher Aktivitäten zurückgegangen. Um dem entgegenzuwirken wurden seit den 1980er Jahren verschiedenen Schutzmaßnahmen ergriffen. Derzeit besitzen 1000 ha (73%) einen geschützten Status: einen verordnungsrechtlichen (Nationales Naturschutzgebiet...), Natura 2000 Gebiet oder gefährdeter Lebensraum der Départements.

Bezüglich deren Erhaltung steht der Verantwortliche immer vor dem gleichen Dilemma: soll er mit dem angestrebten Ziel der Artenvielfalt und/oder der Renaturierung eingreifen oder der natürlichen Evolution des Milieus freien Lauf lassen? Derzeit versucht man vor allem, das System zu beobachten und zu verstehen, nicht einzugreifen, und der Funktionalität des Systems den Vorrang zu geben. In den Vogesen haben daher mehrere Verantwortliche des Naturschutzgebiets eine Funktionsanalyse ihrer Moore in die Wege geleitet und einige bevorzugen bereits eine naturnahe Entwicklung. Gleichzeitig werden wissenschaftliche Folgestudien und die Sensibilisierung des Publikums fortgesetzt.

In Zukunft sollten sich die Verantwortlichen vernetzen, Erfahrungsaustausch pflegen bis hin zur Erstellung gemeinsamer Protokolle, um eventuelle Veränderungen besser untersuchen zu können (Stickstoffzufuhr, Klima)

Summary :

Sheltered in the heart of the regional nature park of Ballons des Vosges, the Southern Vosges or “High Vosges” are 257 sites of sphagnum acidic mires, amounting to 133 hectares spread over three regions (Alsace, Lorraine, and Franche-Comté).

The wealth of mires to be found in this area of the mountains, dominated by forests, can be explained by a number of factors: Geological (substrate largely granite type), geomorphological (glacial or peri-glacial models and deposits of quaternary glaciations), and pluviometric (orogenic barrier creating a cold, damp climate comparable to the south of Iceland on the crests of the Vosges).

Spreading from the foothills to the sub-Alpine altitudes (200 to 1400 m), these mires, which are concentrated for the most part on the Lorraine slope of the High Vosges, are also highly diversified: floating mats (“Schwingrasen” and “Restsee”), sloping mires, bogs (“Hochmoor”), condensation mires, and wooded mires. Putting in an appearance at the end of the Würm period, these mire systems, some of which are unique to France or Europe, play host to a dozen habitats of community interest and specialised vegetation and animal species, often endangered.

As elsewhere in France, the mires of the High Vosges have been depleted as a result of human activities. To remedy this, a number of preservation measures have been put into effect since the 1980's. At present, 1000 ha (73 %) of these bogs fall under statutory protection: Protection regulation (national nature reserve ...), Natura 2000 site, natural areas designated by the Departments.

In terms of management, the dilemma faced by the manager is always the same: Whether to intervene with the aim of biodiversity and/or the aim of rehabilitation, or whether to allow free rein to the natural evolution of the environment? Nowadays, the issue in the first instance is to observe and understand the system before choosing whether to act or not to act, and to give priority to the functional performance of the complex. In the Vosges massif, a number of nature reserve managers have accordingly undertaken a functional analysis of their mire complexes, and, in keeping with the findings, a number of them are giving preference to the “natural” course of events. In parallel with this, scientific monitoring and the sensitisation of the public to the situation involving the mires are being pursued.

In terms of perspectives, the networking by the managers of mires sites on the scale of the Vosges Massif must be organized in the form of the “simple” mutual sharing of our experiences until joint protocols have been in place with the aim of studying the global changes (nitrogen fractions, climate, etc.).

Mots-clés : tourbières acides, Hautes-Vosges, écologie, protection, gestion.

En sa moitié méridionale, le massif vosgien affiche le long d'une ligne de crête principale orientée nord – sud ses sommets les plus élevés : les Ballons culminent ici entre 1100 m et 1424 m d'altitude. Au sein de cette terre de moyenne montagne appelée «Hautes Vosges», et qui constitue le cœur du Parc naturel régional des Ballons des Vosges, les tourbières acides ou tourbières à sphaignes s'imposent dès le premier contact comme des paysages intensément originaux dans un environnement à dominante forestière. Très tôt, ce caractère particulier a été reconnu par les habitants du massif vosgien, et d'innombrables toponymes tels que rieds, faignes, faings ou charmes font référence à ces zones humides remarquables.

257 sites tourbeux ont ainsi été inventoriés au sein des Hautes-Vosges, soit 1338 hectares répartis sur trois régions (Alsace, Lorraine et Franche-Comté) et quatre départements (Haut-Rhin, Vosges, Haute-Saône et Territoire de Belfort).

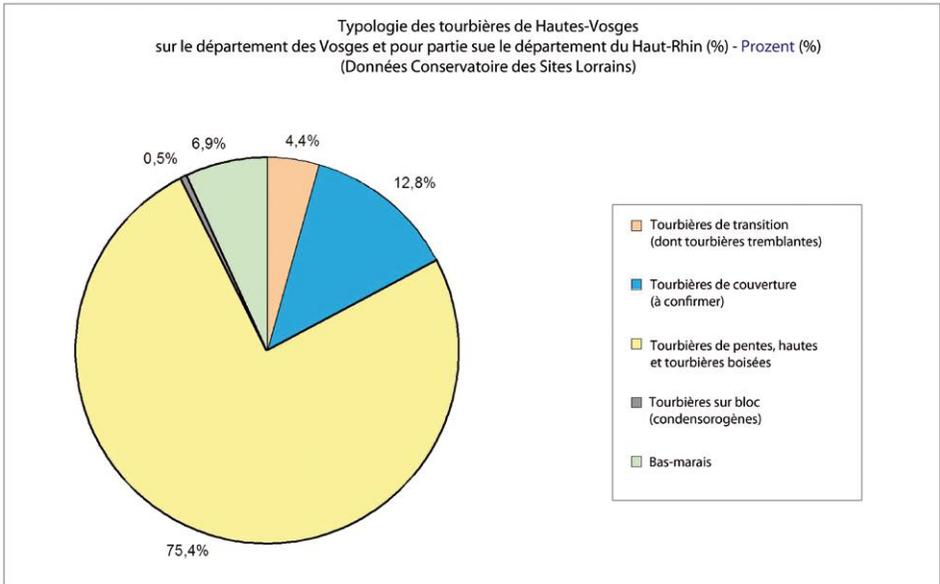
La richesse en tourbières de ce secteur géographique s'explique par plusieurs facteurs : géologiques, géomorphologiques et pluviométriques. En premier lieu, les Hautes-Vosges se caractérisent par un substrat majoritairement granitique (ELLER, 1976). Les granites, peu fracturés, imperméables et de nature acide, semblent plus favorables à l'installation des tourbières que les grauwackes également présents à l'extrême sud du massif. La géomorphologie d'origine glaciaire des Hautes-Vosges est aussi propice aux milieux tourbeux : cirques glaciaires surcreusés, verrous, culots de glace morte, pentes douces, kames ou moraines sont autant de résultantes de l'activité des glaciers, dont les derniers ont fondu définitivement il y a environ 9 000 ans (FLAGEOLLET, 2002). À côté de ces modelés et dépôts glaciaires ou périglaciaires des glaciations quaternaires, la rudesse des conditions climatiques est essentielle. Constituant le premier obstacle aux dépressions venues de l'Atlantique (barrière orogénique), les crêtes vosgiennes connaissent une pluviométrie et une nébulosité élevées (précipitations neige et pluies de l'ordre de 2 m/an), un enneigement long (4 à 6 mois) et des températures relativement basses (température moyenne annuelle de l'ordre de 5°C à 1000 m d'altitude ; climat du Hohneck comparable à celui de Reykjavik en Islande). Au vu de ce « dispositif d'accueil », les tourbières actuelles sont apparues à la fin du Würm.

C'est le versant lorrain des Hautes-Vosges, qui par ses pentes plus douces, ses bassins-versants plus vastes et sa pluviométrie plus élevée, réunit la majorité des tourbières *a contrario* de son homonyme alsacien. Ces dernières se répartissent de l'étagé collinéen jusqu'au subalpin (200 à 1400 m) sur quelques centaines d'hectares.

On y observe une grande diversité de tourbières, réparties suivant un gradient altitudi-

nal important, mais que l'on peut aussi parfois retrouver sur un même site (comme sur Lispach) :

- les lacs-tourbières ou tourbières flottantes, facilement reconnaissables à leurs «ra-deaux» ou «tremblants» («Schwingrasen») et à leur lac glaciaire («Restsee»), constituent l'une des spécificités vosgiennes ;
- les tourbières de pente, les plus répandues
- les hauts-marais ou tourbières bombées («Hochmoore»)
- les tourbières basses ou bas-marais
- les tourbières condensarogènes ou «glacières». Ces «micro-tourbières» tout à fait originales prennent naissance en bas de pente sur des éboulis, s'étendant sur quelques m² et alimentées par la condensation de l'air, qui circule dans les anfractuosités des pierriers.
- les tourbières boisées : boulaies, pessières sur tourbe, saussaies principalement.



Typologie écologique des tourbières acidiphiles des Hautes-Vosges sur le département des Vosges et pour partie sur le département du Haut-Rhin (610 ha) - Données Conservatoire des Sites Lorrains	Ökologische Moortypen (147 Moore)	Superficie Fläche (ha)	Pourcentage Prozent
Tourbières de transition (dont tourbières tremblantes)	Zwischenmoore (mit Schwingrasen)	27	4,43%
Tourbières de couverture (à confirmer)	sogenannte Deckenmoore	78	12,79%
Tourbières de pente, hautes et tourbières boisées	Hochmoore (und Waldmoore)	460	75,41%
Tourbières sur bloc (condensarogènes)	Kondenswassermoore (auf Blockerhülle)	3	0,49%
Bas-marais	Niedermoore	42	6,89%
Total : Summe :		610	100%

Plusieurs types de systèmes tourbeux des Hautes-Vosges sont peut-être uniques en France ou en Europe, comme les édifices de couverture de Gazon du Faing au sommet de la grande crête vosgienne, le cône organo-minéral de Jemnaufaing, la partie amont de Ma-chais, qui pourrait être un haut-marais flottant lié à une fermeture naturelle de la vallée glaciaire qui l'héberge, ou les stades initiaux de tourbières condensarogènes qui occupent de faibles superficies en aval de pierriers froids à lacunes.

Les tourbières des Hautes-Vosges hébergent des biocénoses originales et spécialisées, dont 6 habitats d'intérêt communautaire et 4 habitats d'intérêt communautaire prioritaire*.

Codes Eur15	Codes Corine	Intitulé habitats
4060	31.4A	Landes naines à <i>Vaccinium</i> des hautes montagnes
6410	37.31	Prairies à molinie
7110*	51.1	Tourbières hautes actives
7120	51.2	Tourbières hautes dégradées encore susceptibles de régénération
7140	54.5	Tourbières de transition et tremblantes
7150	54.6	Dépressions sur substrats tourbeux
3160	22.14 / 22.43	Lacs et mares dystrophes naturels
91D1*	44.A1	Boulaies à sphaignes
91D2*	44.A2	Tourbières boisées à pin sylvestre
91D4*	44.A4	Pessières tourbeuses
Néant	44.922	Saussaies à sphaignes
Néant	44.91	Bois marécageux d'aulnes
Néant	44.A4	Hors nomenclature N2000 : Tourbières condensarogènes
Néant	54.26	Hors nomenclature N2000 : Bas-marais
Néant	54.42	Hors nomenclature N2000 : Tourbières basses à <i>Carex nigra</i> et <i>Carex echinata</i>
Néant	53.214	Magno-cariçaises à <i>Carex rostrata</i> et <i>Carex vesicaria</i>

Parallèlement, de nombreuses espèces végétales et animales remarquables souvent menacées y sont représentées. Pour la fonge, des espèces menacées d'extinction comme *Armillaria ectypa* ou *Hypholoma aff. subfusisporum* ou fortement menacées comme *Entoloma elodes*, *Galerina sphagnorum* ont été observées (LAURENT *et al.*, 2003). Pour la flore, plus de la moitié des espèces françaises et près de la moitié des espèces européennes

de sphaignes ont été inventoriées, dont des espèces à affinité boréale très rares pour la France, comme *Sphagnum balticum*, représentée dans une ou deux stations lorraines pour l'ensemble du territoire français, *Sphagnum fuscum* ou *Sphagnum riparium*. Chez les Ptéridophytes, citons le Lycopode inondé (*Lycopodiella inundata*), espèce protégée à l'échelon national, qui apprécie tout particulièrement les tremblants. Parmi les Spermatophytes protégés à l'échelle nationale, on trouve des espèces les plus répandues aux espèces les plus rares : la Rossolis à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia*), l'Andromède à feuilles de polium (*Andromeda polifolia*) caractéristique des groupements des hauts marais, la Laïche bourbeuse (*Carex limosa*), la Scheuchzérie des marais (*Scheuchzeria palustris*), les Rossolis à feuilles longues (*Drosera anglica*), intermédiaire (*Drosera intermedia*), la Calla des marais (*Calla palustris*), l'Utriculaire jaune pâle (*Utricularia ochroleuca*), la Linaigrette grêle (*Eriophorum gracile*) (une seule station relictuelle dans les Hautes Vosges), et la Malaxis des tourbières (*Hammarbya paludosa*), très menacée.

Parmi les espèces protégées régionalement, sont présents le Petit Nénuphar (*Nuphar pumila*), l'Utriculaire naine (*Utricularia minor*), le Rubanier à feuilles étroites (*Sparganium angustifolium*), le Myriophylle à feuilles alternes (*Myriophyllum alterniflorum*) et la très localisée Cigüe vireuse (*Cicuta virosa*) pour les eaux stagnantes oligotrophes comme les lacs-tourbières ou leurs ruisseaux émissaires. On peut aussi citer la Linaigrette à feuilles larges (*Eriophorum latifolium*), la Camarine noire (*Empetrum nigrum*), et chez les orchidées en tourbières boisées, la Listère cordée (*Listera cordata*) et la Racine de corail (*Coralorrhiza trifida*), non revue depuis plusieurs décennies (MULLER, 2006).

Côté faune, les invertébrés ne sont pas en reste. Plus de 20 espèces de libellules ont été inventoriées dont des espèces tyrrhobiontes et/ou articoboréales comme l'Aeschne subarctique (*Aeshna subarctica*), la Cordulie arctique (*Somatochlora arctica*), la Leucorrhine douteuse (*Leucorrhinia dubia*) ou la Cordulie alpestre (*Somatochlora alpestris*) (BOU-DOT et JACQUEMIN, 2002). Chez les Lépidoptères, le Nacré de la Canneberge (*Boloria aquilonaris*), protégé en France, est relativement bien présent. Pour les amphibiens, les tourbières avec leurs lacs, gouilles ou mardelles sont des sites de reproduction privilégiés. Nous retrouvons des espèces ubiquistes comme la Grenouille rousse (*Rana temporaria*), le Crapaud commun (*Bufo bufo*), le Triton alpestre (*Triturus alpestris*) et le Triton palmé (*Triturus helveticus*). Le Lézard vivipare (*Lacerta vivipara*) et la Couleuvre à collier (*Natrix natrix*) sont les deux reptiles que l'on observe également. À noter l'importance que peuvent revêtir les tourbières pour le Grand Tétraz (*Tetrao urogallus*). De par leurs lisières riches en myrtilles, elles figurent parmi les sites d'alimentation de cet oiseau menacé de disparition à l'échelle du massif vosgien, voire parfois parmi ses sites de reproduction.

Comme ailleurs en France, les tourbières des Hautes-Vosges ont régressé suite aux activités humaines passées ou plus récentes : drainages suivis d'enrénements ou de pâturages ; exploitation de tourbe artisanale jusqu'au début du XX^e siècle ou industrielle pendant l'occupation (les dernières ayant été exploitées jusque dans les années 1950 pour la fabrication de godets horticoles) ; tracés de ski de fond ou de ski alpin ; construction de barrages (hydro-électricité, réserve d'eau) ; remblais suivis de constructions ; dépôts d'ordures.

Certaines menaces perdurent, comme les pollutions par ruissellement (hydrocarbures, fondants routiers pour garantir l'accès aux équipements de ski, fosses septiques,...), la pollution atmosphérique d'origine agricole ou industrielle, les travaux hydrauliques connexes aux tourbières (mise en assec d'étangs, infrastructures routières), ou la fréquentation touristique et sportive, notamment du fait du reprofilage de certaines tourbières pour faire passer des pistes de ski de fond.

Résultat, même si certaines tourbières perturbées par le tourbage ou les drainages, lorsque leurs pentes sont modérées, semblent être capables d'une résilience inattendue (turfigénèse relancée par la réapparition de sphaignes rouges rendue possible notamment par la pluviométrie élevée des Hautes-Vosges), le réseau des tourbières vosgiennes s'en trouve réduit et dégradé pour partie. Cette régression a entraîné la disparition sur le massif vosgien du Solitaire (*Colias palaeno*), papillon typique des faignes. Le Fadet des tourbières (*Coenonympha tullia*), autre papillon, a probablement subi le même sort dans les Vosges du Sud alors qu'il survit dans les Vosges du Nord.

Pour y remédier, diverses mesures de préservation sont mises en œuvre depuis les années 1980, en s'appuyant sur d'importants travaux d'inventaires : inventaire national des tourbières, inventaire national des Zones Naturelles d'Inventaire Faunistique et Floristique, inventaires complémentaires aux échelles départementales...

Certaines tourbières parmi les plus belles des Hautes-Vosges bénéficient ainsi d'une protection réglementaire, limitant ou interdisant certaines activités humaines, par l'intermédiaire de différents statuts : réserves naturelles nationale ou régionale, réserve biologique domaniale, arrêté préfectoral de protection de biotope. Ce sont 457 ha de tourbières qui sont protégés réglementairement, soit 34% des sites tourbeux inventoriés dont 24% sont inclus dans des réserves naturelles nationales.

Autre mesure de préservation, reposant en France essentiellement sur l'engagement volontaire des acteurs locaux, le réseau écologique européen Natura 2000 protège 39% des tourbières des Hautes-Vosges (522 ha), si l'on exclut les sites Natura 2000 inclus dans les

espaces protégés réglementaires. De plus, localement, chaque département a une compétence pour préserver, gérer et ouvrir au public des espaces naturels « sensibles ». À titre d'exemple, le Département des Vosges a développé une politique incitative en faveur des communes, des associations et des privés, qui s'engagent à long terme (au minimum 15 ans) dans la préservation de tels sites, dont les tourbières. Au final sur les Hautes-Vosges, 359 ha (27%) de milieux tourbeux ne disposent d'aucun statut de protection.

En termes de mesures de gestion pour ces tourbières protégées, le dilemme du gestionnaire est toujours le même : intervenir ou ne pas intervenir (DRUESNE, 2004) ? « Figurer » le milieu en l'état pour conserver la biodiversité propre au stade d'évolution présent ou même le rajeunir pour augmenter la biodiversité ou « acquérir » des espèces considérées comme plus « patrimoniales », ou objectif plus global, réhabiliter une tourbière dégradée, - quoi qu'il en soit - intervenir ; ou au contraire laisser libre cours à l'évolution naturelle du milieu ?

Jusqu'à présent, le choix de la non-intervention au sein d'une tourbière restait marginal. Il s'appliquait généralement lorsque cette dernière n'avait subi aucune perturbation majeure (le plus souvent humaine), affectant son fonctionnement. Plus nombreuses, les tourbières perturbées font généralement l'objet d'interventions ciblées avec un objectif de biodiversité et/ou un objectif de réhabilitation.

Aujourd'hui, une évolution semble se dessiner. En lieu et place d'un interventionnisme souvent systématique ou du moins largement répandu, il s'agit désormais d'observer et de comprendre le système avant de choisir d'intervenir ou de ne pas intervenir, et de donner priorité à la fonctionnalité du complexe plutôt que de se focaliser sur une espèce à préserver.

Dans le massif vosgien, plusieurs gestionnaires de réserves ont ainsi engagé une analyse fonctionnelle de leurs complexes tourbeux, pour à la fois établir leur stratégie de conservation et assurer une veille écologique (cf. changements climatiques, pollution atmosphérique azotée...).

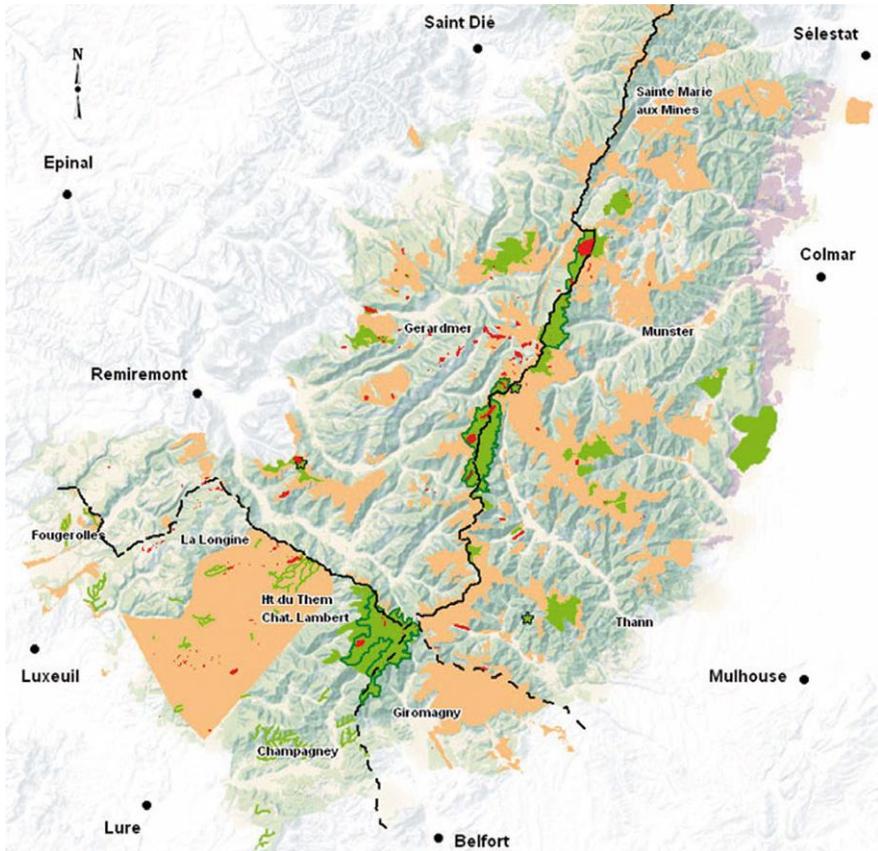
D'ores et déjà, certains d'entre eux privilégient la naturalité (donc la non-intervention) pour une meilleure fonctionnalité de l'écosystème.

Parallèlement, les suivis diachroniques (phytosociologie, espèces bioindicatrices, photointerprétation, piézométrie, climatologie...) se poursuivent et ce depuis près de 20 ans pour certains sites tourbeux protégés.

La sensibilisation à la fragilité des tourbières et aux intérêts de les préserver auprès des

acteurs locaux, du grand public et des scolaires reste aussi une priorité, qui se traduit par différentes actions (animations, sentiers de découverte, journées de formation...).

En termes de perspectives, la mise en réseau des gestionnaires de sites tourbeux à l'échelle du massif vosgien doit s'organiser. De la «simple» mutualisation de nos expériences jusqu'à la mise en place de protocoles communs visant à étudier les changements globaux (apports azotés, climat...), les chantiers à ouvrir sont nombreux.



■ 257 sites tourbeux inventoriés : 1 338 ha

■ dont 457 ha de sites tourbeux, inclus dans des espaces protégés réglementaires

■ et 522 ha de sites tourbeux inclus dans des sites Natura 2000, hors espaces protégés réglementaires.

Tourbières et mesures de préservation au sein du Parc naturel régional des Ballons des Vosges (300 000 ha)

Remerciements : Un grand merci à Jean-Christophe RAGUÉ, attaché scientifique au Conservatoire des Sites Lorrains pour sa relecture et ses contributions graphiques.

Bibliographie :

BOUDOT J. P. & JACQUEMIN. G. 2002. Inventaire et statut des Libellules de Lorraine. *Société Lorraine d'Entomologie*, 68 p.

BOUDOT J. P. & JACQUEMIN. G. 2002. Les Odonates des tourbières et lacs acides du massif vosgien : bilan de 10 années de prospection. *Actes des 1ères et 2ndes Rencontres odonatologiques de France, Soc. Fr. d'Odonatologie, Martinia*, numéro hors-série 4 : 27-38.

DRUESNE C. 2004. La non-intervention, mode de gestion à part entière des tourbières. *Zones humides Infos, Société nationale de protection de la nature* 45 : 15-16.

ELLER (Von) J. P. 1976. Vosges, Alsace, Guides géologiques régionaux. Ed. Masson. Paris. 182 p.

FLAGEOLLET J. C. 2002. Sur les traces des glaciers vosgiens. Ed. CNRS. Paris. 212 p.

LAURENT P., EYER C., MAURICE J.P. & TRICHIES G. 2003. Session de la Société Mycologique de France à Saint-Dié des Vosges du 6 au 11 octobre 2003. *Bull. Soc. mycol. Fr.* 119 (3-4) : 403-419.

MULLER S. 2006. Les plantes protégées de Lorraine. Distribution, écologie, conservation. Ed. Biotope. Mèze. 376 p.

TYOLOGIE DES TOURBIÈRES ACIDIPHILES DES HAUTES-VOSGES - GLOSSAIRE FRANCO-ALLEMAND

Sauer-Moortypen - Französisch-Deutsch Wörterbuch

Document Conservatoire des Sites Lorrains.

Modifié d'après Wikipedia diffusion allemande (<http://de.wikipedia.org/wiki/Moor>)

Complété selon MANNEVILLE O., VERGNE V., VILLEPOUX O. & le Groupe d'Etude des Tourbières. 1999.

Le monde des tourbières et des marais. Ed. Delachaux & Niestlé. Lausanne, Paris. 320 p. Et selon le Pôle-Relais Tourbières.

1 - Typologie des tourbières acidiphiles selon leur genèse

Entwicklungsgeschichtliche Moortypen

- 1.1. - Tourbières de source (T. soligènes) - **Quellmoore**
- 1.2. - Tourbières d'atterrissement (T. limnogènes) - **Verlandungsmoore**
- 1.3. - Tourbières de paludification (T. topogènes) - **Versumpfungsmoore** u.a.

2 - Typologie des tourbières acidiphiles selon leur alimentation hydrique

Moortypen nach der Herkunft des Wassers

- 2.1. - Tourbières minérotrophes - **Mineral bodenwasserernährte Moore, Reichmoore**
- 2.2. - Tourbières ombrotrophes - **Regenmoore, Niederschlagswasserernährte M.**
- 2.3. - Tourbières condensarogènes (sur blocs, très localisées) - **Kondenswassermoore**

3 - Typologie des tourbières acidiphiles selon leur topologie et leur phytosociologie

Ökologische Moortypen

- 3.1. - Tourbières basses ou bas-marais - **Nierdemoore**
- 3.2. - Tourbières hautes ou tourbières bombées - **Hochmoore**
- 3.3. - Tourbières de transition - **Zwischenmoore**
- 3.4. - Tourbières de couverture (localisées à la crête) - **Deckenmoore (selten in Lothringen)**

4 - Typologie en fonction de leur localisation topographique - Topographie

- 4.1. - Tourbières de cirque & de vallées (cirque, surcreusement, culots de glace morte...) - **Kesselmoore**
- 4.2. - Tourbières d'ensellement - **Sattelmoore**
- 4.3. - Tourbières de pente - **Hangmoore**

5 - Typologie de la microtopographie - Oberflächenstruktur

- 5.1. - Mardelles et dépressions sur substrat tourbeux - **Schlenken**
- 5.2. - Buttes - **Bülten**
- 5.3. - Sillons d'érosion - **Rüllen**
- 5.4. - Fossé périphérique - **Lagg, Randlagg**

*Typologie des tourbières acidiphiles des hautes-vosges - glossaire franco-allemand
Sauer-Moortypen - Französisch-Deutsch Wörterbuch*

Originalité et évolution récente de la flore et de la végétation des tourbières du Pays de Bitche (PNR des Vosges du Nord)

Serge MULLER

Laboratoire LIEBE, UMR CNRS 7146, Campus Bridoux,
Université Paul Verlaine – Metz, rue du Général Delestraint, 57070 METZ

Résumé :

La richesse floristique des tourbières du Pays de Bitche est connue depuis le début du 19^{ème} siècle (inventaires de F.W. SCHULTZ), mais il a fallu attendre les années 1980 pour que leur végétation fasse l'objet d'une étude phytosociologique (thèse de S. MULLER). Celle-ci a mis en évidence l'originalité biogéographique de la végétation des tourbières de ce territoire, présentant des affinités continentales nettes.

Par rapport aux inventaires réalisés par F.W. SCHULTZ, la flore de ces tourbières s'est nettement appauvrie (bien davantage que celle des tourbières des Hautes-Vosges), comme l'atteste la disparition de *Carex diandra*, *C. limosa*, *Eriophorum gracile*, *Hammarbya paludosa*, *Scheuchzeria palustris*. Ce sont en fait principalement des espèces des stades pionniers oligotrophes qui ont disparu, probablement à la suite de perturbations hydrologiques et trophiques de leurs habitats. Plus récemment, la tourbière de l'Erlenmoos a subi un drainage très pénalisant dans les années 1950 et celle de l'étang de Hanau les conséquences de la mise en valeur touristique de ce site. Ces dégradations ont conduit en particulier à la disparition de *Dactylorhiza traunsteineri* dans les deux sites.

La création de la Réserve Naturelle Nationale des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche en 1998 a permis d'assurer la protection des principaux sites tourbeux subsistants de ce territoire, à l'exception de ceux du terrain militaire de Bitche. Une élévation du niveau hydrique ainsi qu'un étrépage expérimental ont été réalisés dans la tourbière dégradée de l'Erlenmoos, dans l'objectif d'en restaurer (au moins partiellement) la biodiversité et la fonctionnalité.

Zusammenfassung :

Der Pflanzenreichtum der Moore des Bitcher Landes (Pays de Bitche) ist seit Beginn des 19. Jahrhunderts bekannt (Inventare von F.W. SCHULTZ), aber man musste bis 1980 warten, bis die Vegetation einer phytosoziologischen Studie unterzogen wurde (Doktorarbeit von S. MULLER). Diese zeigt die biogeographische Einzigartigkeit der Moorvegetation dieses Gebietes auf, die eine deutliche Verwandtschaft mit der

kontinentalen aufweist.

Im Vergleich zu dem von F.W. SCHULTZ erstellten Inventar ist die Flora dieser Moore deutlich verarmt (viel stärker als die Moore der Hautes-Vosges), wie dies der Verlust von *Carex diandra*, *C. limosa*, *Eriophorum gracile*, *Hammarbya paludosa* und *Scheuchzeria palustris* bezeugen. Es sind dies vor allem die Arten der oligotrophen Pionierstadien, die vermutlich wegen der hydrologischen und trophischen Störungen ihrer Standorte verschwunden sind. In jüngerer Zeit hatten das Moor von Erlenmoos unter einer Trockenlegung in den Jahren 1950 und das des Hanauer Weihers unter der touristischen Erschließung dieses Standortes gelitten. Diese Verschlechterungen führten vor allem zum Verschwinden von *Dactylorhiza traunsteineri* an diesen beiden Standorten.

Die Gründung des nationalen Naturreservates der Felsen und Moore des Bitcher Landes im Jahr 1998 ermöglichte den Schutz der verbliebenen Moore auf diesem Gebiet, mit Ausnahme der auf dem Militärgelände von Bitche gelegenen.

Mit dem Ziel, die Biodiversität und Funktionalität wieder herzustellen, wurden eine Anhebung des Wasserspiegels sowie eine experimentelle Entfernung unerwünschter Pflanzen in dem geschädigten Moor von Erlenmoos vorgenommen.

Summary :

The richness of the mires flora in the Pays de Bitche has been known since the beginning of the 19th century (inventories by F.W. SCHULTZ), but it took until the 1980's for their vegetation to be the object of a phytosociological study (thesis by S. MULLER). This brought to light the biogeographical originality of the mires vegetation in this region, which shows some interesting affinities on a continental scale.

By comparison with the inventories prepared by F.W. SCHULTZ, the flora in these mires has overall become more impoverished (more especially that of the High Vosges mires), as can be seen from the disappearance of *Carex diandra*, *C. limosa*, *Eriophorum gracile*, *Hammarbya paludosa*, *Scheuchzeria palustris*. It is in fact largely the species from the pioneering oligotrophic stages which have disappeared, probably due to the hydrological and trophic disturbances to their habitats. More recently, the Erlenmoos mire underwent drastic drainage in the 1950's, as did Hanau pond, as a result of the tourism upgrading of this site. These deprivations have led in particular to the disappearance of *Dactylorhiza traunsteineri* at both sites.

The creation of the National Nature Reserve "Rocks and Mires of the Pays de Bitche" in 1998 has enabled the protection of the principal surviving peatlands in the area to be assured, with the exception of those in the Bitche military training area. A rise in the water level, as well as experimental scraping, has been carried out in the Erlenmoos degraded mire, with the aim of restoring (at least in part) its biodiversity and functionality.

Mots clés : biogéographie, groupements végétaux, régression, dynamique.

Introduction : Historique et chronologie des études sur la flore et la végétation des tourbières du Pays de Bitche

Les premières données sur la flore des tourbières du Pays de Bitche datent du 19^{ème} siècle. Ce sont principalement les observations de F.W. SCHULTZ, consignées dans sa *Flora der Pfalz* (SCHULTZ, 1846) et dans ses «Grundzüge zur Phytostatik der Pfalz» (SCHULTZ, 1863), qui ont révélé la présence sur ce territoire d'un cortège remarquable d'espèces des tourbières comportant *Andromeda polifolia*, *Carex diandra*, *C. lasiocarpa*, *C. limosa*, *Drosera rotundifolia*, *D. intermedia*, *Eriophorum gracile*, *E. vaginatum*, *Hammarbya paludosa*, *Lycopodiella inundata*, *Rhynchospora alba*, *R. fusca*, *Scheuchzeria palustris*, etc.

Des données floristiques complémentaires ont ensuite été publiées par KIEFFER (1884, 1887), WALTER (1938), ISSLER (1942), ENGEL & KAPP (1961), MULLER (1985), MULLER & WOLFF (1991), WOLFF (1998), qui ont mentionné la présence de *Dactylorhiza traunsteineri* (en fait déjà mentionné comme sous-espèce de *D. incarnata* par SCHULTZ en 1863), *Eleocharis multicaulis*, *Littorella lacustris*, *Sphagnum molle*, etc., et actualisé la distribution des espèces.

L'étude phytosociologique de ces tourbières a été réalisée par MULLER (1986). Elle a permis de mettre en évidence l'originalité biogéographique de ces tourbières, marquée par la présence de groupements naturels à affinités boréo-continentales et de groupements d'origine anthropique, à caractères nettement subatlantiques (MULLER, 1988).

La cartographie précise des habitats de tourbières a été effectuée au début des années 2000 par l'Université de Metz et le Sycoparc, à l'occasion de la mise en place d'un site Natura 2000 sur ces tourbières. Des études écologiques et dynamiques complémentaires ont été ensuite engagées par le gestionnaire de la Réserve Naturelle (cf. article L. DUCHAMP, dans ce volume).

1. Les principaux groupements végétaux des tourbières du Pays de Bitche

Les principaux groupements végétaux identifiés (MULLER, 1986, 1988) sont les suivants (les chiffres romains entre parenthèses correspondent aux classes de fréquence des

espèces dans les groupements, cf. GUINOCHET, 1973) :

Le groupement de radeau flottant : *Caricetum lasiocarpae*

L'ensemble caractéristique de ce groupement est constitué des espèces *Carex lasiocarpa* (V), *C. rostrata* (V), *Comarum palustre* (V), *Eriophorum angustifolium* (V), *Menyanthes trifoliata* (II), *Juncus acutiflorus* (III), *Viola palustris* (III), *Calla palustris* (I).

Deux sous-associations ont été distinguées :

- la sous-association à *Sphagnum inundatum* (III), *S. auriculatum* (III), *S. subsecundum* (III), *Drepanocladus exannulatus* (III), *Potamogeton polygonifolius* (III), *Utricularia minor* (III),
- la sous-association à *Sphagnum fallax* (V), *S. palustre* (IV), *S. papillosum* (I), *Polytrichum commune* (III), etc.

La végétation amphibie sur sable tourbeux : *Eleocharitetum multicaulis*

L'ensemble caractéristique de ce groupement est constitué des espèces *Eleocharis multicaulis* (V), *Elatine hexandra* (II), *Juncus bulbosus* (V), *Potamogeton polygonifolius* (IV), *Utricularia minor* (IV).

Une variante à *Drosera intermedia* (V), *Sphagnum auriculatum* (V), *Rhynchospora alba* (IV), *R. fusca* (II), assure la transition avec le groupement du *Sphagno-Rhynchosporietum*.

La végétation des sables tourbeux humides et des gouilles : *Sphagno-Rhynchosporietum*

L'ensemble caractéristique est constitué de *Drosera intermedia* (V), *Rhynchospora fusca* (V), *R. alba* (V), *Lycopodiella inundata* (II).

Deux sous-associations ont été distinguées :

- une sous-association à *Sphagnum auriculatum* (V), *S. inundatum* (II), *Eleocharis multicaulis*, qui succède à l'*Eleocharitetum* à un niveau topographique plus élevé,
- une sous-association à *Sphagnum cuspidatum* (V), typique des gouilles oligotrophes.

Le groupement de tourbière ombro-soligène à sphaignes : *Sphagnetum magellanici*

L'ensemble caractéristique de ce groupement est constitué des espèces *Sphagnum magellanicum* (III), *S. rubellum* (V), *S. fallax* (V), *Aulacomium palustre*, *Polytrichum strictum* (III), *Mylia anomala* (II), *Drosera rotundifolia* (IV), *Vaccinium oxycoccus* (V), *Eriophorum vaginatum* (III),

Deux sous-associations ont été distinguées :

- la sous-association à *Sphagnum papillosum* (V), *Rhynchospora alba* (IV), *Carex lasiocarpa* (II), *Dactylorhiza traunsteineri* (II), qui assure la transition avec le *Caricetum lasiocarpae*,
- la sous-association *typicum*.

Le groupement de lande tourbeuse : *Juncetum squarrosi* ss-ass. *sphagnetosum compacti*

L'ensemble caractéristique de ce groupement est constitué des espèces *Calluna vulgaris* (V), *Vaccinium uliginosum* (II), *Molinia caerulea* (V), *Juncus squarrosus* (V), *Gentiana pneumonanthe* (IV), *Eriophorum vaginatum* (II), *Drosera rotundifolia* (III), *Sphagnum compactum* (V), *S. molle* (III), *Cladopodiella francisci* (III).

Une variante remarquable apparaît sur sol tourbeux nu (après étrépage), différenciée par *Lycopodiella inundata* (V), *Drosera intermedia* (II), etc

Le groupement de la pineraie tourbeuse: *Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris*

L'ensemble caractéristique de ce groupement est constitué des espèces *Pinus sylvestris* (V), *Betula pubescens* (IV), *Sorbus aucuparia* (III), *Frangula alnus* (V), *Vaccinium uliginosum* (V), *Molinia caerulea* (V), *Eriophorum vaginatum* (I), *Dryopteris carthusiana* (V), *Sphagnum magellanicum* (IV), *S. nemoreum* (V), *Polytrichum commune* (V), *Dicranum polysetum* (V), *Ptilium crista castrensis* (III), *Rhytidiadelphus loreus* (III), etc.

Ces différents groupements végétaux de tourbières constituent des zonations spatiales remarquables, reflétant les gradients hydriques et leurs variations, mais pouvant également correspondre à des dynamiques temporelles (MULLER, 1988).

2. La dégradation des tourbières et l'appauvrissement de la flore et de la végétation depuis les temps de F.W. Schultz

Les tourbières des Vosges du Nord ont sans aucun doute subi de nombreuses modifications de leur fonctionnement hydrique depuis le Moyen Âge, comme en atteste le grand nombre d'étangs artificiels figurant sur les cartes et atlas topographiques (comme l'atlas du Comté de Bitche, datant du 18^{ème} siècle, ou la carte de Cassini). Ces étangs avaient avant tout une fonction de production piscicole (JÉHIN, 2007). Les plans d'eau créés ont toujours conduit à des restructurations des unités de végétation en fonction des gradients hydriques et trophiques.

Toutefois ces modifications anthropiques ont provoqué un appauvrissement sensible de la flore des 'Schlenken' (dépressions) depuis les temps de F.W. SCHULTZ, se traduisant par la disparition (au début du 20ème siècle) de *Carex limosa*, *Scheuchzeria palustris*, *Hammarbya paludosa*, *Eriophorum gracile* (ENGEL & KAPP, 1961 ; MULLER, 1985, 2006, 2007).

Plus récemment, la tourbière d'Erlenmoos, qui avait fait l'objet d'une monographie par DUBOIS *et al.* (1937), a subi des opérations de drainage et de plantations résineuses, alors que celle de Hanau a fait l'objet d'aménagements touristiques à partir des années 1950. Ces deux aménagements ont conduit dans les deux sites à la disparition de *Dactylorhiza traunsteineri* (MULLER, 1985).

D'autre part, un incendie très important, avec feu de tourbe, a eu lieu en 1976 (l'année de la sécheresse) dans une tourbière à Neudörfel, qui était très peu connue, si ce n'est par une description sommaire par HATT (1937) à l'occasion d'une étude palynologique des tourbières du Nord-Est de la France.

3. Les actions de conservation et restauration mises en place

Des actions de conservation et de restauration des tourbières ont été engagées à partir de la création en 1975 du Parc naturel régional des Vosges du Nord. La première opération a consisté en la mise en place d'une convention entre le Parc et l'Armée (annexée à la Charte du Parc) pour la préservation des sites d'intérêt biologique (dont de remarquables tourbières) situées sur le terrain militaire de Bitche. Elle a été suivie, au cours des années 1980, par la création de Réserves Biologiques Domaniales (RBD) sur des sites domaniaux (étangs de Waldeck, Lieschbach, Hanau, Tabac, tourbières d'Erlenmoos, de Dauenthal, etc), ainsi que des Réserves Naturelles Volontaires sur les sites privés De DIETRICH ou communaux à Baerenthal et Bitche (GÉNOT & MULLER, 1985 ; MULLER & GÉNOT, 1989, 1991).

La mise en place d'un sentier pédagogique de découverte de la tourbière de Hanau dès 1979 (c'est-à-dire, il y a 30 ans !) a permis d'assurer une valorisation de la dernière zone tourbeuse préservée sur ce site et abritant des populations importantes de *Drosera intermedia*, *D. rotundifolia*, *Elatine hexandra*, *Myriophyllum alterniflorum*, *Rhynchospora alba*, *R. fusca*. Toutes ces espèces restent présentes en abondance au début du 21^{ème} siècle. Toutefois les altérations anthropiques ont conduit au développement de plus

en plus important d'espèces à caractère eutrophe, comme *Phragmites australis*, *Sparganium erectum*, *Alnus glutinosa*, qui colonisent les reliquats de végétation de tourbière.

La création en 1998 de la «Réserve Naturelle des rochers et tourbières du Pays de Bitche» a couronné l'ensemble de ces efforts, puisqu'elle comprend 26 sites sur 355 ha, dont les principaux sites tourbeux du Pays de Bitche, à l'exception notable des sites du terrain militaire de Bitche. Un premier plan de gestion de cette Réserve naturelle nationale a été établi par son gestionnaire et adopté par le Conseil National de la Protection de la Nature en 2004.

Ce plan de gestion prévoyait des actions de génie écologique expérimental sur le site de la tourbière de l'Erlenmoos, qui avait subi des dégradations par drainage et plantations résineuses. D'une part, le comblement de fossés de drainage a permis de rehausser le niveau de l'eau dans la partie aval de la tourbière et ainsi de relancer une activité turfigène grâce à l'extension des peuplements de *Carex rostrata*, *Sphagnum fallax* et *S. palustre*. D'autre part, une action expérimentale d'étrépage d'une zone de moliniaie de 50 m² a été réalisée en novembre 2006 en partenariat avec les étudiants de Master 2 «Conservation et Restauration des Ecosystèmes» de l'Université Paul Verlaine – Metz. Trois carrés permanents de 1 m² ont été mis en place en octobre 2007 et font l'objet d'un suivi annuel par l'Université. Les premiers résultats (2007 et 2008) font état de la réapparition d'espèces pionnières, comme *Juncus bulbosus*, *Carex serotina*, *C. demissa*, *Drosera intermedia*. Ce suivi sera continué au cours des prochaines années.

Conclusions

Les tourbières du Pays de Bitche présentent des affinités biogéographiques boréo-continentales, qui déterminent, en l'absence de perturbations, une dynamique naturelle d'assèchement et de colonisation forestière (pin sylvestre, bouleau pubescent), conduisant à des pineraies tourbeuses. Mais toutes les grandes tourbières de ce territoire ont subi au cours des derniers siècles des changements hydriques importants dus aux activités humaines (créations de plans d'eau, drainages, assèchements), qui ont modifié leur fonctionnement ainsi que la structuration des groupements végétaux présents et provoqué la disparition des espèces les plus sensibles à ces changements.

La création de plans d'eau à niveau variable y a toutefois favorisé l'expression des groupements végétaux (*Eleocharitetum* et *Sphagno-Rhynchosporietum*) déterminés par ces variations saisonnières de niveau hydrique.

En l'absence de perturbations naturelles suffisantes et du fait des modifications anthropiques de ces milieux, la conservation de leurs richesses peut y nécessiter une gestion conservatoire adaptée à leurs spécificités. Ainsi, à l'étang de Tabac, la mise en assec de l'étang (rupture de la digue) a conduit à un groupement pionnier de colonisation des vases tourbeuses. Cette communauté abrite deux espèces rares et protégées en Lorraine (et totalement absentes en Alsace !), *Eleocharis multicaulis* et *Rhynchospora fusca*. La dynamique spontanée de recolonisation forestière pourrait conduire à la fermeture du milieu et donc condamner ces espèces pionnières des habitats ouverts. Faut-il intervenir pour conserver les populations de ces deux espèces rares ? Qui doit prendre la décision ? Le gestionnaire de la réserve naturelle, le Comité consultatif de la réserve naturelle ? Plutôt, semble-t-il, le Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel et le Conseil National de la Protection de la Nature, dans le cadre de la validation du plan de gestion de la réserve naturelle, qui doit aborder cette question !



Lycopode inondé et Droséra intermédiaire

Bibliographie

- DUBOIS G., DUBOIS C., HEE A. & WALTER E. 1938. La végétation et l'histoire de la tourbière d'Erlenmoos en Wasgovie. *Bull. Soc. Hist. Nat. Moselle* 35 : 41-53.
- ENGEL R. & KAPP E. 1961. Vosges du Nord. *Bull. Soc. Bot. France* 106 (85^{ème} session extraordinaire Vosges-Alsace, 1959) : 105-111.
- GÉNOT J.C. & MULLER S. 1985. La protection de la nature dans le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord. *Courrier de la Nature*, n° 98 (juillet-août 1985) : 14-19.
- GUINOCHET M. 1973. Phytosociologie, Masson et Cie.
- HATT J.P. 1937. Contribution à l'étude pollinique des tourbières du Nord-Est de la France. *Bull. Service Carte Géol. Alsace-Lorraine* 4: 1-79.
- ISSLER E. 1942. Vegetationskunde der Vogesen. Fischer, Jena, 192 p.
- JÉHIN P. 2007. Rivières, étangs et pisciculture dans les Vosges du Nord avant la Révolution. *Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald* 13 (2006-2007): 91-112.
- KIEFFER J.J. 1884. Contribution à la faune et à la flore de Bitche. *Bull. Soc. Hist. Nat. Metz* 16 : 35-111.
- KIEFFER J.J. 1887. Suites aux contributions à la faune et à la flore de Bitche, avec addition de quelques espèces rares ou peu connues observées dans le reste de la Lorraine. *Bull. Soc. Hist. Nat. Metz* 17 : 1-48.
- MULLER S. 1985. La flore vasculaire du Pays de Bitche. Mise au point sur les espèces les plus remarquables. Evolution de leur distribution depuis les temps de F.W. SCHULTZ. Les actions de protection entreprises. *Bull. Ass. Phil. Als. Lorr.* 21 : 129-156.
- MULLER S. 1986. La végétation du Pays de Bitche (Vosges du Nord). Analyse phytosociologique. Application à l'étude synchronique des successions végétales. Thèse, Univ. Paris-Sud (Orsay).
- MULLER S. 1988. Affinités biogéographiques de la végétation des milieux tourbeux du Pays de Bitche (Vosges du Nord). Modalités de gestion conservatoire des milieux secondaires. *Actes du 15^e coll. intern. Phytosociologie : « Phytosociologie et Conservation de la Nature »*, Strasbourg, 1987, 441-452.
- MULLER S. 2006. Les plantes protégées de Lorraine. Distribution, écologie, conservation. Biotope, Mèze, (Collection Parthénope), 376 p.
- MULLER S. 2007. La régression des plantes protégées de Lorraine au cours du 20^{ème}

siècle établie à partir de la cartographie communale de leur distribution. *L.A.S.E.R. (Lorraine Atlas, Suivi, Etudes et Recherches)*, numéro spécial 1 – 2007 : Dixième anniversaire de Floraine, pp. 51-58.

MULLER S. & GÉNOT J.C. 1989. La stratégie de conservation de la flore menacée dans un Parc Naturel Régional ; le rôle de cet organisme. L'exemple du P.N.R. des Vosges du Nord. *Actes du colloque « Plantes sauvages menacées de France. Bilan et Protection »*, Brest, 1987, 287-296.

MULLER S. & GÉNOT J.C. 1991. La conservation des patrimoines naturels forestiers dans le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord. *Revue Forestière Française* XLIII, n° spécial, 51-56.

MULLER S. & WOLFF P. 1991. Nouvelles localités de *Sphagnum molle* Sull. en Europe moyenne. Etude phytosociologique comparative avec les stations nord-atlantiques de cette espèce. *Cryptogamie, Bryol. Lichénol.* 11(3), 235-244.

SCHULTZ F.W. 1846. Flora der Pfalz. [Reprint 1971, avec préface du Dr. N. HAILER, Pirmasens, Richter, 76 + 575 p., Nachtrag 35 p.].

SCHULTZ F.W. 1863. Grundzüge zur Phytostatik der Pfalz. *Jahresb. der Pollichia* 20-21: 99-319.

WALTER E. 1938. Compte-rendu botanique de l'excursion dans le pays de Bitche du 11 juin 1935. *Bull. Soc. Hist. Nat. Moselle* 35 : 77-82.

WOLFF P. 1998. Die hybridogenen *Dactylorhiza*-Formenschwärme in Mooren der Pfalz und der Nordvogesen. *Ber. Arbeitskrs. Heim. Orchid.* 15 (1) : 63-78.

Verbreitung und pflanzensoziologische Zuordnung der *Calla palustris*. Bestände im Biosphärenreservat Pfälzerwald

Holger HAUPTLORENZ und Britta PLANZ

Technische Universität Kaiserslautern

Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft - Paul-Ehrlich-Straße - D-67663 KAISERSLAUTERN

Zusammenfassung :

Im Rahmen einer Staatsexamensarbeit der TU Kaiserslautern wurden die von *Calla palustris* (Schlangenzwurz) und *Menyanthes trifoliata* (Fieberklee) im Biosphärenreservat Pfälzerwald überprüft, pflanzensoziologisch kartiert und dem bestehenden System zugordnet. Für *Calla palustris* wurden 19 und für *Menyanthes trifoliata* 9 aktuelle Standorte ermittelt. Es zeigt sich, dass ihr Verbreitungsschwerpunkt an Woog-Anlagen in den breiten und flachen Tälern des westlichen Pfälzerwalds liegt. Beide Arten bilden dort unabhängig voneinander Schwingdecken aus und kommen zusätzlich (in seltenen Fällen auch gemeinsam) in Zwischenmooren und Erlenbrüchen vor. *Calla* Bestände finden sich zudem auch noch in verschiedenen Röhrichten sowie in Ohrweiden-Gebüschchen. Allgemein lässt sich aktuell eine leichte Zunahme der *Calla* Vorkommen feststellen, allerdings sind die langfristigen Aussichten für die Bestandsentwicklung im Biosphärenreservat Pfälzerwald negativ. Der vorliegende Beitrag beschränkt sich auf die Erhebungen der *Calla palustris* Bestände und die daran abgeleiteten Ergebnisse.

Résumé :

Dans le cadre d'un travail de thèse à l'université technique de Kaiserslautern, les populations de *Calla palustris* (Calla des marais) et *Menyanthes trifoliata* (Trèfle d'eau) de la Réserve de Biosphère du Pfälzerwald ont été inventoriées, puis inscrites sur une carte topographique et classées dans le système phytosociologique actuel. Pour *Calla palustris*, 19 sites ont été découverts et pour *Menyanthes trifoliata*, 9. Il s'avère que les centres principaux de distribution, sur eaux stagnantes, se trouvent dans les vallées larges et plates de la partie ouest de la forêt du Palatinat. Les deux espèces forment, indépendamment l'une de l'autre, des tourbières tremblantes et se trouvent en outre ensemble (dans de rares cas) dans des bas marais et des aulnaies marécageuses. Des populations de *Calla* se trouvent également dans différentes roselières ainsi que dans des saulaies. De façon générale, on peut observer une légère augmentation des populations de *Calla*, bien que les perspectives à long terme pour le développement des peuplements dans la Réserve de Biosphères du Pfälzerwald soient peu favorables. Le

travail présenté se limite à l'inventaire des peuplements de *Calla palustris* et aux résultats qui en découlent.

Summary :

As part of a State examination thesis at the Technical University of Kaiserslautern, the stocks of *Calla palustris* and *Menyanthes trifoliata* in the biosphere reserve of the Palatinate Forest have been examined, classified in terms of plant sociology, and allocated to the existing system. For *Calla palustris* 19 current locations were determined, and 9 for *Menyanthes trifoliata*. It was shown that the focus of distribution is in pond areas in the wide, flat valleys of the western Palatinate Forest. Both types form floating mats independently of one another, and also occur (in rare cases even together) in transition mires and alder marshes. *Calla* stocks are also found in a number of reed banks and willow shrub areas. In general, at the present time there is some evidence of a slight increase in the presence of *Calla*, although the long-term prospects for the development of stocks in the biosphere reserve of the Palatinate Forest are negative. This contribution is restricted to the findings in respect of *Calla palustris* and the conclusions drawn from this.

Schlüsselwörter : *Calla palustris*, Schlangenwurz, Biosphärenreservat Pfälzerwald, Pflanzengesellschaften, Stillgewässer, Wooge, Schwingdecken, Röhricht, Erlenbruch, Zwischenmoore, Vorkommen, Bestandentwicklung.

1. Einleitung

Da viele Feuchtgebiete im Pfälzerwald im Laufe der Jahrhunderte nutzbar gemacht wurden, finden sich hier nur noch Reste oder Abwandlungen der ursprünglichen Biotope. Besonders die Täler wurden dabei immer wieder für die Bedürfnisse der Wiesen- und auch Forstwirtschaft umgestaltet (Melioration) und später zunehmend durch Siedlungen und Verkehrswege zerschnitten. In dieser Zeit wurden aber auch vielerorts Fließgewässer und Quellen künstlich aufgestaut, um die dabei entstandenen Stillgewässer zur Fischzucht oder Holztrift zu nutzen. Dabei sind je nach den Bedingungen vor Ort meist flache, viele Quadratmeter bis wenige Hektar große Stauflächen entstanden, die im südwestdeutschen Raum als Wooge bezeichnet werden. Durch deren unterschiedlichen Zeiten von Nutzung und Nutzungsaufgabe und den damit verbundenen Aufbau und Verfall der Anlagen entstanden auch immer wieder verschiedene Lebensräume (Habitate) für die ursprünglich beheimateten Lebensgemeinschaften

(Biozönosen) der Feuchtgebiete. Das Biosphärenreservat Pfälzerwald (BSR-PW) weist aktuell etwas über 1000 solcher künstlich (anthropogen) entstandener Stillgewässer auf, von denen sich ein großer Teil im Stadium der Nutzungsaufgabe befindet.

Von einigen Pflanzenarten ist bekannt, dass sie im BSR-PW häufig an Woogen vorkommen, so von *Calla palustris* (Schlangenzwurz, Abb. 2), aus der Familie der Araceae (Aronstabgewächse) und Klasse der *Monocotyledonae* (Einkeimblättrige), sowie *Menyanthes trifoliata* (Fieberklee) aus der Familie *Menyanthaceae* (Fieberkleegeewächse) und Klasse der *Dicotyledonae* (Zweikeimblättrige). Die weltweite Verbreitung beider Arten ist recht ähnlich, wobei das Areal von *Calla palustris* (Abb. 1a) etwas kleiner ist als das von *Menyanthes trifoliata*. MEUSEL *et al.* (1965) charakterisieren das Arealzentrum beider als «temp-b CIRCIPOL». Das BSR-PW befindet sich bezüglich *Calla palustris* genau an deren SW-Arealgrenze in Europa und bildet zusammen mit saarländischen Vorkommen einen etwas isolierten Vorposten (Exklave) im südwestdeutschen Raum (Abb. 1b). *Menyanthes trifoliata* ist demgegenüber weitaus verbreiteter. Die Vorkommen beider Arten sind an die nassen Sonderstandorte in der Nähe von Gewässern gebunden, wo sie bis zu 30 cm hohe sommergrüne Bestände mit Kriechrhizomen bilden (Abb. 3). Beide werden sowohl in der Roten Liste von Deutschland (KORNECK *et al.*, 1996) als auch in der Roten Liste von Rheinland-Pfalz (KORNECK *et al.*, 1988) als Kategorie 3 (gefährdet) eingestuft.

Nicht bekannt waren allerdings bisher die genaue aktuelle Verbreitung der beiden Arten im BSR-PW, ihre Vergesellschaftung (Phytozönosen) und ihre Bestandsentwicklung. Zudem war noch ungeklärt, wie stark die Bindungen dieser Arten an die Woog-Anlagen sind bzw. ob auch daran ungebundene Vorkommen dieser Arten existieren. Um dies näher zu untersuchen, wurde im Jahr 2008 von Britta Planz eine Staatsexamensarbeit zu diesem Thema im Fachbereich Experimentelle Ökologie der TU Kaiserslautern in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft durchgeführt (PLANZ, 2008).

Dieser Bericht beschränkt sich im Folgenden auf die Erhebungen zu den *Calla palustris*-Beständen und die daran abgeleiteten Ergebnisse.

2. Methode

Im Rahmen eines von der DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) geförderten Projektes «Konzept zur ökologischen Bewertung und Entwicklung der Wooge im Biosphärenreservat Pfälzerwald» (Aktenzeichen: 23747-33/2) waren seit 2004 - über das gesamte BSR-PW verteilt - 235 Wooge im Hinblick auf eine Vielzahl von Eigenschaften erfasst worden, u. a. auch zur Vegetation. Dabei fanden sich einige Wooge mit Vorkommen von *Calla palustris*. Ergänzend wurden bei einigen von ihnen die angrenzenden Talabschnitte untersucht. Darüber hinaus wurden alle aus Literaturhinweisen (ROWECK, 1987 ; ROWECK *et al.*, 1988 ; WESTPFALZ-GUTACHTEN, 1975-80) und durch Auskünfte von Sachkundigen (Walter Lang, Jürgen Walter) bekannte Vorkommen dieser beiden Arten überprüft. Einige der untersuchten Wooge liegen außerhalb der Grenzen des BSR, aber immer noch innerhalb des Naturraums Pfälzerwald. Trotz der Vielzahl der untersuchten Standorte handelt es sich nicht um eine flächendeckende Erhebung für den gesamten Pfälzerwald.

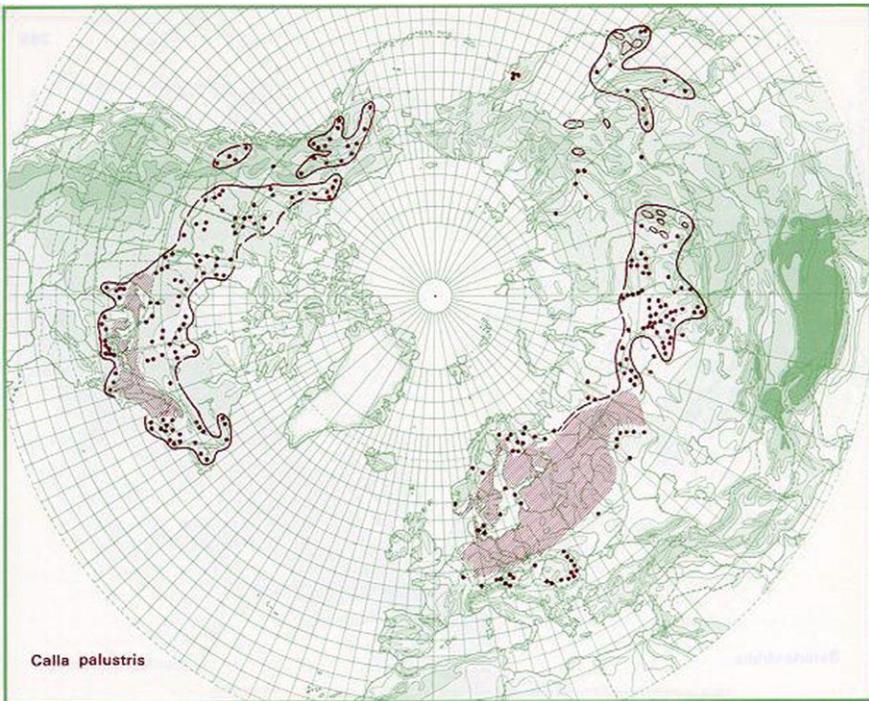


Abb. 1a : Verbreitungsgebiet (Areal) von *Calla palustris*.

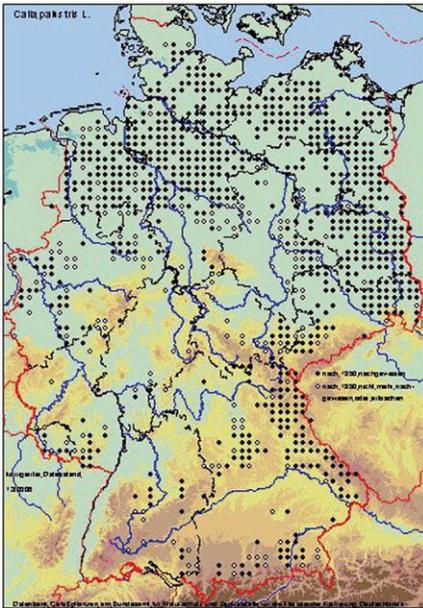


Abb. 1b : Vorkommen
in Deutschland nach
TK-25-Raster.

Die Flächen mit *Calla palustris* wurden nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (1964) mit einer nach WILMANN (1988) modifizierten Abundanz-Dominanz-Schätzskala kartiert. Hinsichtlich des Kriteriums der Mindestarealgröße mussten aufgrund der natürlichen Gegebenheiten Abstriche gemacht werden, so wurde die Aufnahme fläche meist durch die Bestandsgröße selber begrenzt. Größere oder fragmentierte Bestände an einem Standort wurden über mehrere Teil-Aufnahmen erfasst. Nicht weiter taxonomisch aufgegliedert wurden in dieser Untersuchung die Torfmoose (*Sphagnum sp.*) und die Weiden (*Salix sp.*), mit Ausnahme der Ohr-Weide (*Salix aurita*). Die systematische Einordnung der Erhebungen in pflanzensoziologische Einheiten erfolgte nach SCHUBERT *et al.* (2001). Zu deren Bewertung wurden auch POTT (1995), OBERDORFER (1977) und DIERSSEN & DIERSSEN (2001) einbezogen. Die Namen der ermittelten Pflanzengesellschaften richten sich im Ergebnis teil nach SCHUBERT *et al.* (2001) und werden aus Gründen der besseren Lesbarkeit ohne Autor und Jahr angeben. Die Angabe der Rote Liste-Einstufung weiterer Arten erfolgt nach KORNECK *et al.*, 1996 ; KORNECK *et al.*, 1988). Wenn offenes Wasser in der Aufnahme fläche vorhanden war, wurden zusätzlich dessen pH-Wert und die Leitfähigkeit erfasst. Die Bewertung der Hydrochemie erfolgte nach POTT & REMY (2000). Ein weiteres Vorkommen von *Calla palustris*, das die Autoren 2009 feststellten, wurde auch noch berücksichtigt, jedoch ohne pflanzensoziologische Kartierung und Einordnung.



Abb. 2 : *Calla palustris* (Schlangenwurz) am Ufer eines im Sommer zeitweise trocken fallenden Wooges.



Abb. 3 : Kriechende Rhizome von *Calla palustris* in einem Erlenbruch im Winter (vielleicht auch eine Erklärung für ihren deutschen Namen «Schlangenwurz»).

Nr.	TK-Blatt	Standort	Quelle und Jahr	Status 2008
c1	6512 / 1-3	Blechhammer	Lang 1959	kein Nachweis
c2	6512 / 1-3	Schmalzwoog	Lang 1992	kein Nachweis
c3	6512 / 3	Vogelwoog	Lang 1964	kein Nachweis
c4	6512 / 4	Letzbachtal	Hauptlorenz 2006, Planz 2008	Wiederfund
c5	6514 / 4	Wachenheimer Tal	Lang 1977	kein Nachweis
c6	6612 / 1	Gelterswoog	Roweck 1988, Planz 2008	Wiederfund
c7	6612 / 1	Breitenau	Lang 2006, Planz 2008	Wiederfund
c8	6612 / 1	kleiner Tümpel am Jagshausweiher	Roweck 1988, Planz 2008	Wiederfund
c9	6612 / 1	Jagdhausweiher	Müller 1931, Grünwald 1974, Roweck 1988, Planz 2008	Wiederfund
c10	6612 / 1	Walzweiher	Planz 2008	Neubeschreibung
c11	6612 / 1	Schopp, südwestlich des Bahnhofs	Lang 1975, Planz 2008	Wiederfund
c12	6612 / 2	unterster Woog im Hornungstal	Westpfalz-Gutachten (1977-80)	kein Nachweis
c13	6612 / 4	Oberhammer	Hauptlorenz 2004, Planz 2008	Wiederfund
c14	6612 / 4	Blickerweiher	Lang 1978, Planz 2008	Wiederfund
c15	6612 / 4	Wolfenweiher	Lang 1985, Roweck 1988, Planz 2008	Wiederfund
c16	6612 / 4	Meisertalweiher	Lang 1974	kein Nachweis
c17	6712 / 4	Woog am Lembach	Hauptlorenz 2004	kein Nachweis
c18	6811 / 3	Angelweiher	Planz 2008	Neubeschreibung
c19	6811 / 3	Eppenbrunner Teich	Lang 1980, Roweck 1988, Walter 1988, Planz 2008	Wiederfund
c20	6811 / 3	Spießweiher	Roweck 1988, Walter 1988, Planz 2008	Wiederfund
c21	6811 / 4	Wolfslöcher	Lang 1981, Walter 1988, Planz 2008	Wiederfund
c22	6812 / 2	Erster Woog oberhalb der Ederswooge	Walter 1999, Planz 2008	Wiederfund
c23	6812 / 2	Zweiter Woog oberhalb der Ederswooge	Walter 2006, Planz 2008	Wiederfund
c24	6812 / 2	Unterer Ederswoog	Lang 1968, Roweck 1988, Walter 1988, Planz 2008	Wiederfund
c25	6813 / 2	Völkersweiler, offengelassene Fischteiche	Lang 2001	kein Nachweis
c26	6911 / 1	unterster Woog im Finsterbachtal	Planz 2008	Neubeschreibung
c27	6912 / 1	Klößweiher	Lang 1968, Walter 1987, Roweck 1988, Planz 2008	Wiederfund
c28	6912 / 2	Ufer der Sauer nördlich von Hirschthal	Hauptlorenz 2009	keine Überprüfung

Tab. 1: Standortangaben für *Calla palustris* im BSR-PW.

3. Ergebnisse

3.1 Vorkommen von *Calla palustris* im BSR-PW

Für das BSR-PW konnten 28 Standortangaben von *Calla palustris* ermittelt werden (Tab. 1), wobei für 16 Angaben Wiederfunde und an drei Anlagen Neufunde verzeichnet wurden. An acht Angaben konnte kein aktueller Nachweis von *Calla palustris* mehr erbracht werden (Tab. 1). Es zeigen sich dabei zwei Zentren der Verbreitung im BSR-PW: An der Moosalbe und ihren Nebenbächen im Nordwesten sowie an den Gewässern des südwestlichen Pfälzerwalds (Abb. 4). Von den 19 aktuellen Vorkommen liegen 16 an Woogen und nur drei (c11, c21 und c28) an Standorten ohne Woog-Einfluss.

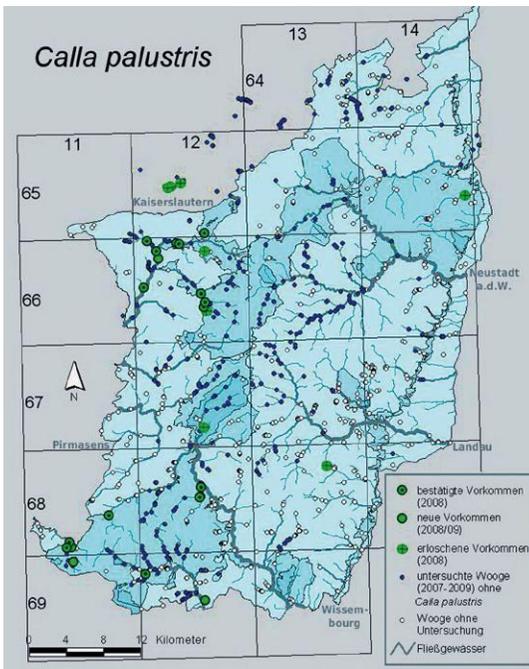


Abb. 4: Vorkommen von *Calla palustris* (Schlangenwurz) im BSR-PW.

3.2 Pflanzensoziologische Zuordnung der *Calla palustris*-Standorte

An 8 Standorten (c4, c8, c9, c14, c15, c23, c24, c27) ist *Calla palustris* mit sehr hohen Deckungswerten dominant in den Aufnahmen. Diese Vorkommen werden der Gesellschaft des *Callietum palustris* (Calla-Schwingedecke) zugeordnet. Die Gesamt-

artenzahlen sind mit 4 (Minimum)-(7) (Median) -9 (Maximum) recht niedrig und die häufigsten Begleiter wie *Potentilla palustris* (Sumpf-Blutwurz), *Lysimachia vulgaris* (Gewöhnlicher Gilbweiderich), *Scutellaria galericulata* (Sumpf-Helmkraut) und *Iris pseudacorus* (Sumpf-Schwertlilie) erreichen nur geringe Deckungen. Hier traten in einer Aufnahme zudem *Hydrocharis morsus-ranae* (Froschbiss, RL 3/3) und *Stratiotes aloides* (Krebsschere, RL 3/n) auf, wobei für letztere der Standort das einzige aktuelle Vorkommen im BSR-PW darstellt.

Bei 6 Standorten (c10, c13, c14, c18, c19) mit mittleren bis hohen Deckungswerten, aber ohne Dominanz von *Calla palustris* konnte nur eine Zuordnung zum Verband Cicution virosae (Schwingkantenriede) ermittelt werden (Abb. 5). Die Gesamtartenzahlen der 7 Aufnahmen sind mit 3-(8)- 22 sehr unterschiedlich und *Potentilla palustris* tritt als hochsteter Begleiter mit etwa gleichen Deckungsgraden wie *Calla palustris* auf. Zudem weist eine Hälfte der Aufnahmen mittlere *Sphagnum* (Torfmoos)-Deckungen auf, die andere dagegen ist *Sphagnum*-frei. An einem Standort (c14) kam mit *Ranunculus lingua* (Zungen-Hahnenfuß, RL 3/2) eine im BSR-PW sehr seltene Art vor.



Abb. 5: Schwingdecke mit *Potentilla palustris* und *Calla palustris* an einem Woog bei Trippstadt.

Zwei Standorte (c7, c10) wurden dem Glycerietum maximae (Wasser-Schwaden-Röhricht) zugeordnet, wobei die drei Aufnahmen eine Gesamtartenzahl von 7-(8)-9 aufweisen. *Calla palustris*, *Lysimachia vulgaris* und *Sphagnum*-Arten begleiten in geringer bis mittlerer Deckung den dominierenden *Glyceria maxima* (Großer Schwaden). Das Vorkommen an Standort c10 grenzt an einen Erlenbruch und wird stark durch überhängende Äste und Jungwuchs von *Alnus glutinosa* (Schwarz-Erle) beeinflusst. Am Standort c7, der aufgrund der Unzugänglichkeit von einigen Bereichen nicht komplett kartiert werden konnte, erreicht die mobile *Lemna minor* (Kleine Wasserlinse) höhere Deckungen.

An zwei Standorten (c7, c26) konnten drei Aufnahmen nur bis zur Ordnung des Phragmitetalia australis (Röhrichte) zugewiesen werden, mit einer Gesamtzahl von 10-(10)-12 Arten. *Calla palustris* tritt hier in geringer Deckung als Begleiter der dominierenden Arten *Glyceria fluitans* (Flutender Schwaden) oder *Veronica beccabunga* (Bachbungen-Ehrenpreis) auf. Weitere Begleiter mit geringer Deckung sind *Lysimachia vulgaris* und *Lycopus europaeus* (Ufer-Wolfstrapp).

An drei Standorten (c4, c9, c23) erfolgte eine Zuweisung zur Gesellschaft des Caricetum rostratae (Schnabelseggen-Ried), mit einer Gesamtartenzahl von 7-(10)-12. *Carex rostrata* (Schnabelsegge) ist auf diesen Flächen die dominierende Art und *Calla palustris* sowie *Potentilla palustris* treten als Begleiter mit geringer bis mittlerer Deckung auf. An den Standorten c4 und c9 kommen auch noch *Agrostis canina* (Sumpf-Straußgras) und *Sphagnum*-Arten mit mittleren bis hohen Deckungen vor, am Standort c4 zusätzlich noch *Glyceria fluitans*.

Für drei Standorte (c11, c13, c22) konnte nur eine Zuordnung zu der Klasse Phragmito-Magnocaricetea (Röhrichte und Großseggenriede) erfolgen, bei Gesamtartenzahlen in den einzelnen Aufnahmen von 4-(9)-9. *Calla palustris* besitzt hier nur eine geringe Deckung und verschiedene Röhrichts-Arten wie *Iris pseudacorus* oder *Typha latifolia* (Breitblättriger Rohrkolben) treten mit hoher Deckung auf. Die Bestände der Standorte c13, c22 lassen Eingriffe in die Fläche erkennen, wobei in allen Fällen, wohl aus Gründen der Wegesicherung, aufkommende Gehölze entfernt wurden.

An vier Standorten (c4, c6, c19, c22) wurden fünf Aufnahmeflächen der Gesellschaft der Sphagno-Alnetum glutinosae (Torfmoos-Moorbirken-Erlenbruch-Wald) zugeordnet, bei einer Gesamtartenzahl von 10-(11)-15. Hierbei zeigt sich ein dreischichtiger Aufbau mit Baumschicht aus *Alnus glutinosa*, am Standort c6 auch mit *Betula pubescens* (Moor-Birke) und *Frangula alnus* (Faulbaum) in der Aufnahmefläche. Die Mooschicht wird von verschiedenen *Sphagnum*-Arten aufgebaut und die Krautschicht dazwischen von *Calla palustris*, *Viola palustris* (Sumpf-Veilchen), *Dryopteris carthusiana* (Gewöhnlicher Dornfarn), *Scirpus sylvaticus* (Wald-Simse) und *Lysimachia vulgaris*.

Für drei Standorte (c11, c19, c21) konnten der vorher beschriebenen Gesellschaft sehr ähnliche Aufnahmen, mit einer Gesamtartenzahl von 8-(8)-10, nur dem Verband Alnion glutinosae (Schwarzerlenreiche Bruchwälder) zugeordnet werden (Abb. 6). Ausschlaggebend hierfür ist ein nur zweischichtiger Aufbau durch das Fehlen einer *Sphagnum*-Schicht. In der Krautschicht wachsen *Calla palustris* und *Peucedanum palustre* (Sumpf-Haarstrang), sowie ein, gegenüber der zuvor beschriebenen Gesellschaft,

höherer Anteil an Gräsern wie *Molinia caerulea* (Gewöhnliches Pfeifengras), *Scirpus sylvaticus* und *Juncus effusus* (Flutter-Binse).

Wiederum dreischichtig aufgebaut sind *Calla palustris*-Vorkommen an drei Standorten (c8, c18, c20) mit einer Gesamtartenzahl von 6-(7)-9. Diese wurden dem Frangulo-Salicetum aurita (Ohrweiden-Gebüsch) zugeordnet. *Salix aurita* (Ohr-Weide) bildet hier eine wenige Meter hohe Strauchschicht und die Mooschicht wird von verschiedenen *Sphagnum*-Arten aufgebaut. *Calla palustris* findet sich mit *Lysimachia vulgaris* und *Peucedanum palustre* in der Krautschicht dazwischen.

Zwei Standorte (c19, c23) wurden dem Verband Caricion lasiocarpae (Mesotrophe Zwischenmoor-Gesellschaften) zugeordnet (Abb. 7), bei Gesamtartenzahlen in den drei Aufnahmen von 13-(16)-22. Die Mooschicht aus *Sphagnum*- und *Polytrichum*- (Frauenhaarmos) Arten ist hier dominant und neben *Calla palustris* beteiligen sich *Potentilla palustris*, *Menyanthes trifoliata*, *Lysimachia vulgaris*, *Agrostis canina*, *Juncus acutiflorus* (Spitzblütige Binse) und *Hydrocotyle vulgaris* (Wasser-Nabel) am Aufbau der artenreichen Kraut- und Grasschicht. Typisch für diese Moor-Pflanzengemeinschaften sind auch die jeweils in einer Aufnahme auftretenden Arten *Drosera rotundifolia* (Rundblättriger Sonnentau, RL 3/3) und *Eriophorum angustifolium* (Schmalblättriges Wollgras).

Ein weiterer, den Autoren erst 2009 bekannt gewordener Standort weicht von den vorher genannten stark ab (Abb. 8). Am unteren Saarbach, knapp unterhalb der Kläranlage Schönau finden sich immer wieder kleinere und größere Bestände von *Calla palustris* zusammen mit *Myosotis scorpioides* (Sumpf-Vergissmeinnicht), *Phalaris arundinacea* (Rohr-Glanzgras) und *Callitriche obtusangula* (Nußfrüchtiger Wasserstern) im Ufersaum.

3.3 Zusammenfassende Betrachtung der Vorkommen und der pflanzensoziologischen Zuordnungen von *Calla palustris*-Beständen im BSR-PW (Tab. 2)

Calla palustris tritt oft mit hohen Deckungen in den von ihr besiedelten Flächen auf und kann auch monotone Dominanzbestände ausbilden. Diese treten meist an besonnten Uferabschnitten und Verlandungsbereichen von Woogen auf. Solche Bestände werden meist den Schwingkanten-Rieden bzw. der *Calla*-Schwingdecke zugerechnet und bilden die größten und vitalsten Bestände im BSR-PW. Bestände in Röhrichten, Zwischenmooren und Weidengebüschen haben eine geringere *Calla*-Deckung und eine höhere Gesamtartenzahl. In Erlenbrüchen kann die Deckung von *Calla palustris* auch

recht hoch sein. Das liegt daran, dass dort in den schattig-luftfeuchten Bereichen die Blätter sehr groß und dünn ausgebildet werden, während an stärker besonnten Standorten mit stärker wechselnder Luftfeuchte eher kleine, derb-fleischige Blätter gebildet werden. In der Nähe größerer Bestände an Woogen finden sich aufgrund verdrifteter Sprosstiele oftmals - teilweise temporäre - Initialstadien der Besiedlung in der etablierten Ufervegetation.



Abb. 6 : ausgedehnter *Calla palustris*-Bestand in der Krautschicht eines Erlenbruchs nahe Eppenbrunn.



Abb. 7 : *Calla palustris* als Bestandteil einer Zwischenmoor-Pflanzengemeinschaft an einem Woog-Ufer im Moosbachtal.

Pflanzensoziologische Zuordnung:	Standorte der Aufnahmeflächen von <i>Calla palustris</i> (2008)																			
	Calla-Vorkommen	c4 - Luftbachtal	c6 - Gatersweg	c7 - Breitenau	c8 - Kleiner Tümpel	c9 - Jägerhausweiher	c10 - Wiltzweiher	c11 - Schütz sw BfH	c13 - Oberhammer	c14 - Blockweiher	c15 - Wolfweiher	c18 - Argelweiher	c19m11 - Eppenbr. Teich	c20 - Spielweiher	c21 - Wolfstücher	c22-1 - oberh. Erlenweg	c23m12 - 2. oberh. Erlenw.	c24 - unterer Erlenweg	c26 - Finkenbachtal	c27 - Klöbweiher
Phragmito-Magnocaricetea (Röhrichte und Großseggen-Riede)	3						X	X							X					
Phragmitetalia australis (Röhrichte)	2		X																X	
Phragmiton australis (Großröhrichte)	2		X			X														
Glycerietum maximae (Wasser-Schwaden-Röhricht)	2		X			X														
Cicution virosae (Schwingkanten-Riede)	6					X	X	X	X	X	X	X	X							X
Calletum palustris (Calla-Schwingdecke)	8	X		X	X				X	X							X	X	X	X
Carici-Menyanthetum trifoliatae (Fiebertee-Gesellschaft)																				
Magnocaricetalia (Großseggen-Riede)																				
Caricion elata (Niedermoor-Großseggen-Riede)																				
Caricetum rostratae (Schnabelseggen-Ried)	3	X			X												X			
Scheuchzerio-Caricetea nigrae (Kleinseggen-Gesellschaften der Nieder- und Zwischenmoore sowie der Hochmoorschlenken)																				
Scheuchzerietalia palustris (Pioniergesellschaften von Moorschlenken)																				
Caricion lasiocarpae (Mesotrophe Zwischenmoor-Gesellschaften)	2												X				X			
Alnetea glutinosae (Erlenbruchwälder)																				
Alnetalia glutinosae (Erlenbrüche und Moorbirkenbruchwälder)																				
Alnion glutinosae (Schwarzerlenreiche Bruchwälder)	3						X						X	X						
Sphagno-Alnetum glutinosae (Torfmoos-Moorbirken-Erlenbruch-Wald)	4	X	X										X	X						
Carici-Salicetea cinerea (Strauchweiden-Bruchwälder)																				
Salicetalia auratae (Moor-Gebüsche)																				
Salicion cinerea (Grauweiden-Gebüsche)													X	X						
Frangulo-Salicetum aurita (Ohrweiden-Gebüsch)	3				X							X	X							

Tab. 2 : Übersicht der pflanzensoziologischen Zuordnung von *Calla palustris* im BSR-PW.

Die erfassten chemischen Parameter der Standorte (Tab. 3) zeigen alle die für Gewässer im Pfälzerwald typischen unbelasteten Verhältnisse an. Der pH-Wert liegt mit 5-7 meist im leicht sauren bis neutralen Bereich und die Leitfähigkeit mit <100 µS meist im silikatisch-oligotrophen, vereinzelt auch im mesotrophen Bereich. Dunkle Färbungen und geringe Sichttiefen zeigen zudem oft dystrophe Verhältnisse an.



Abb. 8 : *Calla palustris* im Ufersaum des Saarbaches unterhalb von Schönau.

Tab. 3 : Hydrochemische Parameter der Standorte.

<i>Calla palustris</i>			
Standort	pH-Wert	Leitfähigkeit [µS]	Dystrophie
c4	4,9 / 5,2	85 / 66	leicht / stark
c6	5,3	51	stark
c7	6,5	104	keine
c8	6,2	103	stark
c9	7,2	137	mäßig
c10	7,2	97	stark
c13	6,7	76	mäßig
c14	6,8	98	leicht
c15	6,7	78	leicht
c18	6,5	57	leicht
c19/m11	6,3	60	leicht
c20	6,5	42	stark
c21	6,1	60	leicht
c22	6,9	52	mäßig
c23/m12	6,7	54	mäßig
c24	6,5	54	mäßig
c26	6,7	58	mäßig
c27	6,2	67	keine
min	4,9	42	
median	6,5	60	
max	7,2	137	

4. Diskussion

4.1 Vorkommen an Woogen

Vergleicht man die ermittelten Vorkommen von *Calla palustris*, so zeigt sich, dass sie stark von Woog-Anlagen profitiert. Wie in Kap 3.1 beschrieben, kommt *Calla palustris* nur an drei Standorten ohne den Einfluss einer Woog-Anlage vor. Bei den besiedelten Woogen handelt es sich durchweg um flache, relativ sonnige und nur schwach durchströmte Standorte in Auen- und Mäandertälern. Zudem erfolgt, wenn überhaupt noch, nur eine extensive Nutzung dieser Anlagen, die wohl ursprünglich alle für die Fischzucht angelegt wurden. - An Woogen mit steilen Ufern sowie stärkerer Beschattung und Durchströmung, wie dies z. B. an vielen Anlagen der ehemaligen Triftbäche in den Kerbtälern des östlichen BSR-PW der Fall ist, konnten keine Vorkommen von *Calla palustris* ermittelt werden.

4.2 Pflanzensoziologische Zuordnung

Die Ergebnisse der pflanzensoziologischen Zuordnung von *Calla palustris* entsprechen den bekannten Zuordnungen für den deutschen Raum von POTT (1995) und OBERDORFER (1977). Nur bei der Bestimmung der Pflanzengesellschaften nach SCHUBERT *et al.* (2001) ergab sich ein Problem bei der Zuordnung der Schwingdecken mit starker Beteiligung von *Calla palustris*, ohne dass diese jedoch die dominante Art in der Aufnahme­fläche ist. Sie konnten mit dieser Methode nur dem nächst höherem Verband *Cicution virosae* Hejny 1960 (Schwingkantenriede) zugeordnet werden. (Die diesem Verband namensgebende Art *Cicuta virosa* (Wasserschierling, RL 3/3) wurde in keiner Aufnahme­fläche der Untersuchung vorgefunden. Sie kommt zwar an Woogen im BSR-PW vereinzelt im Uferbereich vor, jedoch wurde hier nie eine Beteiligung am Aufbau von Schwingrasen beobachtet, wie dies z.B. am Étang d'Haspelschiedt im BSR-NV der Fall ist.) Man könnte diese im BSR-PW mehrfach auftretende Pflanzengesellschaften vielleicht auch als schwach entwickelte *Calletum palustris* (OSVALD, 1923) Vanden Berghen 1952 (Calla-Schwingdecken) interpretieren, bei denen vornehmlich *Potentilla palustris* beim Aufbau der Schwingdecken dominiert (Abb. 5). Die synsystematische Einordnung der Gesellschaft des *Caricetum rostratae* Rübel 1912 (Schnabelseggen-Ried) ist in der pflanzensoziologischen Literatur umstritten. Von SCHUBERT *et al.* (2001), POTT (1995) und OBERDORFER (1977) wird sie dem Verband (Magno) *Caricion elata* W. Koch 1926 (Niedermoor-Großseggen-Riede) zugeordnet, nach DIERSSEN & DIERSSEN (2001) jedoch zum Verband *Caricion lasiocarpae* Osv. 1923 em. Dierß. 1982 (Mesotrophe Zwischenmoor-Gesellschaften) gestellt. Insbesondere die bei POTT (1995) beschriebene torfmoosreiche Untereinheit *Sphagno-Caricetum rostratae* Pass. 1964 (Torfmoos-Schnabelseggen-Ried) des Verbandes *Rhynchosporion albae* W. Koch 1926 (Schnabelried-Schlenken), zu denen man die Aufnahmen der Standorte c4 und c9 rechnen könnte, steht im BSR-PW wohl den Moorgesellschaften näher als den sonstigen Seggen-Ried-Gesellschaften. POTT (1995) sieht auch in der Gesellschaft des *Calletum palustris* (OSVALD, 1923) Vanden Berghen 1952 (Calla-Schwingdecke) eine Initial- bzw. Rumpfgesellschaft des Verbandes *Caricion lasiocarpae* Osv. 1923 em. Dierß. 1982 (Mesotrophe Zwischenmoor-Gesellschaften).

SCHUBERT *et al.* (2001) geben für das *Calletum palustris* (OSVALD, 1923) Vanden Berghen 1952 (Calla-Schwingdecke) die Rote Liste Gefährdungsstufe 2 (stark gefährdet) an, RENNWALD (2000) dagegen führt diese Gesellschaft ohne Gefährdungsein-

schätzung als Bestandteil der Ordnung Scheuchzerealia palustris Nordhagen 1937 (Zwischenmoor- und Schlenkengesellschaften; dies entspricht dem deutschen Namen «Pioniergesellschaften von Moorschlenken» nach SCHUBERT *et al.* (2001)).

Oftmals finden sich die Bestände von *Calla palustris* im BSR-PW an Übergangsbereichen verschiedener Ökosysteme und damit auch im Überschneidungsbereich verschiedener Pflanzengemeinschaften (Phytozoenosen). Der Art scheinen solche Übergangsbereiche (Ökotone), zu denen auch die Ufer von Gewässern zählen, als bevorzugte Lebensräume zu dienen, was sich auch durch häufige Randeinflüsse in den Aufnahmen bemerkbar macht. Insgesamt lässt sich bei *Calla palustris* eine große Übereinstimmung der Vergesellschaftung im BSR-PW mit den Angaben von MÜLLER (2008) für das BSR-NV feststellen.

4.3 Natürlichkeit der Arten im BSR-PW

Die Frage, ob *Calla palustris* im Gebiet des BSR-PW autochthon sind, lässt sich nur anhand der pflanzensoziologischen Untersuchung nicht beantworten, jedoch ergaben sich hierzu noch weitere Hinweise. So zählt KOWARIK (2003) *Calla palustris* zu der so genannten «Liebhaberbotanik», die seit dem 19. Jahrhundert bewusst ausgebracht wurde zum Zwecke der «Bereicherung der Natur». MÜLLER (1931) berichtet von im Jahr 1882 ausgesetzten *Hydrocharis morsus-ranae* und *Stratiotes aloides* bei Kaiserslautern. An den beiden untersten Woogen im Moosbachtal (c24, m13) wurden die beiden oben genannten Arten im Jahre 1958 zusammen mit Besatzfischen aus dem Fränkischen eingeführt und angesiedelt (mündliche Auskunft des Besitzers, 2008). Auch am Standort m4 gehen vermutlich mehrere Arten der Aufnahmefläche auf Ansalbung zurück. *Calla palustris* kommt aber auch in Erlenbrüchen, Weidengebüschen und Zwischenmooren vor, welche es schon vor den anthropogenen Woogen im Gebiet gab. Wahrscheinlich waren diese Phytozoenosen einst weitaus verbreiteter, da es meist deren Standorte waren, die durch Errichtung von Woogen, Siedlungen und Verkehrswegen in den Tälern vernichtet wurden. Ob *Calla palustris* im BSR-PW vorkam, bevor hier die ersten Menschen siedelten, ist ungewiss. In den Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Pfälzerwalds von WOLTERS (2007) findet sie sich in den Pollendiagrammen nicht wieder, allerdings deren aktuell häufigste Begleiter wie *Alnus*, *Salix*, *Lysimachia vulgaris*, *Potentilla* und *Sphagnum*. Auch *Calla palustris*-Samen, die laut RICKERT (2005) als Makrofossilien erhalten bleiben können, wurden hier nicht gefunden. Die untersuchten Torfablagerungen stammen jedoch aus einem Quell- und

einem Hangmoor zweier Kerbtäler des zentralen Pfälzerwalds (ca. 7 km westlich von Standort c13) und nicht aus Mooren der eher breiten und flachen Täler des BSR-PW, wo die aktuellen Vorkommen von *Calla palustris* anzutreffen sind.

4.4 Bestandsentwicklung

Aktuell

Allgemein lässt sich, wie von MULLER (2010) für das BSR-NV berichtet, auch im BSR-PW eine leichte Zunahme der *Calla palustris*-Bestände feststellen. Einige der im Laufe des Projektes «Wooge im Pfälzerwald» gesichteten Bestände hatten sich bis zur Kartierung im Jahre 2008 weiter ausgebreitet und in der näheren Umgebung aufgrund verdrifteter Sprosstiele auch Initialstadien neuer Besiedlungen gebildet (c4, c13, c15). Gut beobachten lässt sich eine solche Ausbreitung aktuell zwischen den Standorten c15 und c14 im Meisertal. Hier wurde im Winter 2007/08 der bachbegleitende Teil eines Fichtenforstes im Talabschnitt zwischen den beiden Woogen beseitigt, wodurch nun wieder Platz und Licht für die Entwicklung einer krautigen Ufervegetation angeboten wird. Und durch das stetige Angebot an Rhizomen von der oberhalb gelegenen Schwingdecke des Wolfenweiher setzte in den Jahren 2008/09 eine Besiedlung durch *Calla palustris* ein. Ob sie sich dort dann auch in dem aufkommenden Erlenbruch halten wird, bleibt abzuwarten. Der *Calla*-Bestand am Gelterswoog (c6) ist im Vergleich zu der Kartierung von ROWECK *et al.* (1988) um etwa 50m versetzt anzutreffen. Auf der nördlichen Stauwurzelseite wurde *Calla palustris* vollständig vom sich hier stark ausbreitenden meso- bis eutraphenten *Phragmites australis* (Schilf) verdrängt, auf der südlichen Seite hat sich jedoch ein Bestand im Moorbirken-Erlenbruch aufgebaut. An den Standorten im südwestlichen Teil des BSR-PW beobachtete Jürgen Walter (schriftliche Auskunft, 2009) über die letzten 10 Jahre eine Zunahme der *Calla*-Flächen an den Standorten c21 und c22, für den Standort c24 dagegen eine leicht rückläufige Entwicklung. Diese zeigt sich auch durch das Fehlen einer *Calla*-Schwingdecke auf der Wasseroberfläche wie noch bei ROWECK *et al.* (1988) beschrieben. Allerdings hat sich in diesem Tal der Bestand in Richtung weiter oben gelegener Wooge hin ausgedehnt (c22, c23). Weiter beobachten sollte man die Entwicklung von *Calla palustris* an dem ungewöhnlichen Standort in den Uferschwingkanten der Sauer (c28), zumal er sich auch auf den französischen Teil der Sauer ausbreiten und so ein grenzüberschreitendes Vorkommen im BSR-PW/NV bilden könnte.

Aussichten

Für einige Pflanzenarten ergeben sich durch die gegenwärtige Nutzungsaufgabe vieler Woog-Anlagen Möglichkeiten zur kurz- bis mittelfristigen Bestandsausweitung, da die zuvor durch Entschlammungs- und Entkrautungsmaßnahmen, Fischbesatz und damit verbundener Eutrophierung beeinflusste Stillgewässer am Verlanden, «Verwildern» und Re-oligotrophieren sind. Zudem leiden viele Anlagen seit Jahren unter Wassermangel, was eine Mineralisierung von nun entwässerten Torfen ermöglicht und damit bei vorhandenen oligotrophen Verhältnissen eine Verschiebung in Richtung mesotrophe Verhältnisse bewirkt. Nicht zu vernachlässigen sind hierbei auch die langfristigen Auswirkungen der anhaltend hohen anthropogenen N-Einträgen von etwa $20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ über die Atmosphäre (DIERSSSEN & DIERSSSEN, 2001). *Calla palustris* scheint derzeit von solchen Veränderungen im BSR-PW zu profitieren. Aber die bei völlig fehlender Unterhaltung und Pflege der Anlagen bzw. des Umfelds aufkommenden Gehölze dürften durch ihre zunehmende Beschattung den Rückgang der Bestände einleiten. Langfristig führt die Nutzungsaufgabe, die durch den Wassermangel noch beschleunigt wird, aber oft zum Verfall der ganzen Anlage und damit zum Verlust des Stillgewässers, wodurch sich die Bestände weiter verkleinern dürften - bis hin zum völligen Verlust des Vorkommens.

Berücksichtigt man die Szenarien zur Klimaentwicklung für das BSR-PW (PIK 2009), so dürften auch hier langfristig die Bestände nach einer ersten Phase der Zunahme wieder drastisch abnehmen. Die prognostizierte Erwärmung mit Wassermangel in den Sommermonaten dürfte zu einer Ausweitung von trocken gefallenem Uferbereichen an vielen Woogen führen. Dabei würde auch erst einmal ein höheres Angebot an flachen, mesotrophen Wasser-Land-Übergangsbereichen entstehen und damit die Verfügbarkeit von *Calla palustris* besiedelbaren Standorten kurzfristig erhöhen. Setzen sich aber Erwärmung und Wassermangel weiter fort, bedeutet dies wohl den kompletten Verlust vieler Stillgewässer und Feuchtgebiete, also eine starke Reduzierung der potentiell besiedelbaren – und aktuell schon rar vorhandenen – Sonderstandorte im BSR-PW.

Dank

Herzlich bedanken möchten sich die Autoren für die wichtigen Helfer bei dieser Untersuchung: Herrn Walter Lang für die Standortangaben der Flora der Pfalz (LANG & WOLFF, 1993), Herrn Jürgen Walter für die Exkursion in das Naturschutzgebiet «Quellbäche des Eppenbrunner Baches» und die Angaben zur Bestandsentwicklungen im südwestlichen Pfälzerwald, sowie Herrn Günther Jacobi für seine Auskünfte über die Wooge im Moosbachtal.

Anhang

Abkürzungen

BSR = Biosphärenreservat - PW = Pfälzerwald - NV = Nordvogesen

Abbildungen

Abb. 1a (Arealkarten Nordhemisphäre): <http://linnaeus.nrm.se/flora/>

Abb. 1b (Verbreitungskarten Deutschland): www.floraweb.de

Abb. 2 bis 11 (Standortkarte BSR-PW / Fotos): H. Hauptlorenz

Literatur

BRAUN-BLANQUET J. 1964. Pflanzensoziologie. 3. Auflage, Springer Verlag, Wien, 865 S.

DIERSSEN K. & DIERSSEN B. 2001. Moore. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 230 S.

GRÜNWALD A. 1974. Der Jagdhausweiher. Heimatkalender für Stadt und Landkreis Kaiserslautern. Gerhard Doktor Verlag, Rengsdorf, S. 107-111

KORNECK D., LANG W. & H. REICHERT 1988. Rote Liste der in Rheinland-Pfalz ausgestorbenen, verschollenen und gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen. Ministerium für Umwelt und Gesundheit Rheinland-Pfalz, 3. Auflage, Mainz, 43 S.

KORNECK D., SCHNITTLER M. & VOLLMER I. Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermatophyta) Deutschlands. Bundesamt für Naturschutz, Schriftenreihe für Vegetationskunde 28, Bonn-Bad Godesberg, S. 21-187.

KOWARIK I. 2003. Biologische Invasionen : Neophyten und Neozoen in Mitteleuro-

pa. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 380 S.

LANG W. & WOLFF P. 1993. Flora der Pfalz - Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen für die Pfalz und ihre Randgebiete. Veröffentlichung der Pfälzischen Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaft 85, Speyer, 444 S.

MEUSEL H., JÄGER E., RAUSCHERT S. & WEINERT E. 1965. Vergleichende Chronologie der Zentraleuropäischen Flora, Bd. 1-4, Fischer Verlag, Jena

MULLER S. 2010. *Calla palustris*, une espèce rare et protégée en France, actuellement en expansion dans les Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald* dans cet ouvrage.

MÜLLER E. 1931. Botanische Exkursion ins Weihergebiet Kaiserslautern. Pfälzische Heimatkunde Jahrgang 1931, Pfälzische Verlagsanstalt C. Liesenberg, Neustadt an der Weinstraße, S. 71-73

OBERDORFER E. 1977. Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Teil I. 2. Auflage, Fischer Verlag, Jena, 311 S.

OSVALD, 1923 is missing : (No literature, it's part of the name « *Callietum palustris* (Osvald 1923) van den Berghen 1952 »)

PIK (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung) 2009. Klimadaten und Szenarien für Schutzgebiete, http://pik-potsdam.de/wrobel/sg-klima-3/landk/popups/13/sgd_t3_2972.html, Datum des Abrufs: 12. November 2009, 14:33 UTC

PLANZ B. 2008. Verbreitung und pflanzensoziologische Zuordnung der *Calla palustris* und *Menyanthes trifoliata*-Bestände im Biosphärenreservat Pfälzerwald, Staatsexamensarbeit TU Kaiserslautern, 112 S.

POTT R. 1995. Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. 2. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 622 S.

POTT R. & REMY D. 2000. Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht: Gewässer des Binnenlandes. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 255 S.

RENNWALD E. 2000. Verzeichnis und Rote Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands. *Bundesamt für Naturschutz, Schriftenreihe für Vegetationskunde* Heft 35, Bonn-Bad Godesberg, 800 S.

RICKERT B.-H. 2005. Die postglaziale Entwicklungsgeschichte und aktuelle Vegetation des Kesselmoores «Schwarzsee». *Kieler Notizen zur Pflanzenkunde* Heft 33 , Kiel, S. 4-53

ROWECK H. 1987. Beiträge zur Biologie der Grünlandbrachen im Südlichen Pfäl-

- zerwald. *Pollichia-Buch 12*, Eigenverlag der POLLICHIA, Bad Dürkheim, 626 S.
- ROWECK H., AUER B. & BETZ B. 1988. Flora und Vegetation der dystrophen Teiche im Pfälzerwald. *Pollichia-Buch15*, Eigenverlag der POLLICHIA, Bad Dürkheim, 226 S.
- SCHUBERT R, HILBIG W & KLOTZ S. 2001. Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Deutschlands Fischer Verlag, Jena, 472 S.
- WESTPFALZ-GUTACHTEN 1975-1980. Gutachten der Landkreise und kreisfreien Städte der Westpfalz im Auftrag der Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz, unveröffentlicht
- WILMANN O. 1988. Ökologische Pflanzensoziologie 6. Auflage, Quelle und Meyer Verlag, Wiesbaden, 405 S.
- WOLTERS S. 2007. Zur spätholozänen Vegetationsgeschichte des Pfälzerwalds. *Eiszeitalter und Gegenwart* Band 56, Nr. 3, S. 139-161

Calla palustris L., une espèce rare et protégée en France, actuellement en expansion dans les zones humides des Vosges du Nord

Serge MULLER

Laboratoire des Interactions Ecotoxicité, Biodiversité Ecosystèmes (LIEBE),
Campus Bridoux, Université Paul Verlaine, rue du Général Delestraint, 57070 METZ

Résumé :

Calla palustris est une plante protégée au niveau national, qui figure parmi les espèces prioritaires du livre rouge de la flore menacée de France. Sa présence dans les Vosges du Nord est connue depuis le début du 19^{ème} siècle. Elle y a subi entre 1850 et 1950 une forte régression consécutive à la destruction et l'aménagement des zones humides. Depuis les années 1960, ses populations sont à nouveau en extension dans ce territoire. Cette dynamique positive semble déterminée par plusieurs facteurs favorables, (1) l'amplitude écologique assez large de l'espèce, tant au niveau de son habitat (tourbière à sphaignes, aulnaie, saussaie, bord de rivière ou d'étang) que de la chimie de l'eau (pH et niveau trophique), (2) les facultés de dissémination hydrochore et les aptitudes pionnières de l'espèce, et surtout (3) la diminution de la pression anthropique sur les zones humides et leur protection. Cette expansion pourrait se poursuivre au cours des prochaines décennies si cette espèce n'est pas affectée par les changements climatiques à venir.

Zusammenfassung :

Calla palustris ist eine auf nationaler Ebene geschützte Pflanze, die auf der roten Liste der in Frankreich gefährdeten Pflanzen steht. Seit Beginn des 19. Jahrhunderts ist ihr Vorkommen in den Nordvogesen bekannt. Zwischen 1850 und 1950 ist ihr Bestand infolge der Zerstörung und Verbauung der Feuchtgebiete stark zurückgegangen. Seit den 1960er Jahren breitet sie sich auf diesem Gebiet aber wieder aus. Diese Dynamik scheint durch verschiedene Faktoren begünstigt zu sein : (1) die ökologische Bandbreite der Art, sowohl bezüglich des Standortes (Torfmoore, Erlenwälder, Weidenbestände, Fluss- oder Teichufer), als auch ihrer Wasserchemie (pH-Wert und trophisches Niveau), (2) ihre hydrochore Verbreitungsfähigkeit und ihre Eignung als Pionierpflanze und vor allem (3) die Verminderung des anthropogenen Druckes in den Feuchtgebieten und die diesbezüglichen Schutzmassnahmen. Ihre Expansion könnte sich im Laufe der nächsten Jahre fortsetzen, wenn diese Art nicht von dem zu erwartenden Klimawandel in Mitleidenschaft gezogen wird.

Summary :

Calla palustris is a plant which is protected at the national level, and which features among the priority species in the Red Book of endangered flora in France. Its presence in the North Vosges has been known since the beginning of the 19th century. Between 1850 and 1950 it underwent a severe regression due to the destruction and subsequent management of the wetlands. Since the 1960's its populations have again been on the rise in this region. This positive dynamic seems to be determined by several favourable factors, (1) the sufficiently large ecological scope of the species, both with regard to its habitat (*sphagnum* peat bog, plantations of alder and willow, river banks, or ponds), as well as the chemistry of the water (pH and trophic level), (2) the hydrochorus dissemination propensity and the pioneering capabilities of the species, and, in particular, (3) the reduction in human pressure in the wetlands and their protection. This expansion could continue in the course of the next few decades if the species is not affected by the climate changes which may be coming.

Mots clés : aracée, biogéographie, distribution, dynamique, écologie, «liste bleue », naturalité.

Introduction

Calla palustris est une espèce circumboréale, qui atteint dans le Nord-Est de la France la limite Sud-Ouest de son aire de répartition eurasiatique (MEUSEL *et al.*, 1965). Cette espèce a toujours été rare dans notre pays et cantonnée à la Lorraine et l'Alsace, ce qui lui a valu d'être intégrée dans le tome 1 (espèces prioritaires) du livre rouge de la flore menacée de France (OLIVIER *et al.*, 1995), ainsi que dans la liste des plantes protégées au niveau national (DANTON & BAFFRAY, 1995). En Allemagne, l'espèce figure également dans la liste rouge des plantes menacées (KORNECK *et al.*, 1996), ainsi que dans la liste des plantes protégées (SEBALD *et al.*, 1998). Elle y est présente en particulier dans le nord du pays et disséminée ailleurs dans les massifs sili-ceux (GEIGER & KORNECK, 1982 ; HAEUPLER & SCHÖNFELDER, 1988). Pour le Palatinat, l'espèce est mentionnée dans une dizaine de carrés de 4 x 4 km² dans la cartographie de la flore de ce territoire (LANG & WOLFF, 1993). En Belgique, cette espèce est également très rare et protégée, mais elle a fait l'objet d'introductions récentes dans des plans d'eau (SAINTENOY-SIMON & DUVIGNEAUD, 1994 et 1998). Il en a été de même en France dans le massif jurassien à la tourbière de Frasne (FERREZ *et al.*, 2001).

Dans le Nord-Est de la France, l'espèce est connue de trois secteurs (MULLER, 2006):

- le Warndt, dans la région de Saint-Avold, où l'espèce a été mentionnée depuis le début du 19^{ème} siècle (GODRON, 1843/44, 1875 ; BARBICHE, 1870 ; LUDWIG, 1914). Elle y a été retrouvée en petite quantité à Merten il y a une dizaine d'années (CONSERVATOIRE DES SITES LORRAINS, 1995).
- La région de Gérardmer, où l'espèce avait été découverte au 19^{ème} siècle dans une dizaine de sites, principalement de la vallée de la Vologne (MOUGEOT, 1836, 1845; GODRON, 1843/44 ; BERHER, 1876). Elle y a subi une forte régression et ne subsistait plus de manière certaine, à la fin du 19^{ème} et au début du 20^{ème} siècle, qu'au lac de Retournemer (BERHER, 1887 ; GÉRARD, 1890 ; LEMASSON, 1920 ; ISSLER, 1942). Une nouvelle station, vraisemblablement d'origine spontanée, a été découverte en 1990 par J.C. RAGUÉ sur la rive Sud du lac de Longemer, situé à l'aval de celui de Retournemer. L'espèce a par ailleurs été réintroduite à partir de fragments de rhizomes en provenance du lac de Retournemer, dans 6 autres sites des environs de Gérardmer au cours des années 1960 à 90, dont 5 subsistent et prospèrent en 2006 (J.C. RAGUÉ, comm. pers.; MULLER 2006, 2008).
- Les Vosges du Nord, objet de la présente étude.

Sur le plan phytosociologique, *Calla palustris* est considéré en Allemagne comme une espèce caractéristique du *Cicuto-Caricetum pseudocyperi* (alliance du *Phragmition*), apparaissant également dans des groupements à *Carex rostrata* et des aulnaies de l'*Alnion glutinosae* (OBERDORFER, 2001). En Belgique, VANDEN BERGHEN (1952), puis de SLOOVER *et al.* (1979) ont noté sa présence dans des groupements de tourbières à sphaignes, où l'espèce forme une association pionnière nommée *Calletum palustris*.

1. Méthodologie

Après synthèse des informations bibliographiques et des bases de données disponibles (en particulier la base IRINA du SYCOPARC des Vosges du Nord), une prospection de l'ensemble des stations connues de *Calla palustris* a été réalisée au cours de l'été 2006, afin d'évaluer l'état des populations et de préciser les habitats de l'espèce. Des prélèvements d'eau ont été effectués dans la plupart des stations et ont fait l'objet d'analyses des principaux paramètres physico-chimiques.

2. Résultats et discussion

2.1 Evolution de la distribution de *Calla palustris* dans les Vosges du Nord

La présence de *Calla palustris* dans les Vosges du Nord est connue depuis les publications des flores de HOLLANDRE (1829) et SCHULTZ (1846), qui en mentionnent plusieurs localités, Bitche, Reiherswiller, Haspelschiedt, Zinsel, Sturzelbronn, Neunhoffen, etc. Sa distribution est ensuite complétée par KIRSCHLEGER (1857), qui fait état de sa présence à La Petite-Pierre (station connue depuis 1818), au Grafenweiher (probablement la station Sturzelbronn ou Neunhoffen de Schultz), ainsi que ‘derrière Zinswiller’. HIMPEL (1886) la note également dans un étang à Eschbourg. Sa persistance à l’Erbsenthal (= vraisemblablement station Zinsel de Schultz) est attestée par FREY (1901), WALTER (1938a) et ISSLER (1942), de même qu’à l’étang du moulin de La Petite-Pierre par WALTER (1907, 1938b). En 1959, à l’occasion de la session de la Société botanique de France en Alsace, seules 3 stations restent connues dans les Vosges du Nord, à l’Erbsenthal et aux étangs des moulins de La Petite-Pierre et d’Eschbourg (ENGEL & KAPP, 1961). L’extension de l’espèce vers l’aval dans la vallée du Niederbaechel est mise en évidence dans les années 1960, d’abord à l’étang du moulin d’Eschbourg (ENGEL & KAPP, 1961 ; KAPP, 1962) où l’espèce avait toutefois déjà été mentionnée par HIMPEL (1886), puis au Hammerweiher (KAPP, 1967). Par contre, l’espèce n’est plus observée au 20^{ème} siècle dans les autres stations des Vosges du Nord, en particulier aux étangs de Grafenweiher et de Haspelschiedt, asséchés au 19^{ème} siècle (JÉHIN, 2007), puis remis en eau pour le deuxième.

Deux stations nouvelles sont ensuite découvertes dans les années 1970, à l’étang du Pfaffenbruch (sur le terrain militaire de Bitche) et à l’étang de Baerenthal (MULLER, 1977 ; ENGEL *et al.*, 1979 ; MULLER, 1985). Trois localités nouvelles sont encore ajoutées au cours des dernières années :

- Sur les bords de la Sauer (observation de JC Génot au milieu des années 1990). L’espèce est toujours présente, mais reste très ponctuelle en 2006. Une plante a toutefois atteint l’amont de l’étang de Fleckenstein, où l’espèce devrait trouver un habitat tout à fait favorable à son expansion.
- En bordure d’un étang dans le vallon du Maïbaechel (station découverte par D. Pujol en 2001). Sa superficie s’est étendue au cours des dernières années.
- Dans une aulnaie à Ratzwiller (station découverte S. Morelle en avril 2006).

Son expansion apparaît aussi très nette dans la vallée de la Zinsel du Nord. Une prospection détaillée des berges de cette rivière au début des années 1990, à l'occasion d'une étude de la végétation aquatique des cours d'eau (MULLER, 1991; THIÉBAUT & MULLER, 1997), n'avait permis d'observer que sa présence ponctuelle sur un site en bordure de cette rivière à l'aval de Baerenthal. Elle est actuellement distribuée sur tout le cours de la rivière jusqu'à Untermühlthal, où elle était totalement absente en 1990.

Par contre, la disparition récente de *Calla palustris* est à déplorer à la station historique de l'étang du Moulin de La Petite-Pierre, où les travaux d'aménagement de l'étang à des fins récréatives, réalisés par son propriétaire, auront eu raison de l'espèce !

2.2 Habitats et écologie de l'espèce

Dans les Vosges du Nord, l'espèce apparaît dans des habitats variés :

- dans des groupements pionniers oligo-mésotrophes de tourbières à *Carex rostrata*, *C. lasiocarpa*, *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata* et *Sphagnum fallax* (pouvant être rattachés à l'alliance du *Caricion lasiocarpae*) et plus rarement, dans des groupements à *Sphagnum magellanicum* (alliance du *Sphagnion magellanicum*) résultant de l'évolution dynamique du groupement précédent (Erbsenthal, Maïbaechel),
- dans des groupements de cariçaies mésotrophes à *Carex paniculata* (vallée de Niederbaechel),
- dans des groupements mésotrophes d'hélophytes de bord de rivière à *Phalaris arundinacea*, *Myosotis palustris*, *Nasturtium officinale* (bordure de la Zinsel du Nord et de la Sauer),
- dans des saussaies oligotrophes à *Salix aurita* (Pfaffenbruch),
- dans des aulnaies mésotrophes de l'*Alnion glutinosae* (étang de Baerenthal, aulnaie de Ratzwiller, autrefois à l'étang du moulin de La Petite-Pierre).

Des analyses d'eau ont été réalisées dans ces différentes stations qui confirment la grande amplitude physico-chimique de ses habitats aquatiques. En effet, l'espèce s'y développe dans des eaux faiblement minéralisées (conductivité généralement de l'ordre de 100 $\mu\text{S/cm}$, parfois seulement 50 $\mu\text{S/cm}$). Le pH peut y être très acide (inférieur à 5), mais se situe souvent près de la neutralité. Les teneurs en nutriments (nitrates et phosphates) peuvent être très faibles, mais dépasser exceptionnellement 1 mg de N-NO₃ et 200 μg de P-PO₄. L'alcalinité des eaux est également faible, avec une alcalinité en général inférieure à 1 meq/l. Ainsi *Calla palustris* apparaît dans les Vosges du Nord aussi bien dans des eaux très acides et très oligotrophes que dans des eaux à pH neutre et niveau mésotrophe.

Site	Commune et dépt.	Auteur et année de 1ère mention	Echelle de superficie en 2006	Habitat
Tourbière de l'Erbenthal	Eguelshardt (57)	Schultz, 1846	5	Aulnaie et tourbière
Etang du moulin de La Petite-Pierre	La Petite-Pierre (67)	Kirschleger, 1857	Disparition constatée en 2006	Aulnaie mésotrophe
Etang du moulin d'Eschbourg	Eschbourg (67)	Himpel, 1886	4	Cariçaie de fond de vallon
Hammerweiher	Neuwiller-lès-Saverne (67)	Kapp, 1967	4	Bord d'étang
Pfaffenbruch	Roppeviller (57)	Muller, 1977	3	Sausaie oligotrophe
Etang de Baerenthal	Baerenthal (57)	Muller, 1977	5	Aulnaie mésotrophe
Zinsel du Nord	Baerenthal (57)	Muller, 1991	5	Bord de rivière
Sauer	Lembach (67)	Génot, ~1995 (comm. pers.)	1	Bord de rivière
Maïbaechel	Neuwiller-lès-Saverne (67)	Pujol, 2001 (comm. pers.)	3	Bord d'étang
Ratzwiller	Ratzwiller (67)	Morelle, 2006 (comm. pers.)	3	Aulnaie mésotrophe

Tableau n°1 : Les stations actuelles et récentes de *Calla palustris*, classées par ancienneté de première mention. Echelle de superficie : 1 (< 1m²), 2 (de 1 à 10 m²), 3 (de 10 à 100 m²), 4 (de 100 à 1000 m²), 5 (> 1000 m²).

Site	pH	Conductivité µS/cm	NO ₃ mgN/l	NH ₄ mgN/l	PO ₄ µgP/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	Alcalinité meq/l	Ca mg/l
Pfaffenbruch	4,6	58	0,02	0,01	0	2,4	15,9	0,01	3,5
Erbenthal	5,9	47	0,01	0,01	2	2,4	4,9	0,24	5,2
Maïbaechel	6,8	102	0,25	0,05	7	4,8	22,7	0,25	9,4
Baerenthal	7,0	91	0,30	0,22	29	8,3	7,0	0,44	7,4
Ratzwiller	7,1	294	0,11	0,17	235	7,1	11,9	2,71	36,3
Sauer	7,3	109	0,43	0,22	51	9,0	9,3	0,53	9,3
Zinsel du Nord	7,3	85	0,38	0,07	22	7,8	6,7	0,38	7,1
Eschbourg	7,8	139	1,08	0,04	86	7,2	9,4	0,89	14,9

Tableau n° 2 : Résultats d'analyses d'eau dans différentes stations à *Calla palustris* des Vosges du nord, prélèvements effectués le 24/08/2006.

3. Discussion et conclusion

Il apparaît clairement que *Calla palustris*, qui avait subi une nette régression dans les Vosges du Nord au cours du 19^{ème} siècle (disparition en particulier dans les grands étangs de Grafenweiher et Haspelschiedt, probablement à la suite de leur assèchement), est en expansion depuis une cinquantaine d'années dans ce territoire, comme en attestent les découvertes de nouvelles stations, de même que son expansion constatée dans les vallées du Niederbächel et de la Zinsel du Nord. Cette extension de l'espèce dans les Vosges du Nord semble liée à trois causes principales :

- l'amplitude écologique assez large de l'espèce, tant en ce qui concerne ses habitats (stade pionnier de tourbière, bord de rivière ou d'étang, saussaie ou aulnaie hygrophile), que les caractères chimiques de l'eau (pH, minéralisation et niveau trophique). Cette large amplitude avait déjà été constatée dans d'autres régions d'Europe (DE SLOOVER *et al.*, 1979).
- les potentialités de dissémination hydrochore de l'espèce, tant par graines que par des fragments de rhizomes (EBER, 1983), ainsi que ses aptitudes pionnières lui permettant de coloniser des berges de rivières ou de plans d'eau.
- la déprise agricole dans les vallées des Vosges du nord et l'abandon de l'entretien systématique des berges des cours d'eau et des étangs, qui permet l'expansion de cette espèce pionnière et compétitive, favorisée par davantage de « naturalité » (GÉNOT *et al.*, 2005, 2006). Sa disparition récente à la station classique et historique de l'étang du moulin de La Petite-Pierre confirme sa sensibilité aux aménagements anthropiques de ses habitats. Les importantes « stations sources » de l'Erbenthal et de Baerenthal bénéficient en outre d'une protection réglementaire par leur intégration dans la Réserve Naturelle Nationale des Rochers et Tourbières du Pays de Bitche.

Cette extension récente s'est probablement effectuée principalement par une dissémination de fragments de rhizomes (multiplication végétative) par voie aquatique de l'amont vers l'aval des ruisseaux, ceci pour les stations du Niederbaechel (à partir de la population source de l'étang du moulin de La Petite-Pierre), de la Zinsel du Nord (à partir de celle de l'étang de Baerenthal) et de la Sauer (à partir des stations situées à l'amont de ce cours d'eau dans le Palatinat). Les stations nouvelles de Maïbächel et de Ratzwiller pourraient résulter d'une dissémination ornithochore par des oiseaux aquatiques, à moins que ces stations ne fussent plus anciennes et méconnues, en particulier la deuxième. Une introduction anthropique volontaire, à partir des stations existantes ou même de plantes issues du commerce, ne peut être exclue, mais semble ici peu probable. Cette espèce peut donc être intégrée pour les Vosges du Nord dans la «liste bleue», correspondant à des espèces rares et menacées qui ont reconstitué leurs

populations par suite des mesures de protection de leurs habitats (GIGON & LANGENAUER, 1998 ; GIGON *et al.*, 2000).

Nul doute que cette expansion se poursuivra encore au cours des prochaines années et peut-être décennies par la colonisation de l'étang de Fleckenstein et de l'aulnaie de Zinswiller (l'espèce avait déjà été signalée dans cette commune du temps de KIRSCHLEGER !). Peut-être aussi réapparaîtra-t-elle bientôt à l'étang de Haspelschiedt (où elle était également présente au 19^{ème} siècle), à la condition évidemment qu'elle ne soit pas affectée par les changements climatiques.

Malheureusement, de nombreuses autres espèces remarquables de ce territoire n'ont pas connu pareille évolution favorable, puisque plusieurs autres espèces végétales protégées des habitats aquatiques (comme *Myriophyllum alterniflorum*, *Oenanthe fluvialis*, *Potamogeton alpinus* et *P. x variifolius*) ont subi une forte régression au cours de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle (THIÉBAUT & MULLER, 1997 ; MULLER, 2006). De nombreuses espèces des habitats tourbeux présentes au 19^{ème} siècle (*Carex diandra*, *C. limosa*, *Eriophorum gracile*, *Hammarbya paludosa*, *Scheuchzeria palustris*, etc) ont même totalement disparu des Vosges du Nord depuis le début ou le milieu du 20^{ème} siècle (MULLER, 1985, 2006). Certaines espèces des milieux sableux terrestres (*Pulsatilla vernalis*, *Helichrysum arenarium* et *Hypochaeris maculata*) ont également disparu de ce territoire au cours des 25 dernières années à la suite des modifications de leurs habitats (MULLER, 2006). De manière globale, la richesse floristique des Vosges du Nord est plutôt en diminution depuis un demi-siècle et la situation de *Calla palustris* doit donc être considérée comme une heureuse exception à cet appauvrissement général !

Remerciements

Ils s'adressent à Jean-Claude GÉNOT et Sébastien MORELLE (SYCOPARC des Vosges du Nord), qui m'ont fait part de leurs découvertes de stations nouvelles de *Calla palustris*, ainsi qu'à Philippe ROUSSELLE (Université Paul Verlaine – Metz), qui a réalisé les analyses d'eau.

Bibliographie

- BERHER E. (coll. J. CH. CHAPPELLIER) 1876. Catalogue des plantes vasculaires du département des Vosges. *Ann. Soc. Emul. Dép. Vosges* 15 (2) : 83-342.
- BERHER E. 1887. Flore des Vosges (Phanérogames, Muscinées et Lichens). *In* : Le département des Vosges (Ed. Louis L.), tome II, 654 p.
- CONSERVATOIRE DES SITES LORRAINS 1995. Expertise écologique du site naturel protégé de Creutzwald/Merten (57). Conservatoire des Sites Lorrains, Fénétrange, 24 p. + annexes.
- DANTON P. & BAFFRAY M. 1995. Inventaire des Plantes protégées en France. Nathan, Paris, 294 p.
- DE SLOOVER J., GOOSSENS M. & LEBRUN J. 1979. Un groupement à *Calla palustris* en Ardenne. *Colloques phytosociologiques* 7, Sols tourbeux, Lille, 1978, pp. 203-212.
- EBER W. 1983. Untersuchungen zur Populationsbiologie von *Calla palustris* L. *Tuxeniana* 3 : 417-421.
- ENGEL R. & KAPP E. 1961. Les Vosges du Nord. *Bull. Soc. Bot. France* 106 (85^{ème} session extraordinaire Vosges-Alsace, 1959) : 105-111.
- ENGEL R., MULLER S. & WOLFF P. 1979. Contribution à l'étude de la flore des Vosges du Nord. *Bull. Soc. Hist. Nat. Moselle* 42 : 105-111.
- FERREZ Y., PROST J.F., ANDRÉ M., CARTERON M., MILLET P., PIGUET A. & VADAM J.-C. 2001. Atlas des plantes rares ou protégées de Franche-Comté. Besançon, Société d'horticulture du Doubs et des amis du jardin botanique. Turriers, Naturalia Publications, 312 p.
- FREY G. 1901. Ausflug nach Bitsch am 14. Juli 1901. *Mitteilungen der Philomatischen Gesellschaft Elsass-Lothringen* 2: 367-369.
- GEIGER G. & KORNECK D. 1982. *Calla palustris* L. in Rheingau-Taunus. *Hessische Floristische Briefe* 31 : 18-21.
- GÉNOT J.-C., DUCHAMP L. & MORELLE S. 2005. Place de la naturalité dans le Parc naturel régional des Vosges du Nord, Réserve de Biosphère. *Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald* 12 (2004-2005): 33-42.
- GÉNOT J.-C., DUCHAMP L. & MORELLE S. 2006. Laisser faire la nature : exemples dans le parc naturel régional des Vosges du Nord, réserve de biosphère. *Le*

Courrier de la Nature n° 228 (juillet-août 2006) : 22-28.

GÉRARD F. 1890. Notes sur quelques plantes des Vosges. Additions et Rectifications. *Rev. Botan., Bull. Mens. Soc. Fr. Bot.*, février à juillet 1890 : 51-240, 449-471 ; tiré à part : Toulouse, impr. Vialelle et Cie, 216 pp.

GIGON A. & LANGENAUER R. 1998. Blue data books – an encouraging new instrument for restoration and conservation. *Applied Vegetation Science* 1: 131-138.

GIGON A., LANGENAUER R., MEIER C. & NIEVERGELT B. 2000. Blue lists of threatened species with stabilised or increasing abundance – a new instrument for conservation in Switzerland. *Conservation Biology* 14: 402-413.

GODRON D.A. 1843/44. Flore de Lorraine. Nancy, Grimblot ; 3 vol. : I = 330 pp. (1843), II = 305 pp. (1843), III = 274 + 81 pp. (1844).

HAEUPLER H. & SCHÖNFELDER P. 1988. Atlas der Farn- und Blütenpflanzen der Bundesrepublik Deutschland. Ulmer Verlag, Stuttgart, 768 pp.

HIMPEL J. St. 1886. Verzeichniss der Gefässpflanzen der Umgebung Pfalzburgs. XV. Jahresbericht, Progymnasium zu Pfalzburg, Schuljahr 1885-86, pp. 3-28.

HOLANDRE J.J.J. 1829. Flore de la Moselle ou Manuel d'herborisation, précédé d'un aperçu géologique sur le département et d'éléments abrégés de botanique. Metz, Mde Thiel ; 2 vol. : vol. I = LXXVIII + 291 p., vol. II = {IV} + pp. 293-712.

ISSLER E. 1942. Vegetationskunde der Vogesen. *Pflanzensoziologie*, 5, Jena, 192 p.

JÉHIN P. 2007. Rivières, étangs et pisciculture dans les Vosges du Nord avant la Révolution. *Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald* 13 (2006-2007): 91-112.

KAPP E. 1962. Espèces et stations nouvelles de la Flore de l'Alsace et des Vosges. *Bull. Ass. Phil. Als. Lorr.* 11 : 179-214.

KAPP E. 1967. Contribution à la connaissance de la flore d'Alsace et des Vosges, 2^{ème} série. *Bull. Ass. Phil. Als. Lorr.* 13 : 237-255.

KIRSCHLEGER F. 1857. Flore d'Alsace et des contrées limitrophes. Strasbourg, Paris, Baillièrre, vol. 2, CXXIV + 612 p.

KORNECK D., SCHNITTLER M. & VOLLMER I. 1996. Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (*Pteridophyta* et *Spermatophyta*) Deutschlands. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 28, 21-187.

LANG W. & WOLFF P. (Hrsg.), 1993. Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen für die Pfalz und ihre Randgebiete. Verlag der Pfälzischen Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, Speyer, 444 pp.

- LEMASSON C. 1920. Guide du botaniste herborisant au Hohneck et aux environs de Gérardmer. *Bull. Soc. Sciences de Nancy*, série 4, 1 : 79-109.
- MEUSEL H., JÄGER E. & WEINERT E. (Hrsg.), 1965. Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Fischer Verlag, Jena, 583 pp.
- MOUGEOT J.B. 1836. Considérations générales sur la végétation spontanée du département des Vosges. *Ann. Soc. Emul. Dépt. Vosges* 2 (3) : 573-631.
- MOUGEOT J.B. 1845. Considérations générales sur la végétation spontanée (phanérogames et cryptogames) du département des Vosges. *In* : Statistique du Département des Vosges, vol. 1 (eds H. Lepage & C. Charton) : 163-516. Peiffer, Nancy.
- MULLER S. 1977. Note sur la répartition de *Calla palustris* L. *Société d'Histoire Naturelle de la Moselle, Activités*, année 1977, pp. 23-24.
- MULLER S. 1981. Compte rendu de l'excursion botanique du 17 juin 1979 dans la région de Drulingen et La Petite Pierre. *Bull. Soc. Hist. Nat. Moselle* 43 : 257-260.
- MULLER S. 1985. La flore vasculaire du Pays de Bitche. Mise au point sur les espèces les plus remarquables. Evolution de leur distribution depuis les temps de F.W. SCHULTZ. Les actions de protection entreprises. *Bull. Ass. Phil. Als. Lorr.* 21 : 129-156.
- MULLER S. 1991. Une séquence de groupements végétaux bio-indicateurs d'eutrophisation croissante des cours d'eau faiblement minéralisés des Basses Vosges gréseuses du Nord. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 310, série III, 509-514.1990.
- MULLER S. 2006. Les plantes protégées de Lorraine. Distribution, écologie, conservation. Biotope, Mèze, (Collection Parthénope), 376 p.
- MULLER S. 2008. Compléments 2007 à l'atlas communal des plantes protégées de Lorraine. *Willemetia* 55 : 3-8.
- OBERDORFER E. 2001. Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. 8th. ed. Ulmer, Stuttgart, 1051 p.
- OLIVIER L., GALLAND J.P. & MAURIN H. 1995. Livre rouge de la flore menacée de France. Tome 1 : Espèces prioritaires. Collection Patrimoines Naturels, 20. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.
- SAINTENOY-SIMON J. & DUVIGNEAUD J. (avec le concours de BRUYNSEELS G., CORBISIER D. & POHL H.), 1994. A propos d'espèces introduites dans les étangs. *Adoxa*, 3 : 11-13.
- SAINTENOY-SIMON J. & DUVIGNEAUD J. 1998. Les plantes aquatiques ou

palustres introduites. L'étang de Vieux-Barse dans la vallée du Hoyoux.. *Adoxa* 20/21 : 35-40.

SCHULTZ F.W. 1846. Flora der Pfalz. Speyer [Reprint 1971, avec préface du Dr. N. HAILER, Pirmasens, Richter, 76 + 575 p., Nachtrag 35 p.].

SEBALD O., SEYBOLD S., PHILIPPI G. & WÖRZ A. 1998. Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Bd 8, Ulmer, Stuttgart.

THIÉBAUT G. & MULLER S. 1997. Répartition et écologie des macrophytes protégés *Potamogeton polygonifolius*, *P. alpinus*, *P. variifolius*, *Myriophyllum alterniflorum*, *Oenanthe fluviatilis*, dans les ruisseaux de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 5 (1996) : 105-120.

VANDEN BERGHEN C. 1952. Contribution à l'étude des bas-marais de Belgique. *Bulletin du Jardin botanique d'Etat de Bruxelles* 22 : 1-64.

WALTER E. 1907. Die Farnpflanzen der Umgebung von Zabern. *Mitt. Phil. Ges. Als. Lothr.* 3 (5): 547- 581.

WALTER E. 1938a. Compte-rendu botanique de l'excursion dans le pays de Bitche du 11 juin 1935. *Bull. Soc. Hist. Nat. Moselle* 35 : 77-82.

WALTER E. 1938b. Excursion à Saverne et à La Petite Pierre le dimanche 6 juin 1937. *Bull. Ass. Phil. Als. Lorr.* 8 (5) : 432-435.



Calla palustris (photo J.C Ragué)

Verbreitung der Torfmoose in SW-Deutschland anhand dreier Arten

Adam HÖLZER & Amal HÖLZER

Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe

Ref. Botanik, Erbprinzenstr. 13, D-76133 KARLSRUHE

Zusammenfassung :

Verbreitungskarten der Torfmoosarten *Sphagnum palustre*, *S. subnitens* und *S. fallax* in SW-Deutschland und dem nördlichen Elsass werden präsentiert. Sie zeigen, daß Torfmoose eine viel weitere Verbreitung haben, als man dies zunächst annimmt. Vor allem außerhalb der Moore, z. B. in den Wäldern oder auf extensiven Weiden war bisher die Kenntnis sehr lückig, die Moore oder Naturschutzgebiete dagegen wurden immer wieder besammelt.

Karten unterschiedlicher Auflösung (Messtischblatt(MTB)-Karten, Quadrantenkarten und Punktkarten) werden einander gegenübergestellt. Die Darstellung durch MTB-Karten (Auflösung etwa 12 x 12 km) ist zu grob bei der großen Variabilität der Landschaft in SW-Deutschland. In Zukunft sollten deshalb vermehrt Quadrantenkarten (etwa 6 x 6 km) oder noch besser Punkt-Karten erarbeitet werden.

Die Verbreitungskarten geben teilweise die Aktivitäten der Sammler bzw. Bearbeiter wieder. Das Gebiet des Feldberges im Südschwarzwald fällt sowohl bei der Zahl der Belege wie auch bei der Artenzahl pro Messtischblatt auf, da es eine hohe Attraktivität für Sammler hatte und auch sehr unterschiedliche Biotoptypen dort vertreten sind.

Vor allem im östlichen Teil des Kartierungsgebietes sind immer noch große Lücken zu schließen. Hier könnten lokale Sammler einen großen Beitrag leisten. Allerdings ist auch festzustellen, dass dort viele Standorte verloren gingen, vor allem durch Änderungen der Bewirtschaftung.

Gute Übereinstimmung zwischen den Torfmoosen und der Geologie bestehen in SW-Deutschland.

Manche Torfmoosarten sind selten, die wenigsten sind aber als direkt bedroht anzusehen, einige, wie *Sphagnum quinquefarium*, breiten sich in manchen Gebieten sogar aus.

Résumé :

Des cartes de distribution de trois espèces de sphaigne *Sphagnum palustre*, *S. subnitens*, et *S. fallax* dans le sud-ouest de l'Allemagne et le Nord de l'Alsace sont présentées. Elles

montrent que la distribution de ces mousses est plus étendue qu'on ne le pensait au début. La connaissance de cette distribution présentait de grandes lacunes, surtout en dehors des tourbières, par exemple dans les zones de forêts ou de pâturages extensifs. Les tourbières et sites protégés ont, en revanche, été souvent étudiés.

Des cartes de précision différente (cartes 1/25.000 «TK25», cartes à carroyage divisés en quatre et cartes à points géodésiques) sont comparées. La présentation sur des cartes TK25 (précision 12 km x 12 km) n'est pas assez précise étant donné la grande variabilité du paysage dans le sud-ouest de l'Allemagne. À l'avenir, on devrait donc utiliser davantage des cartes à carroyage divisés en quatre de 6 km x 6 km ou, mieux encore, des cartes à points géodésiques.

Les cartes donnant la distribution des espèces de sphaignes reflètent en partie les activités des collecteurs et des scientifiques en charge de l'étude. La région du Feldberg, dans le sud-ouest de la Forêt Noire, se distingue par le nombre d'échantillons ainsi que par le grand nombre d'espèces par carte « TK25 », car cette région présente beaucoup d'intérêt pour les collecteurs et qu'on y trouve des biotopes très différents.

Dans la partie Est de la région à cartographier, il existe encore de grandes lacunes à combler. Là, des collecteurs locaux pourraient apporter une contribution importante. Il faudrait cependant noter que de nombreuses stations y ont disparu essentiellement à cause du changement du mode de gestion. Dans le sud-ouest de l'Allemagne, une bonne concordance existe entre les tourbières et la géologie.

Quelques espèces de sphaigne sont rares, mais très peu d'entre elles doivent être considérées comme directement menacées. D'autres, comme *Sphagnum quinquefarium*, sont même en progression dans quelques régions.

Summary :

Distribution maps of the peat moss types *Sphagnum palustre*, *S. subnitens*, and *S. fallax* in SW Germany and the northern Alsace region are presented. They show that peat mosses have a far wider distribution than initially assumed. Outside the mires in particular, such as in woodlands or extensive pastureland, knowledge was extremely patchy, while bogs and fens or nature reserves were constantly being analyzed.

Maps of resolutions (plane-table sheet maps (MTB), quarter divided grid maps, and point maps) are compared with one another. The representation provided by plane-table maps (resolution of some 12 x 12 km) is too rough, given the highly variable nature of the landscape in SW Germany. In future, therefore, quarter divided grid maps (about 6 x 6 km) should increasingly be used, or, even better, point maps.

The distribution maps are in part a reflection of the activities of collectors or specialists. The Feldberg area in the southern Black Forest is striking both with regard to the number of instances as well as the number of types per plane-table sheet, such that it has become highly attractive to collectors and a very wide range of different biotope types are represented there.

There are still large gaps to be filled in the eastern part of the mapping area in particular. Local collectors could make a major contribution here. It has also been found, however, that many locations in the region have been lost, in particular due to changes in the management of the land.

There is good concordance between the peat mosses and the geology in SW Germany. Some peat moss types are rare, but only a few are to be regarded as directly endangered, while some, such as *Sphagnum quinquefarium*, are even expanding in certain areas.

Schlüsselwörter : *Sphagnum*, Torfmoose, SW-Deutschland, Verbreitung, Ökologie

1. Einleitung

Die Gattung *Sphagnum* umfaßt weltweit etwa 200 Arten, deren Vorkommen aber nur zu einem Teil auf Moore beschränkt ist. In Baden-Württemberg kommen 31 Arten vor, die man 6 Sektionen zuordnet. In Rheinland-Pfalz und dem Elsaß kommt noch eine weitere Art hinzu.

Die Torfmoose gelten selbst unter Bryologen als schwierige Moosgruppe, was aber wohl hauptsächlich daran liegt, dass man zur sicheren Bestimmung zu Mikroskop und Rasierklinge greifen muß. Viele Arten sind zudem sehr variabel in ihrem Erscheinungsbild, was dem Anfänger große Probleme bereiten kann. Dies trifft zwar auch bei anderen Moosgruppen zu, nur ist es dort nicht so allgemein bewußt, da diese nicht so attraktiv sind wie die Torfmoose. Hat man aber diese Eingangshürde überwunden und sich in die Problematik eingearbeitet, so sind die Torfmoose ein faszinierendes Arbeitsgebiet. Sie sind nämlich sehr gute Indikatoren für den Zustand ihres Habitates und spiegeln dies in ihrem Erscheinungsbild und der mikroskopischen Morphologie wieder. Dies gilt nicht nur für die aktuelle Vegetation sondern auch für ihre Reste in Torfkörpern, wo Torfmoose oft mehr als 80 % der Substanz ausmachen können.

Die Anfänge der Kartierung der Torfmoose in Baden-Württemberg durch das Staatliche Museum für Naturkunde in Karlsruhe liegen schon in den frühen 80er Jahren, wo vor allem in den Mooregebieten des Schwarzwaldes und Oberschwabens gesammelt wurde, um das *Sphagnum*-Herbar im Naturkundemuseum Karlsruhe zu erweitern und Erfahrungen für die Interpretation subfossiler Moosvorkommen in Bohrkernen aus Mooren zu sammeln. Ab Mitte der 80er Jahre traten diese Arbeiten gegenüber der Bearbeitung von Bohrkernen aus Mooren (HÖLZER & HÖLZER, 1987, 1995,

2003) stark zurück, wurden dann aber Mitte der 90er Jahre wieder aufgenommen und vor allem in den Jahren 1997-2003 intensiviert, um bessere Grundlagen für den Torfmoosteil des Grundlagenwerkes «Die Moose Baden-Württembergs» zu schaffen. Die Verbreitungskarten in diesem Werk waren aber auf Messtischblatt(MTB)-Basis, was bei der großen Vielfalt des Landes nicht befriedigend war. Deshalb war damals schon an die Fortführung und Intensivierung der Kartierung und Ausdehnung über die Landesgrenzen hinweg gedacht worden.

2. Methoden

Als Grundlage für die Verbreitungskarten sollten am Anfang alle verfügbaren Literaturangaben und Herbarbelege verwendet werden, wie das auch für die restlichen Moose bei «Die Moose Baden-Württembergs» (NEBEL & PHILIPPI, 2000, 2001, 2005) weitgehend geschehen ist. Beim Vergleich der Literatur und den dazu vorhandenen Herbarbelegen stellte sich dann aber sehr schnell heraus, daß für seriöse Karten nur eingesehene Belege herangezogen werden konnten. Eine Ausnahme wurde am Anfang nur mit den pflanzensoziologischen Vegetationsaufnahmen von DIERSSEN & DIERSSEN (1984) gemacht, die aber im Vergleich zu den Herbarbelegen nur einen geringen Anteil ausmachen und inzwischen meist durch modernere Punkte überdeckt sind.

Für die Verbreitungskarten wurden die Herbarien in Stuttgart und Karlsruhe und teilweise Heidelberg ausgewertet. Allerdings waren in den Herbarien nur etwa 2000 Belege aus SW-Deutschland bei Beginn der Arbeiten vorhanden. Deshalb mußte intensiv gesammelt werden. Derzeit (Anfang 2010) umfaßt unsere Datenbank über 11.000 Belege aus SW-Deutschland und wird durch weiteres Sammeln stetig ausgebaut. Für weitere Funde sind wir dankbar, die dann in eine umfassendere Arbeit einfließen werden.

Die neueren Fundpunkte wurden zuerst auf Quadrantenbasis, dann in Gauss-Grüger-Koordinaten aufgenommen. Soweit es möglich ist, wurden von den älteren Funden die Koordinaten ergänzt. Entgegen älteren Karten (HÖLZER, 2005 ; HÖLZER & HÖLZER, 2006) wurde ein weiterer Zeitabschnitt mit Funden ab dem 01.01.2000 eingeführt, da es sich gezeigt hatte, dass viele der Funde zwischen 1975 und 2000 inzwischen verschwunden waren.

Als Datenbankprogramm und zum Ausdruck der Karten wurde FLOREIN von W. SUBAL und R. MAY verwendet, das für den Zweck der Kartierung von der Zentralstelle für die Floristische Kartierung Deutschlands zur Verfügung gestellt wurde.

3. Hinweise zum Bestimmen der Torfmoose

Vor jeder Bestimmung ist das Beobachten vor Ort von großer Wichtigkeit, um die Art in ihrer ganzen Bandbreite kennen zu lernen. Man sammelt nicht nur ein paar einzelne Pflanzen sondern einen kleinen Rasen, soweit es die am Standort vorhandene Menge zulässt und Naturschutzgesetze diesem nicht widersprechen. Nicht nur das Aussehen der Pflanzen in frischem, sondern auch in trockenem Zustand ist wichtig (Glanz, Reihigkeit und Welligkeit der Astblätter).

Zum Transport werden die Rasen in Zeitung eingeschlagen. Als wenig geeignet erwies sich das Sammeln in kleinen Papiertüten, wie es zur Zeit verbreitet ist, da die Pflänzchen darin schon nach leichtem Antrocknen zerbröseln. Zeitung dagegen saugt schon einen großen Teil des Wassers auf und hält die Pflanzen feucht. Für Herbarbelege werden die Pflanzen dann möglichst bald zu Hause unter Druck zwischen Zeitungen bei mehrmaligem Wechsel gepreßt. Ungepreßte Pflanzen zerbrechen bei der Lagerung in den üblichen Falttüten sehr leicht.

Für das Beobachten im Gelände braucht man eine Lupe mit 10–20facher Vergrößerung, für die Arbeit zu Hause empfiehlt sich eine Stereolupe mit 10–50facher Vergrößerung, die bei dem Abpräparieren der Stammlätter oder beim Schneiden des Stammes oder der Astblätter benötigt wird.

Stammlätter entnimmt man mit einer Uhrmacherpinzette von verschiedenen Stellen des Stammes, da diese in der Form variieren können. Vor allem bei untypischen Pflanzen, die unter stark wechselnden Standortbedingungen gewachsen sind, empfiehlt es sich, bei mehreren Pflanzen an mehreren Stellen des Stammes Blätter zu entnehmen. Vor allem am Anfang der Beschäftigung mit dieser Gruppe sollte man nur gut entwickelte Pflanzen zum Studium heranziehen.

Für die Untersuchung der Porenverhältnisse braucht man ein Mikroskop mit etwa 400facher Vergrößerung. Da die Poren oder gar Membranverdünnungen bei direkter Beobachtung schlecht zu erkennen sind, muß angefärbt werden. Hierfür hat sich eine alkoholische Lösung von Kristallviolett bewährt. Für eine kritische und sichere Ansprache muß man Querschnitte durch die Astblätter anfertigen. Das oft erwähnte vorsichtige Durchfokussieren läßt die Form der Chlorocyten nur in Ausnahmefällen gut erkennen.

4. Ergebnisse

Hier werden nur drei in SW-Deutschland vorkommenden Arten vorgestellt, die sich durch ein besonders interessantes Verbreitungsmuster auszeichnen und die ihren Verbreitungsschwerpunkt außerhalb der großen Moore haben. Anhand der Verbreitungskarten sollen auch die unterschiedlichen Darstellungen verglichen werden. Der Kartierungsstand in der vorliegenden Arbeit ist inzwischen deutlich besser als im dritten Band der «Moose Baden-Württembergs».

4.1 *Sphagnum palustre* L.

S. cymbifolium Hedw., nom. illeg.; *S. obtusifolium* Ehrh.

Kahnblättriges Torfmoos

4.1.1 Kurzbeschreibung der Art

Meist kräftige Pflanzen, grün, gelblich, bräunlich, selten an den Spitzen blass fleischfarben, nie rot. Nach den ersten Frösten zeigen vor allem Rasen in höheren Lagen eine rotbraune Farbe, die aber nicht mit dem Rot von *S. magellanicum* verwechselt werden kann. Spiralfasern in der Ast- und Stammhyalodermis. Querschnitte durch die Chlorocyten etwa trapezförmig. Recht häufig findet man die Pflanzen auch mit Kapseln. Die Art gehört zur Sektion *Sphagnum*, die bei uns 5 Arten umfasst.

4.1.2 Bemerkungen zur Artunterscheidung

In der Praxis kann die Unterscheidung dieser Art von *S. papillosum* und *S. centrale* Probleme bereiten. WARNSTORF (1903, 1911) beschreibt nämlich von *S. papillosum* die Varietäten «*subleve*» und «*leve*» ohne Papillen. Zur Abwägung der Schwierigkeiten lohnt sich ein Studium der Arbeit RUSSEWS (1893), der schon damals sehr trefflich zu diesem Thema bemerkt, »weshalb es nicht ein *cymbifolium* (= *palustre*) oder *intermedium* (= *centrale*) mit Papillen geben sollte«, wenn es ein *S. papillosum* ohne Papillen gibt. Interessanterweise unterscheidet WARNSTORF (1883) nur drei Arten bei dieser Sektion (*S. cymbifolium*, *S. medium* und *S. austini*). Sogar im Jahre 1890, also nur wenige Jahre vor seinen großen Publikationen, führt er *S. papillosum* noch als Varietät von *S. palustre*, nicht einmal als Subspezies, was er extra betont.

Bei *S. centrale* ist die Chlorocytenwand auf der Ober- und Unterseite des Blattes verdickt, bei *S. palustre* ringsum von gleicher Stärke.

Squaröse, grüne Formen könnten mit *S. squarrosum* verwechselt werden, eine mikroskopische

Nachprüfung auf Fasern der Asthyalodermis unterscheidet beide leicht.

4.1.3 Verbreitung

In Europa fehlt die Art nur im extremen Norden und Osten; Asien bis Kaukasus und Himalaja, Ostasien; Pazifik- und Atlantikküste; Nordamerikas bis Mexiko, Jamaika, Südamerika; Australien, Neuseeland; Hawaii.

Sphagnum palustre ist fast im ganzen Kartierungsgebiet verbreitet (Abbildung 1 bis 3). Es ist unsere häufigste Art. Sie fehlt nur in den eigentlichen Kalkgebieten, wie dem Kraichgau und der zentralen Schwäbischen Alb. Hier ist diese Art auf wenige Standorte wie Hülben im Norden beschränkt. Lücken im Schwarzwald oder Alpenvorland sind oft einfach durch das Fehlen von Herbarbelegen zu erklären. Sie wären durch die Verwendung von Literaturangaben und weiteres Suchen weitgehend zu schließen gewesen.

Das Verbreitungsmuster erkennt man an den Quadrantenkarten besser als anhand der MTB-Karten. An den Punktkarten wird im Odenwald eine Konzentration der Funde direkt östlich des Kammes deutlich. Gleiches gilt für die Höhenrücken des Nord-schwarzwaldes. Allerdings fallen intensive Bearbeitungen in einem Gebiet auch deutlicher heraus und geben dadurch auch wieder einen falschen Eindruck der Häufigkeit.

4.1.4 Ökologie

Die Art ist weit verbreitet auf nicht zu nährstoffarmen Standorten, von der Wegböschung bis zum Torf. Sie bildet große Teppiche oder auch Bulte in basenreichen Niedermooren, feuchten Waldbrüchern und Fichtenwäldern, oft auch entlang von Bächen, Wasserfällen oder Wegböschungen, hier auf Steinen oder sogar Mineralboden. Besonders schöne hohe Bulte werden zwischen Pfeifengras oder Schilf gebildet.

Die Art ist häufig vergesellschaftet mit weiteren Torfmoosen wie *S. squarrosum*, *S. nemoreum*, *S. fimbriatum*, *S. subnitens*, *S. inundatum* oder *S. girgensohnii*.

4.1.5 Bestand, Gefährdung und Schutz

Die Art ist im Untersuchungsgebiet weit verbreitet und bildet oft großflächige Teppiche und Bulte. Andererseits kann sie aber auch sehr kleinflächig und versteckt wachsen. Ihre heutige Verbreitung ist ausreichend gut bekannt, wobei aber sicher noch einige Lücken geschlossen werden können. Die Verbreitung in der Vergangenheit war sicher noch viel weiter. Viele ehemalige Standorte sind durch Kultivierung und Ab-

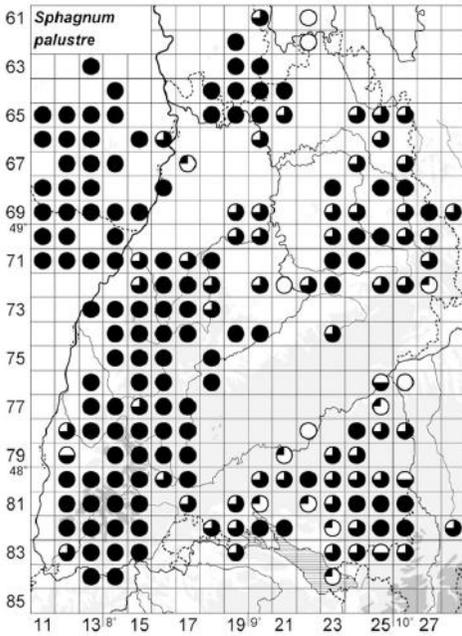


Abbildung 1 : Verbreitung von *Sphagnum palustre* in SW-Deutschland auf MTB-Basis.

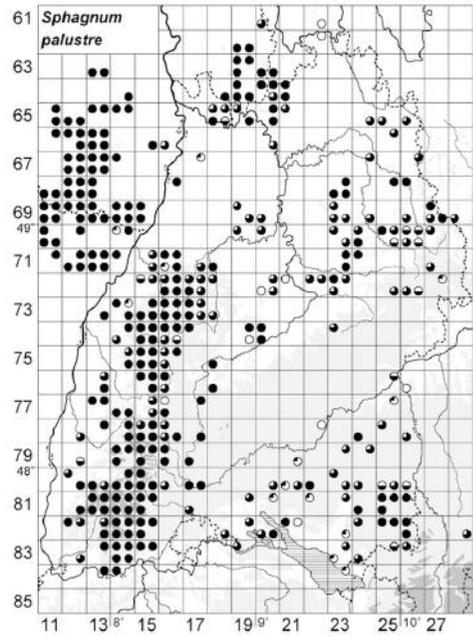


Abbildung 2 : Verbreitung von *Sphagnum palustre* in SW-Deutschland auf Quadranten-Basis.

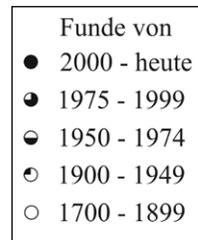
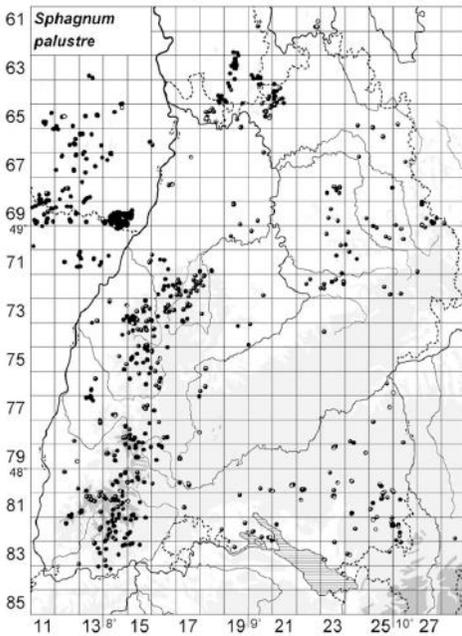


Abbildung 3 : Punktverbreitungskarte von *Sphagnum palustre* in SW-Deutschland.

senkung des Grundwasserstandes verloren gegangen. So fanden sich im Karlsruher Herbar Belege von KNEUCKER aus dem Jahre 1923 vom Bruch bei St. Leon (MTB 6717 NO). Der Standort ist heute zerstört. Die Art konnte von den Autoren auch verschiedentlich bei Großrestanalysen in Torfen des ganzen Oberrheingebietes gefunden werden. Eine Gefährdung ist zur Zeit im Gebiet nicht zu erkennen. Es sind ausreichend potentielle, auch sekundäre Standorte vorhanden.

4.2 *Sphagnum subnitens* Russow & Warnst.

S. plumulosum Roell

Feder-Torfmoos

4.2.1 Kurzbeschreibung der Art

Die Pflanzen sind klein bis sehr stattlich, trocken weich und typisch metallisch glänzend. Die Farbe variiert von grünlich, bräunlich oder violett-purpurrot. Die Stammblätter sind oft relativ lang und mit einem Spitzchen versehen. Ihre Hyalocyten sind oft septiert, seltener mit Spiralfasern. Öfter findet man die Pflanzen mit Sporogonen. Diese Art gehört zur Sektion *Acutifolia*, die sich durch freiliegende Chlorocyten auf der konkaven Seite der Astblätter auszeichnet.

4.2.2 Bemerkungen zur Artunterscheidung

Am ehesten wird diese Art mit *S. nemoreum* (= *S. capillifolium*) verwechselt, von der sie sich durch den an trockenen Rasen besonders eigentümlichen Glanz der Astblätter, sowie durch die meist faser- und porenlosen Stammblätter, deren Hyalocyten vielfach septiert sind, unterscheidet. Es wurden aber auch in unserem Untersuchungsgebiet Pflanzen beobachtet, bei denen eine deutliche Faserung vorhanden war.

4.2.3 Verbreitung

Nord- und Mitteleuropa, zunehmend seltener nach Norden und Osten, in Südeuropa bis 1900 m ansteigend; pazifische Küsten Asiens; Nordamerika, südwärts bis in die Anden Chiles.

4.2.4 Verbreitung

In SW-Deutschland liegt der Schwerpunkt der Verbreitung im Südschwarzwald, dem Pfälzerwald und dem Alpenvorland. Die niedrigsten Vorkommen sind bei etwa 100 m

in der Oberrheinebene bei Liedolsheim (6816 NO) und Hochstetten (6816 SO), das höchste bei 1465 m am Feldberg. Im Bienwald konnte die Art trotz intensiver Suche nicht mehr gefunden werden.

Auffallend auf den Verbreitungskarten (Abbildung 4 bis 6) sind die Vorkommen im Nordschwarzwald, wo die Pflanzen aber nicht auf Buntsandstein stehen, sondern reichere Unterlagen bevorzugen. Überraschend waren auch die Funde im Odenwald durch M. SONNBERGER in jüngerer Zeit. Im Pfälzerwald dagegen ist die Art etwas häufiger. Sie kommt an ähnlichen Stellen wie im Odenwald vor.

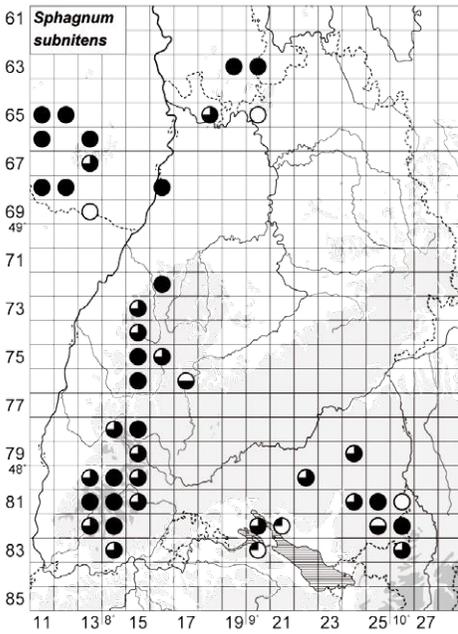


Abbildung 4 : Verbreitung von *Sphagnum subnitens* in SW-Deutschland auf MTB-Basis.

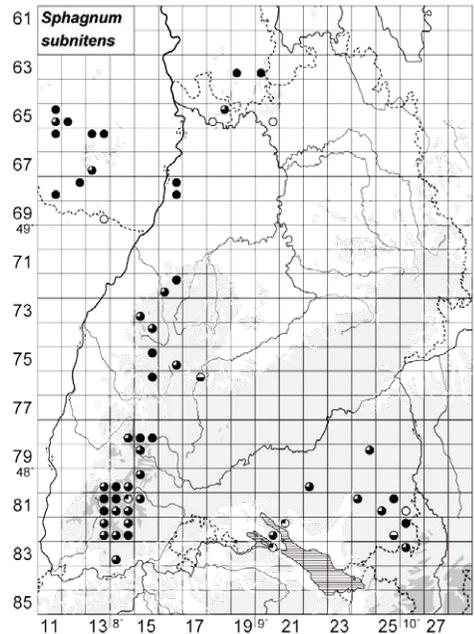


Abbildung 5 : Verbreitung von *Sphagnum subnitens* in SW-Deutschland auf Quadranten-Basis.

4.2.5 Ökologie

Elektrolytreiche Niedermoore, seltener auch im minerotraphenten *Sphagnetum magellanici*. In Großbritannien auch in oligotrophen Regenmooren, was durch die höheren Ionenkonzentrationen im Regenwasser in Meernähe bedingt ist.

Die Art ist häufig vergesellschaftet mit anderen Torfmoosen reicherer Standorte wie *S. papillosum*, *S. warnstorffii*, *S. squarrosum*, *S. teres*, *S. palustre* oder *S. subsecundum*.

4.2.6 Bestand, Gefährdung und Schutz

Die Art ist gefährdet durch den Verlust an möglichen, nährstoffreicheren Standorten wie nassen Wiesen, durch Intensivierung der Nutzung oder durch das Zuwachsen dieser Standorte. Beim Vergleich mit den Angaben von DIERSSEN & DIERSSEN (1984) aus dem Schwarzwald konnte mehrfach ein Rückgang oder Verlust beobachtet werden. Auch viele der Angaben von LAUER (2005) aus dem Pfälzerwald oder dem Oberrheingebiet sind heute nicht mehr vorhanden. Sicher war die Art früher auch im Oberrheingebiet ähnlich weiter verbreitet wie schon *S. palustre*, als es noch Moore oder offene Streuwiesen gab.

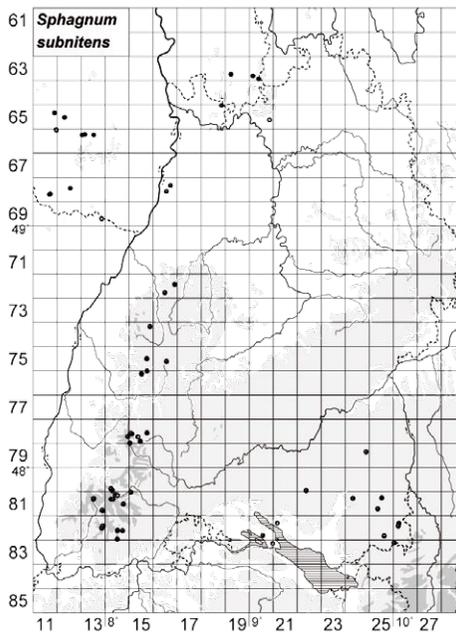


Abbildung 6 : Punktverbreitungskarte von *Sphagnum subnitens* in SW-Deutschland.

4.3 *Sphagnum fallax* (H. Klinggr.) H. Klinggr.

S. cuspidatum var. *fallax* H. Klinggr.; *S. apiculatum* H. Lindb., nom. illeg.; *S. recurvum* subsp. *mucronatum* Russow; *S. brevifolium* (Lindb.) Roell.; *S. recurvum* var. *brevifolium* (Lindb.) Warnst.

Trägerisches Torfmoos

4.3.1 Kurzbeschreibung der Art

Pflanzen kräftig bis mittel, seltener zierlich, grün, bleich bis semmelbraun. Chlorocyten bei Astblattquerschnitten auf der konvexen Seite freiliegend. Die Stammlätter haben ein typisches Spitzchen und normalerweise keine Spiralfasern in den Hyalocyten. Häufig findet man die Art mit Kapseln.

Die Art gehört zu Sektion Cuspidata, die sich durch freiliegende Chlorocyten auf der konvexen Seite der Astblätter auszeichnet.

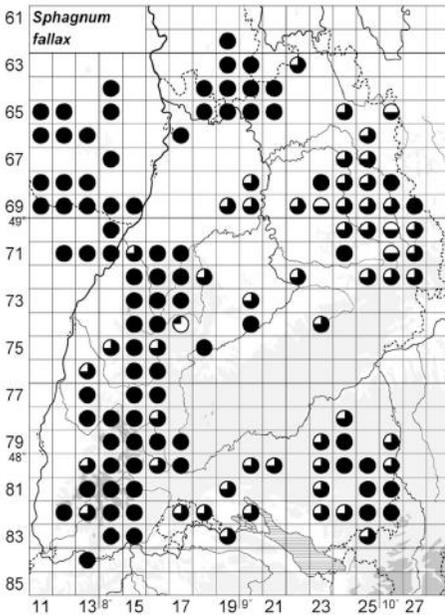


Abbildung 7 : Verbreitung von *Sphagnum fallax* in SW-Deutschland auf MTB-Basis.

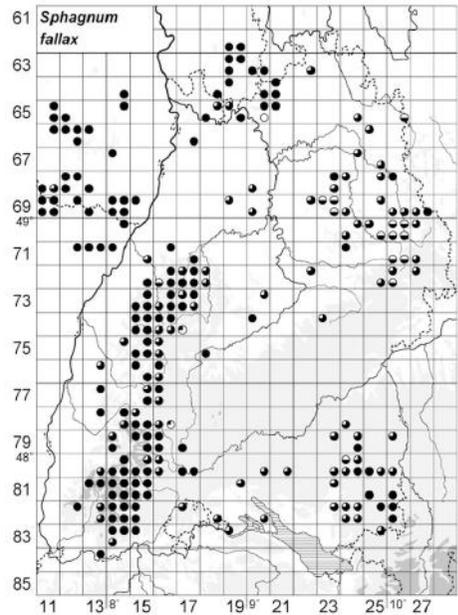


Abbildung 8 : Verbreitung von *Sphagnum fallax* in SW-Deutschland auf Quadranten-Basis.

4.3.2 Bemerkungen zur Artunterscheidung

Beim Stammquerschnitt ist die Epidermis meist deutlich abgesetzt. Auch die Spitzchen der Stammlätter sind selbst nach dem Aufreißen beim Andrücken des Deckglases noch gut zu erkennen. Fensterartige Spitzenporen auf der Außenseite der Astblätter trennen *S. recurvum* von *S. cuspidatum*.

Schwierigkeiten bereitet die Abgrenzung von *S. cuspidatum* bei flutenden oder periodisch von Wasser bedeckten Formen. Schon PAUL (1932) nahm dazu Untersuchungen und Kulturen vor. Auch ANDRUS (1980) beobachtete in Nordamerika, daß submerse Pflanzen längere Stammlätter haben als solche von trockenen Standorten. DANIELS (1985) ergänzte, daß die Faserung der Stammlätter mit der Austrocknung zusammenhängt. Bei eigenen Untersuchungen wurden Formen beobachtet, die typische *S. fallax*-Astblätter aufwiesen, wobei die Stammlätter verlängert waren und Fasern hatten.

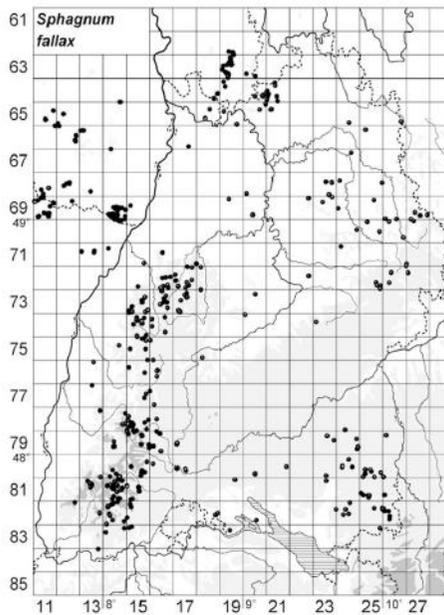


Abbildung 9 : Punktverbreitungskarte von *Sphagnum fallax* in SW-Deutschland.

4.3.3 Verbreitung

Circumboreal mit subozeanischer Tendenz. In Europa sehr häufig.

Die Art fehlt in SW-Deutschland nur wenigen Landschaften wie dem Kraichgau, weiten Teilen der Schwäbischen Alb und dem Neckarland (Abbildung 7 bis 9). Die Lücken in den anderen Gebieten wie dem Schwarzwald und dem Alpenvorland lassen sich durch weitere Begehungen sicher weitgehend schließen. Der höchste Nachweis stammt aus dem Südschwarzwald bei 1450 m (8114 NW: Feldberg, Mittelbuck), der niedrigste aus dem Oberrheingebiet bei 103 m (6617 SO).

4.3.4 Ökologie

Caricion nigrae, auch *Scheuchzerietalia* und minerotraphente Ausbildungen des *Sphagnetum magellanicum*. Steht meist recht feucht und bildet auch flutende Formen, die dann schwer von *S. cuspidatum* zu unterscheiden sind. Die Art ist in Süddeutschland im Gegensatz zu Norddeutschland als typischer Mineralbodenwasserzeiger (DU RIETZ, 1954) zu betrachten und eignet sich gut zur Abgrenzung von Hoch- und Niedermoor.

Häufig ist die Art vergesellschaftet mit *S. palustre*, *S. riparium*, *S. fimbriatum* oder *S. papillosum*.

4.3.5 Bestand, Gefährdung und Schutz

Eine sehr häufige Art, die sehr weit verbreitet ist und wahrscheinlich auch durch die Zunahme der Stickstoffimmissionen gefördert wird (TWEINHÖVEN, 1993). Zur Zeit sicher nicht gefährdet, sondern eher gegenüber den Hochmoor-Sphagnum in Ausbreitung begriffen.

5. Auswertung

5.1 Gegenüberstellung verschiedener Raster bei der Kartierung

Für die Karten im Grundlagenwerk «Die Moore Baden-Württembergs» (NEBEL & PHILIPPI, 2000, 2001, 2005) wurden Verbreitungskarten in MTB-Raster verwendet. Schon damals zeigte sich, dass für die sehr heterogene Landschaft SW-Deutschlands dieses Raster zu grob ist.

Zum Vergleich der verschiedenen Kartierungsweisen wurde die im Kartierungsgebiet häufigste Torfmoosart *Sphagnum palustre* (Abb. 1-3) intensiver betrachtet. Sie kommt vom Oberrheingebiet bis zu den Höhen des Schwarzwaldes vor und fehlt nur den eigentlichen Kalkgebieten. Deshalb ist bei der MTB-Karte (Abb. 1) ein großer Teil des Kartierungsgebietes ausgefüllt. Besonders auffällig trifft dies für das deutsche Oberrheingebiet westlich des Schwarzwaldes zu, obwohl es dort kaum Fundorte gibt. Auch das Alpenvorland ist weitgehend ausgefüllt. Der Pfälzerwald und das Nordelsaß bilden eine fast einheitliche Fläche. Bei den Quadrantenkarten treten die Lücken schon sehr viel deutlicher hervor. Das Lössgebiet zwischen Bienwald und Hagenauer Forst im Elsaß ist schon zu erkennen. Dies gilt auch für den Bereich des Mittleren Schwarzwaldes

oder das Bodenseegebiet. Bei der Punktkarte treten die Lücken noch deutlicher hervor. Für die Darstellung von Verbreitungslücken eignen sich die Punktkarten am besten. Das gleiche gilt für die beiden anderen Arten.

Schluß daraus ist, daß MTB-Kartierung für das Kartierungsgebiet zu grob ist. Die Arten sollten immer in Koordinaten aufgenommen werden. Dies erleichtert in Zukunft auch die Verschneidung mit physischen Parametern oder den Wechsel des Koordinatensystems. Bei sehr starker Bearbeitung eines Teilgebietes, wie dem Bienwald westlich Karlsruhe, häufen sich die Punkte. Es wird in dieser Region unübersichtlich und es entsteht sogar ein falscher Eindruck über die Häufigkeit. Allerdings kann man bei den Punktkarten sogar noch die kleine Lücke im Bienwald erkennen, welche durch die Tertiärscholle des Büchelberges entsteht, was aber durch die Auswahl der Größe der Punkte bedingt ist. Ein gewisser Kompromiß sind Quadrantenkarten oder besser 1/16-Karten. Sicher nicht geeignet sind Arealkarten.

5.2 Anzahl der Belege pro Meßtischblatt

Diese Karte (Abbildung 10) spiegelt einerseits die Intensität der Sammeltätigkeit im Arbeitsgebiet, andererseits aber auch die Vorlieben der Sammler wieder. Zudem sammelt man in einem Gebiet mit vielen Arten auch mehr Belege.

Besonders attraktiv war für alle Sammler zu allen Zeiten das Feldberggebiet, was durch über 700 Nachweise belegt wird. An zweiter Stelle steht inzwischen das Gebiet des Bienwaldes in der Südpfalz, wo zur Zeit eine Intensivkartierung stattfindet, weiter das Gebiet um Schonach, da dort über viele Jahre intensiv gearbeitet wurde. Dieses Gebiet wurde seit den 80iger Jahren durch das Gebiet um die Hornisgrinde abgelöst, wo Wasserproben und Bohrkernproben wie schon im Gebiet um Schonach aus Mooren untersucht wurden. Gut besammelt ist der Nordschwarzwald auch durch die Kartierung von T. WOLF (1993) und durch die Nähe zu Karlsruhe. Der Odenwald ist gut belegt durch viele Herbarbelege von T. WOLF und in jüngerer Zeit von M. SONNBERGER, Oberschwaben durch M. SAUER, M. NEBEL und A. HÖLZER, die Nördliche Schwäbische Alb durch O. SEBALD. Erst in jüngerer Zeit kam durch eine Spezialkartierung das Gebiet des Bienwaldes in der Südpfalz hinzu (HÖLZER und SCHLOSS).

An Belegen fehlt es noch in den östlichen Teilen Baden-Württembergs und bei manchen Arten in der Pfalz. Viele Angaben sind noch in den Keupergebieten zu erwarten.

5.3 Anzahl der Arten pro Meßtischblatt

Im Kartierungsgebiet finden sich nach unserer Artauffassung 32 Torfmoosarten, die alle zusammen auf keinem MTB gefunden wurden. Selbst auf MTB 8114 (Feldberg) sind nur 30 Arten belegt (Abbildung 11).

Die Zahl der Arten innerhalb eines Meßtischblattes als Kartiereinheit hängt einerseits von der Durchforschung eines Gebietes ab, andererseits aber auch von den natürlichen Gegebenheiten wie Geologie oder Klima. In einem Gebiet mit sehr armem Ausgangsgestein können viele Arten nicht existieren. Bei großer geologischer Vielfalt sind dagegen auch mehr Arten zu erwarten. Z. B. fehlen im Bienwald in der Rheinebene die Hochmoore und damit viele dafür charakteristische Arten. So gibt es nach gegenwärtigem Stand der Arbeiten von MTB 6914 in der Datenbank 596 Belege von nur 13 Arten. Von Blatt 8314 am Südschwarzwaldrand dagegen sind in unserer Datenbank nur 95 Belege von 17 Arten, von Blatt 8125 im Alpenvorland 165 Belege von 20 Arten.

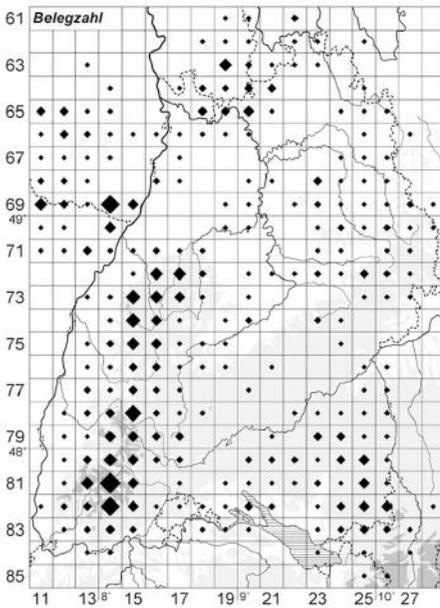


Abbildung 10 : Belegzahl pro Meßtischblatt (9 Einheiten). Erklärung:
Kleinste Raute 1-25 Belege, dann 26-50, 51-100, 101-200, 201-300, 301-400, 401-500, 501-600, >601.

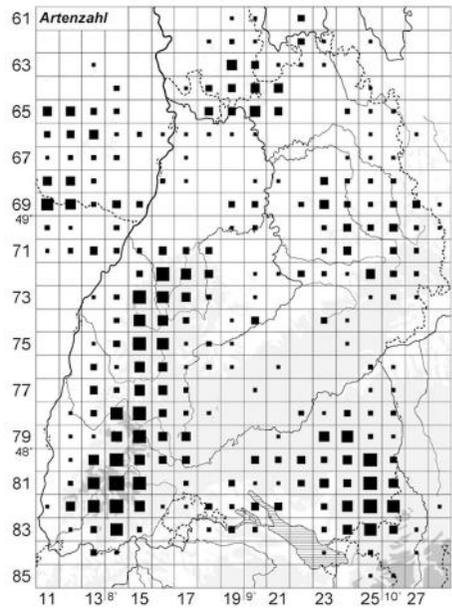


Abbildung 11 : Artenzahl pro Meßtischblatt in 9 Einheiten: 1-3, 4-7, 8-10, 11-13, 14-16, 17-19, 20-23, 24-28, >28.

5.4 Ökologische Zusammenhänge

Torfmoose sind hervorragende Indikatoren für den Standort. Wie die anderen Moose haben sie keine Wurzeln, wodurch sie sich nicht aus anderen Horizonten als der Oberfläche mit Nährstoffen versorgen könnten. So reagieren sie sehr schnell auf eine Veränderung des Biotops. Deshalb sind sie auch bei der Untersuchung von Torfprofilen aus Mooren viel bessere Indikatoren für Veränderungen als Gefäßpflanzen, die ihre Nährstoffe aus tieferen Horizonten beziehen können. So wurden bei der Untersuchung eines Bohrkernes bei Sasbachwalden schon bei flüchtigem Anschauen lebende Wurzeln in 60 cm Tiefe erkannt (HÖLZER & HÖLZER, 2000). Auch ist selbst aus heutigen Hochmooren bekannt, daß sich bestimmte Arten wie Schilf oft noch lange Zeit als Relikte halten können, da ihre Rhizome sehr tief reichen können.

Kann man aber aufgrund der Kartierung aus dem Vorkommen einer Torfmoosart auf eine absolute Ionenkonzentration in einer anderen Region SW-Deutschlands schließen? Für diese Frage eignen sich hervorragend unsere langjährigen Wasseranalysen aus drei Regionen SW-Deutschlands: Blindensee-Moor 1974 und 1975, Biberkessel an der Hornisgrinde 1977, 1978, 1979, Lautermoor im Oberrheingebiet 2001.

Die Auswertung und Darstellung der Werte erfolgte nach dem gleichen Schema wie schon früher dargestellt (HÖLZER & HÖLZER, 1995, 2003). Ausgewählt für die Präsentation wurden hier die Parameter Calciumgehalt (Abbildung 12) im Moorwasser und die Basensättigung (Abbildung 13) bei der in SW-Deutschland weit verbreiteten Art *Sphagnum fallax*. Es handelt sich hier um einen typischen Mineralbodenwasserzeiger (DU RIETZ, 1954) in SW-Deutschland. In Norddeutschland geht diese Art auch in Hochmoorbereiche.

Beim Vergleich der Calcium-Konzentrationen an den drei Standorten fallen die sehr niedrigen Werte in den Biberkessel-Mooren auf, die deutlich unter der Grenze von 1mg/l liegen, die als Grenze zwischen Hoch- und Niedermoor angesetzt wird (DU RIETZ, 1954 ; GIES 1972, HÖLZER, 1977 ; HÖLZER & HÖLZER, 1982). Das Ausgangsgestein ist hier der sehr arme Mittlere Buntsandstein. Im Blindensee-Moor, das im Granitgebiet des Mittleren Schwarzwaldes liegt, sind die Werte deutlich höher, Einzelwerte bis 5mg/l. Das Lautermoor liegt auf dem Schwemmfächer der Lauter, die Buntsandsteinmaterial, aber auch Löss mitbringt.

Die Präferenzen bezüglich der Basensättigung (Abb. 13), in die auch der pH-Wert eingeht, in den drei Mooren sind noch deutlicher getrennt.

Der Schluß aus diesen Kurven ist, dass man absolute ökologische Messwerte aus anderen Regionen nur eingeschränkt auf das eigene Untersuchungsgebiet übertragen darf. Werte gelten nur für ein Gebiet oder sogar nur für ein einzelnes Moor. Allerdings zeigten unsere weiteren Untersuchungen, dass die Abfolge der Einnischung der verschiedenen Torfmoosarten von arm nach reich in den drei Mooren gleich ist. Dies spielt eine wichtige Rolle bei der Interpretation subfossiler Moosvorkommen in Bohrkernen.

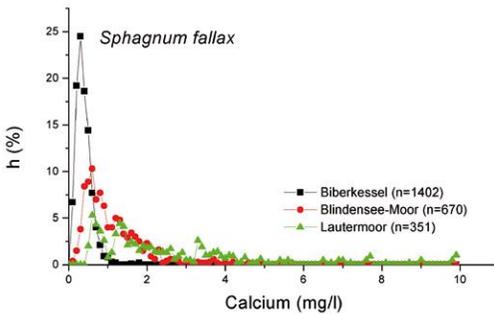


Abbildung 12: Präferenz von *Sphagnum fallax* bezüglich der Calcium-Konzentration in drei Mooren SW-Deutschlands.

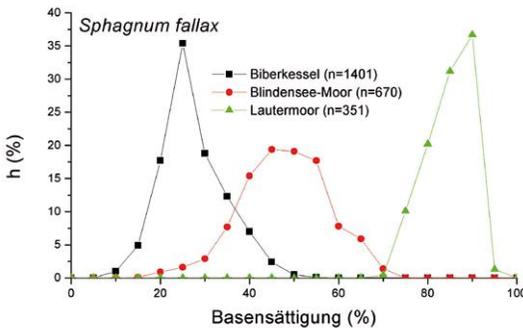


Abbildung 13: Präferenz von *Sphagnum fallax* bezüglich der Basensättigung in drei Mooren SW-Deutschlands.

5.5 Zusammenhänge zwischen Geologie und Torfmoosvorkommen

Betrachtet man die Verbreitungskarten einzelner Torfmoosarten, so fallen sofort Verbreitungslücken in den Kalkgebieten auf. Noch deutlicher wird dies, wenn man alle Verbreitungspunkte der Torfmoose zusammen auf eine geologische Karte projiziert (Abb. 14). Von wenigen Ausnahmen abgesehen gibt es keine Torfmoose in Kalkgebieten, viele Torfmoose dagegen in den Buntsandstein-, Keuper-, Granit- und Gneisgebieten, wobei sich Gebiete mit Buntsandstein durch eine Häufung von Vorkommen auszeichnen.

Auffällig sind die Vorkommen von Torfmoosen im Oberrheingebiet auf den Schuttfächern aus den Nordvogesen und dem Pfälzerwald. Besonders häufig sind sie im Bienwald oder im Hagenufer Forst. Im Bienwald wächst z. B. *S. nemoreum* trotz relativ geringer Niederschläge sogar auf dem Gipfel von ehemaligen, heute mit lichten Kiefern bestockten Sanddünen. Dagegen fehlen Torfmoose in den Löß- oder Lehmbieten dazwischen. Im rechtsrheinischen Teil des Oberrheingebietes spielen solche Schuttfächer nur eine untergeordnete Rolle. Hier liegen die Torfmoosvorkommen in verlandeten Altrheinarmen oder Bachläufen, die vom Schwarzwald kommen. Torfmoose auf Sandflächen sind sehr selten.

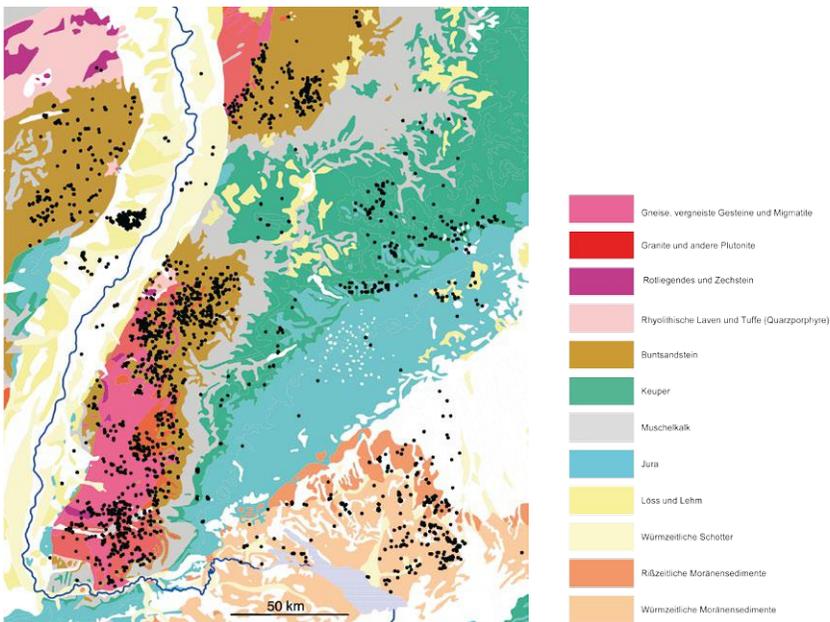


Abbildung 14 : Zusammenhänge zwischen Geologie und Torfmoosvorkommen in SW-Deutschland (nach Geologischer Übersichtskarte von Baden-Württemberg).

6. Schlußfolgerung

Auch nach Veröffentlichung des letzten Bandes der «Moose Baden-Württembergs» (NEBEL & PHILIPPI, 2005) oder des Werkes «Die Moose der Pfalz» (LAUER, 2005) gibt es noch viele Lücken in der Kenntnis der Verbreitung der Torfmoose. Allerdings ist der Stand sehr viel besser als bei vielen anderen Moosen. Man denke hier-

nur an die Gattungen *Bryum*, *Lophozia* oder *Lophoziaella*. Es hat sich im Laufe der Kartierungen gezeigt, daß vor allem die Arten von Torfmoosen, deren Schwerpunkt der Verbreitung außerhalb der eigentlichen Moore liegt, eine viel weitere Amplitude der Verbreitung haben, als man zunächst vermutete. Allerdings sind solche Bereiche außerhalb der großen Moore auch großen Änderungen in der Nutzung unterworfen. Man denke hier nur an die Umwandlung von Feuchtwiesen in Maisäcker im Oberrheingebiet oder an das Aufkommen von Fichten auf ehemaligen Freiflächen im Schwarzwald. So konnten bei Untersuchungen von Torfprofilen aus dem nördlichen Oberrheingebiet vielerorts selbst unter heutigen Kleingartenanlagen oder Siedlungsgebieten Torfmoosblätter gefunden werden. Die gegenwärtigen Veränderungen der Umwelt erfordern weitere Dokumentation, um später die Auswirkungen konkret belegen zu können. Dies muß auch mit nachprüfbarem Herbarmaterial gesichert werden.

Wie in der Gegenüberstellung der Karten mit unterschiedlicher Auflösung der Fundpunkte gezeigt wird, muß die Aufnahme noch weiter verfeinert werden. Zur Zeit sind sehr gut bearbeitet der Odenwald und der Schwarzwald, weiterer Arbeit bedarf es vor allem in den östlichen Bereichen des Kartierungsgebietes und im Pfälzerwald. Viele der Angaben von LAUER (2005) sind deutlich vor dem Jahr 2000 gewonnen worden und existieren heute nicht mehr. Lokale Bearbeiter könnten kleinflächige Vorkommen entdecken, die bei einer Anreise aus Karlsruhe reine Zufallsfunde sind. Mehrfach wurden Torfmoose z. B. auf kleinen Waldwiesen oder Schneisen zur Beobachtung des Wildes gefunden, die in den umgebenden Wäldern fehlen. So käme man zu einem sehr viel klareren Verbreitungsbild und deutlicheren Zusammenhängen mit den edaphischen oder klimatischen Bedingungen als dies heute möglich ist.

In jüngster Zeit wurde eine Spezialkartierung im Bienwald in Rheinland-Pfalz begonnen, die auf den präsentierten Verbreitungskarten durch eine hohe Konzentration von Fundpunkten auffällt. Durch eine solche intensive Kartierung können deutliche Zusammenhänge zwischen den Arten und ökologischen Bedingungen aufgezeigt werden.

Danksagung

Dank schulden wir vor allem den Kollegen, die uns ihr Herbarmaterial zur Verfügung stellten. Dies gilt ganz besonders für T. WOLF, der schon seit Jahren seine vielen Kartierungsbelege im Karlsruher Herbar deponiert und mit dem viele Gespräche darüber geführt werden konnten. Unser Dank gilt auch den Forstbehörden in Baden-Württemberg, die durch die Genehmigung zum Befahren der Waldwege die Kartierung sehr förderte.

Literatur

- ANDRUS R.E. 1980. Sphagnaceae (peat moss family) of New York State. *Bull. N. Y. St. Mus.* 442 : 1-89.
- DANIELS R.E. 1985. Isoenzyme variation in populations of *Sphagnum recurvum* var. *mucronatum* from Britain and Finland. *J. Bryol.* 13 : 563-570.
- DIERSSEN B. & DIESEN K. 1984. Vegetation und Flora der Schwarzwaldmoore. *Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ.* 39 : 512 p.
- DU RIETZ G.F. 1954. Die Mineralbodenwasserzeigergrenze als Grundlage einer natürlichen Zweigliederung der Nord- und Mitteleuropäischen Moore. *Vegetatio* 5/6 : 571-585.
- GIES T. 1972. Die Vegetation und Ökologie des Schwarzen Moores (Rhön). *Diss. Bot.* 20. Lehre. 184 p.
- HÖLZER A. 1977. Vegetationskundliche und ökologische Untersuchungen im Blindensee-Moor bei Schonach. *Diss. Bot.* 36, 195 p. Vaduz.
- HÖLZER A. 2005. Sphagnopsida, Torfmoose. *In* : NEBEL M. & PHILIPPI G. (Edit.). Die Moose Baden-Württembergs, Band 3. Torfmoose, Lebermoose und Hornmoose . S. 9-92. Stuttgart.
- HÖLZER A. & HÖLZER A. 1982. Beziehungen zwischen chemischen Parametern des Moorwassers und Pflanzen in den Biberkessel-Mooren an der Hornisgrinde (Nordschwarzwald). *Telma* 12 : 37-46.
- HÖLZER A. & HÖLZER A. 1987. Paläoökologische Moor-Untersuchungen an der Hornisgrinde im Nordschwarzwald. *Carolinea* 45 : 43-50.
- HÖLZER A. & HÖLZER A. 1995. Zur Vegetationsgeschichte des Hornisgrinde-Gebietes im Nordschwarzwald: Pollen, Großreste und Geochemie. *Carolinea* 53 : 199-228.
- HÖLZER A. & HÖLZER A. 2000. Ein Torfprofil vom Westabfall der Hornisgrinde im Nordschwarzwald mit *Meesia triquetra* Ängstr.. *Carolinea* 58 : 139-148.
- HÖLZER A. & HÖLZER A. 2003. Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsgeschichte im Großen und Kleinen Muhr an der Hornisgrinde (Nordschwarzwald). *Mitt. Ver. Forstl. Standortkunde u. Forstpflanzenzüchtung* 42 : 31- 44.
- HÖLZER A. & HÖLZER A. 2006. Kartierung der Torfmoose im Rahmen des Grundlagenwerkes «Die Moose Baden-Württembergs». *Mitt. Ver. Forstl. Standorts-*

kunde u. Forstpflanzenzüchtung 44 : 63-78.

LAUER H. 2005. Die Moose der Pfalz. Bad Dürkheim. 1219 p.

NEBEL M. & PHILIPPI G. 2000. Die Moose Baden-Württembergs, Band 1. Allgemeiner Teil, Klaffmoose und Gipfelfrüchtige Laubmoose I (Andreaeales bis Funariales). Stuttgart. 512 p.

NEBEL M. & PHILIPPI G. 2001. Die Moose Baden-Württembergs, Band 2. Gipfelfrüchtige Laubmoose I und Seitenfrüchtige Laubmoosae. Stuttgart. 529 p.

NEBEL M. & PHILIPPI G. 2005. Die Moose Baden-Württembergs, Band 3. Torfmoose, Lebermoose und Hornmoose. Stuttgart. 485 p.

PAUL H. 1932.: Der Einfluß des Wassers auf die Gestaltungsverhältnisse der Sphagna. *Abh. Naturw. Ver. Bremen* 28 : 78-96.

RUSSOW E. 1893. Zur Kenntnis der Subsecundum- und Cymbifoliumgruppe europäischer Torfmoose. *Archiv für die Naturkunde Liv-, Ehst- und Kurlands, Zweite Serie. Biologische Naturkunde* 10 : 361-488.

TWENHÖVEN F.L. 1993. Untersuchungen zur Wirkung stickstoffhaltiger Niederschläge auf die Vegetation von Hochmooren. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Geobotanik in Schleswig-Holstein und Hamburg* 44 : 172 p.

WARNSTORF C. 1883. Die Torfmoose des v. Flotow'schen Herbarium im königl. bot. Museum in Berlin. *Flora* 24 : 371-380.

WARNSTORF C. 1890. Contributions to the knowledge of North American Sphagna. IV. *Botanical Gazette* 15 : 242-255.

WARNSTORF C. 1902-1903. Leber- und Torfmoose. Kryptogamenflora der Mark Brandenburg und angrenzenden Gebiete herausgegeben von dem Botanischen Verein der Provinz Brandenburg. I. Leipzig.

WARNSTORF C. 1911. Das Pflanzenreich, Heft 51. Sphagnales-Sphagnaceae (Sphagnologia universalis). Leipzig.

WOLF T. 1993. Die Mosen im Landkreis Calw. *Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ.* 73 : 55-190.

Les synusies sphagiales des tourbières acidophiles de l'Europe occidentale : position des sphaignes dans les niveaux hydrologiques et synthèse phytosociologique

Philippe JULVE

Université Lille Nord de France, 59000 LILLE
Univ. Catholique de Lille, Faculté Libre des Sciences et Technologies,
labo. Environnement & Santé, 41 rue du Port, F-59046 LILLE

Résumé :

Une comparaison des différents modèles hydromorphologiques issus des travaux d'IVANOV, de LINDSAY et de l'auteur est effectuée. On établit ainsi les correspondances entre les différentes échelles morphologiques de fonctionnement hydrologique, depuis les microformes jusqu'aux complexes tourbeux, en montrant les correspondances avec les unités de perception de la phytosociologie synusiale intégrée (des synusies aux holosigmetums). Les principaux termes géomorphologiques descriptifs en différentes langues sont comparés.

Les différentes espèces de sphaignes sont placées dans les unités hydromorphologiques typiques des tourbières acidophiles. L'auteur présente ensuite un tableau de synthèse des associations sphagiales des tourbières acides de l'Europe occidentale, sur 29 colonnes synthétisant 5649 relevés issus de la littérature. Les différentes communautés sont décrites sur les plans floristiques, écologiques et dynamiques. Une idée de leur répartition chorologique est également présentée.

Enfin, des modèles de schémas systémiques et des tableaux de Mendeleiev appliqués à la description fonctionnelle des tourbières sont présentés.

Zusammenfassung :

Ein Vergleich der verschiedenen hydromorphologischen, aus den Arbeiten von IVANOV, LINDSAY und des Autors selbst hervorgegangenen Modelle wird angestellt. Es werden Korrespondenzen zwischen den morphologischen Skalen hydrologischen Funktionierens hergestellt, von Mikroformen bis zu komplexen Mooren. Dabei werden die Korrespondenzen mit den Wahrnehmungseinheiten integrierter synusialer Phytosoziologie (von Synusien bis zu Holosigmeten) aufgezeigt. Die wichtigsten deskriptiven, geomorphologischen Begriffe in verschiedenen Sprachen werden verglichen. Die verschiedenen Torfmoosarten werden in typische hydromorphologische Einheiten der acidophilen Moore eingeteilt. Der Autor zeigt dann eine Synthese der

Torfmoosverbände saurer Moore in Westeuropa in Form einer Tabelle mit 29 Spalten und 5649 Aufzeichnungen. Es werden die verschiedenen Gemeinschaften vom Gesichtspunkt der Flora, der Ökologie und der Dynamik beschrieben. Auch wird ihre chronologische Verbreitung erläutert.

Schließlich werden Modelle systemischer Schemata und Tabellen von Mendeleiev dargeboten, die an die funktionelle Beschreibung der Moore angepasst sind.

Summary :

A comparison has been made of the different hydromorphological models derived from the works of IVANOV, LINDSAY, and the author. This has allowed for the correspondences to be established between the different morphological scales of hydrological function, from the microforms through to the peat bog complexes, showing the correspondences with the perception units of integrated synusial phyto-sociology (of the synusiae to the holosigmenta). The principal descriptive geomorphological terms in different languages were compared.

The different species of sphagna were placed in the typical hydromorphological units of the acidophilic peat bogs. The author then presents a summary table showing the sphagnum associations of the acid peat bogs of Western Europe, in 29 columns synthesising 5649 references drawn from the literature. The different communities are described in terms of flora, ecology, and dynamics. An idea of their chronological distribution is likewise presented.

Finally, models of the systemic arrangements and Mendeleiev tables applied to the functional description of the peat bogs are presented.

Mots clés : tourbières acides, sphaignes, synthèse, Pin sylvestre, Vosges du Nord, Pays de Bitche.

1. Les différents niveaux fonctionnels hydrologiques et de perception phytosociologique

De nombreux auteurs ont reconnu l'emboîtement à différentes échelles de nombreux niveaux fonctionnels hydrologiques dans les tourbières à sphaignes. En phytosociologie synusiale intégrée, ces niveaux sont traduits par la flore et la végétation, aussi une tentative de corrélation des différents systèmes proposés semble possible.

La figure 1 reprend schématiquement les différents niveaux de fonctionnement hydrologique définis par IVANOV (1975, 1981) et repris par plusieurs auteurs (STEINER, 1984 ; LINDSAY *et al.*, 1988 ; SUCCOW & JOOSTEN, 2001). Le macrotype cor-

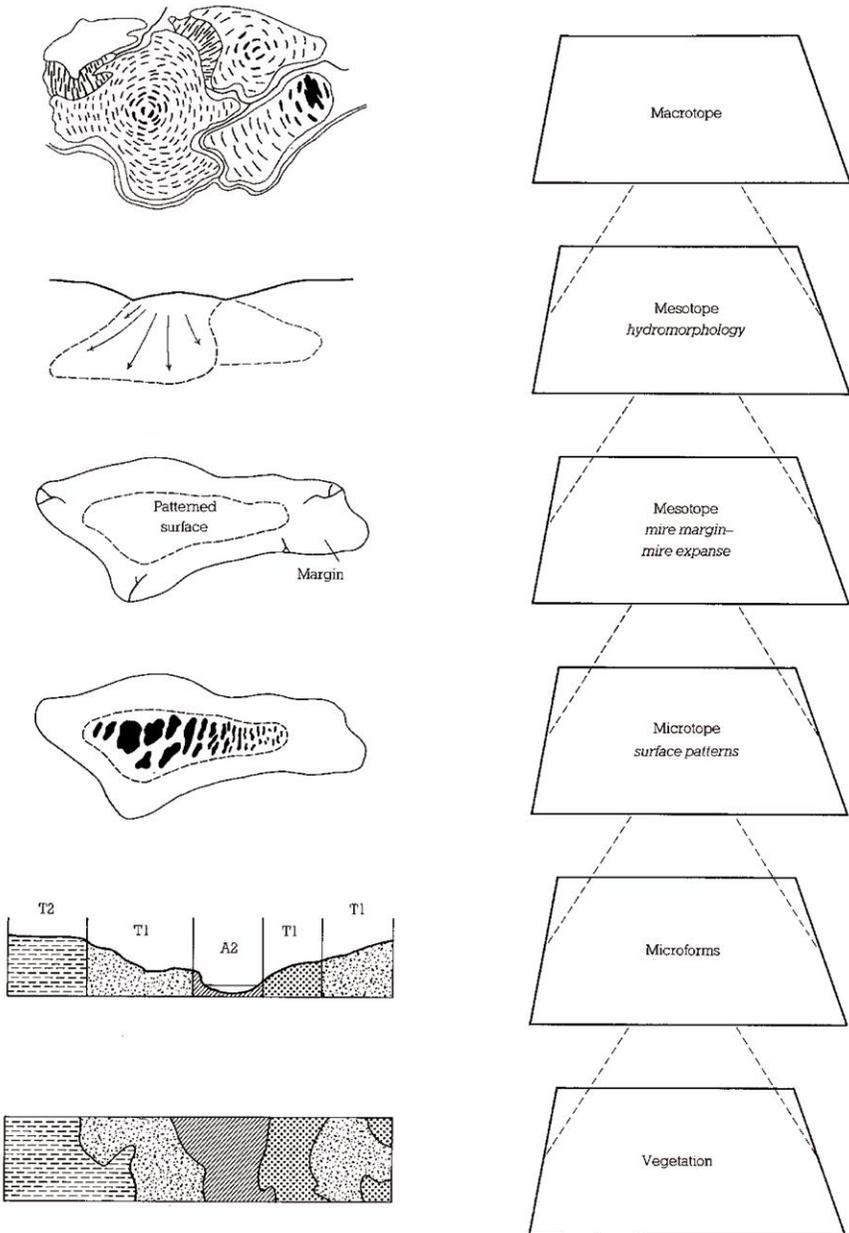


Figure 1 : Les différents niveaux fonctionnels hydrologiques (d'après LINDSAY et al., 1988, repris de IVANOV, 1975, 1981 et DIERSSEN, 1982).

respond à un complexe tourbeux comprenant différentes tourbières plus ou moins indépendantes hydrologiquement (dans l'exemple deux tourbières bombées concentriques et une tourbière bombée excentrique). Le mésotope correspond à une tourbière unitaire avec un fonctionnement hydrologique globalement homogène. Dans le cas des tourbières bombées ombrotrophiques, le mésotope est constitué de deux ou trois sous-unités : le cœur de la tourbière (mire expanse), la marge de la tourbière (mire margin), puis éventuellement le lagg ou le pseudo-lagg (anneau d'eau libre périphérique). Chacune de ces sous-unités constitue un microtope. Dans le microtope du cœur de la tourbière bombée ombrotrophique on remarque un pattern répétitif de microformes : buttes, replats, chenaux et parfois mares qui hébergent chacune une ou plusieurs végétations spécifiques LINDSAY *et al.* (1988), LINDSAY (1995) ont défini précisément ces microformes à l'aide d'une terminologie spécifique T/A, pour terrestre et aquatique, avec différents niveaux (de 1 à 4 ou 5 en s'éloignant de l'interface). Ils montrent également comment certaines plantes (sphaignes et rossolis) se répartissent par rapport à ces niveaux, de même que pour des végétations.

Il peut être intéressant d'établir un parallèle entre ces unités hydromorphologiques, les terminologies des microformes et les unités emboîtées de la phytosociologie synusiale intégrée (GILLET *et al.*, 1991). Le tableau 1 schématise cet aspect

Les quatre premières lignes indiquent les termes vernaculaires en français, anglais, allemand et finnois. La cinquième ligne précise en gras les types biologiques dominants des spermaphytes. L'ensemble des microformes de buttes, banquettes, chenaux et mares constitue un microtope. Chaque microforme correspond à une phytocénose fragmentée. La phytocénose de butte peut comprendre jusqu'à 4 synusies muscinales, par exemple *Sphagnetum rubello – magellanicum*, *Leiomylio anomalae - Sphagnetum fuscum*, *Ptilidio ciliaris - Sphagnetum capillifolium*, *Pleurozietum schreberii*, 1 ou 2 synusies chaméphytiques, par exemple *Vaccinio oxycocci - Callunetum vulgaris*, *Calluno vulgaris - Vaccinietum vitis-idaeae*, 2 synusies arbustives basse et haute, par exemple *Betuletum pubescentis subsp. glutinosae*, *Pinetum x rotundatae* ou *Pinetum sylvestris var. turfosaae*. Des synusies lichéniques s'installent parfois sur les branches des ligneux (avec *Hypogymnia physodes*...). La phytocénose de banquette comprend généralement une synusie muscinale (par ex. : *Sphagnetum subnitentum – papillosum*) et une synusie dominée par des hémicryptophytes le plus souvent cespiteux, par ex. *Trichophoro cespitosi subsp. cespitosi - Eriophoretum vaginatum*. La phytocénose de chenal intègre une synusie muscinale, par ex. *Cladopodiello fluitantis - Sphagnetum cuspidatum* et une synusie hémicryptophytique constituée surtout de géophytes rhizomateux, par ex. *Carici limosae - Scheuchzerietum*

palustris. La phytocénose de mare comprend des synusies aquatiques vivaces (par ex. *Utricularietum ochroleucae*, *Nymphaetum albo – candidae*, *Luronio natantis - Potamogetonum polygonifolii* etc.) et des synusies annuelles (*Lemnetum trisulcae*, *Ceratophyllum submersi*, *Utricularietum vulgaris*, etc.). L'ensemble de ces phytocénoses primaires constitue une catena.

BUTTE, RIDE	BANQUETTE, REPLAT	CHENAL, CUVETTE, DEPRESSION	MARE, GOUILLE
HUMMOCK (T3), HIGH RIDGE (T2)	LAWN, LOW RIDGE (T1)	CARPET HOLLOW (A1), MUD BOTTOM (A2) CHANNEL (TA2)	POOL (A3-A4)
BULT		SCHLENKEN	
RIMPI		FLARK	
Chaméphytes	Hémicrypto- phytes cespiteux Chaméphytes Géophytes rhizomateux	Géophytes rhizomateux Hémicryptophytes cespiteux ou stolonifères	Géophytes aquatiques Hémicryptophytes aquatiques Thérophytes aquatiques
Microforme 1	Microforme 2	Microforme 3	Microforme 4
Microtope			
Catena (linéaire, concentrique ou mosaïquée fermée)			
Phytocénose 1	Phytocénose 2	Phytocénose 3	Phytocénose 4
1 σ_B 1 σ_b 1 ou 2 σ_{ch} 4 σ_m 2 σ_l	1 σ_{hcesp} 1 σ_m	1 σ_{grh} 1 σ_m	1 $\sigma_{hc-aqua}$ 1 σ_{t-aqua}

Tableau 1 : Correspondance entre les terminologies hydromorphologiques, vernaculaires et phytosociologiques, dans le cas de la partie centrale des tourbières bombées.

Trois remarques importantes méritent d'être soulignées :

1 : dans les tourbières bombées naturelles il n'existe pas de dynamique secondaire anthropique mais seulement des dynamiques primaires et des cicatrisations. La notion de tesela ne s'y applique donc pas.

2 : la surface occupée sur le terrain par chaque phytocénose est variable selon les degrés d'évolution des sites.

3 : la morphologie, linéaire ou concentrique des phytocénoses (et des catenas et mésosigmatums) est variable selon les types de tourbières.

Le tableau 2 précise les correspondances dans le cas exemplaire de la tourbière bombée prise globalement. Le centre du bombement, les marges et les laggs ou pseudolaggs périphériques, constituent chacun un microtope et une catena. L'ensemble des trois constitue dès lors un mésotope en hydromorphologie et un mésosigmatum en phytosociologie synusiale intégrée (PSI).

LAGG, PSEUDOLAGG	MIRE MARGIN	MIRE EXPANSE	MIRE MARGIN	LAGG, PSEUDOLAGG
Mesotope (= mire massif = mire unit)				
Mesosigmatum (linéaire ou concentrique)				

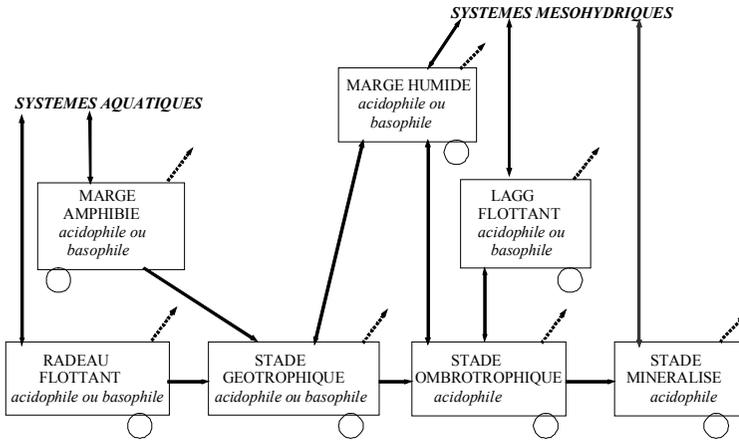
Tableau 2 : Correspondance entre les terminologies hydromorphologiques, vernaculaires et phytosociologiques, dans le cas des tourbières bombées prises globalement.

Plusieurs tourbières appartenant au même complexe de bassin vont représenter un macrotope en hydromorphologie (fig.1) et un holosigmatum en PSI. Le niveau d'intégration devient alors équivalent à celui d'une vallée alluviale avec ses versants (JULVE, 2009).

Il peut être intéressant de compléter la comparaison des entités précédemment évoquées avec la structure formelle de la végétation des tourbières (fig. 2). Le système humide que représentent les tourbières, intercalées entre des systèmes aquatiques et mésohydriques, comprend plusieurs niveaux hydriques et édaphiques qui se retrouvent dans le déterminisme des synusies muscinales et dans la position topographique occupée par les sphaignes (voir § II et III)..

2. Position des sphaignes dans les différents niveaux fonctionnels hydrologiques

Les deux tableaux suivants précisent la position des sphaignes acidophiles dans le déterminisme hydrique des différents compartiments hydrologiques tourbeux. Les liaisons à l'eau peuvent être précisées par des termes comparatifs correspondants à la réalité de terrain observé aussi bien dans les systèmes minéraux que dans les systèmes tourbeux. Ainsi le niveau mésohydrique correspond aux végétations ne possédant pas d'adaptation particulières vis-à-vis du facteur eau, ni limitant ni excédentaire. Le niveau xérophile implique une adaptation de toutes les plantes à la sécheresse, comme



flèche simple : dynamique possible ; flèche double : juxtaposition ;

flèche discontinue : dynamique possible vers le boisement ; cercle : dynamique de cicatrisation (= phases)

Figure 2 : Structure formelle de la végétation des tourbières mondiales (modifié d'après JULVE, 1996, 2004).

Dans chaque case, une ou plusieurs synusies peuvent suivre une succession dynamique ou être combinées en complexes (phytocoenose, tesela, catena, mésosigmetum).

on peut trouver sur les dalles à crassulacées par exemple. Il implique des adaptations morphologiques : cuticule épaisse, crassulescence, réduction des feuilles..., adaptatives vis-à-vis de la sécheresse du milieu. Le niveau aquatique implique par contre que toutes les plantes soient adaptées à la vie aquatique, comme dans les nupharies ou les myriophyllaies par exemple, avec absence de tissus de soutien, migration des stomates à la face supérieure des feuilles flottantes, développement d'aérenchymes etc. Les niveaux mésoxérophiles et mésohygrophiles, possèdent sur un fond d'espèces mésohydriques, quelques plantes adaptées en provenance des niveaux mitoyens. Les milieux humides : amphibie, hydrophile, hygrophile, se caractérisent par leur durée d'inondation et d'exondation et des espèces spécifiques. L'hygrophile est inondé pour une durée comptée en semaine, l'hydrophile en mois, l'amphibie exondable est exondé sur une durée plus courte que la période inondée, alors que l'amphibie permanent se caractérise par l'absence d'exondation et la présence de plantes dressées et donc non aquatiques sensu stricto. Chez les bryophytes et les sphaignes en particulier, les adaptations sont de nature physiologique et morphologique : formes plumeuses aquatiques, formes en coussins tassés réduisant l'évapotranspiration.

BUTTE, RIDE	BANQUETTE, REPLAT	CUVETTE, DEPRESSION, CHENAL (MARE,GUILLE)	
<i>Pleurozium schreberi</i> <i>Hypnum jutlandicum</i> <i>Leucobryum glaucum</i>			Mésoby- drique
<i>S. capillifolium</i> <i>S. strictum</i> <i>S. compactum</i> <i>S. molle</i> <i>Dicranum undulatum</i> <i>Polytrichum strictum</i>			Mésobygro- phile
<i>S. austinii</i> <i>S. fuscum</i> <i>S. magellanicum</i> <i>S. rubellum</i> <i>S. russowii</i> <i>S. warnstorffii</i>			Hygrophile
	<i>S. angustifolium</i> <i>S. papillosum</i> <i>S. subnitens</i> <i>S. subsecundum</i> <i>S. fallax</i> <i>S. teres</i> <i>S. denticulatum auric.</i> <i>S. inundatum</i> <i>S. pylaisii</i> <i>S. pulchrum</i> <i>S. balticum</i> <i>S. lenense</i> <i>S. subfulvum</i> <i>S. angermanicum</i> <i>Warnstorffia exannulata</i>		Hydrophile
		<i>S. tenellum</i> <i>S. cuspidatum</i> <i>S. lindbergii</i> <i>S. riparium</i> <i>S. majus</i> <i>S. jensenii</i> <i>S. denticulatum crassicl.</i> <i>S. obtusum</i> <i>S. aongstroemii</i> <i>Warnstorffia fluitans</i> <i>Cladopodiella fluitans</i>	Amphibie exondable
		<i>S. cuspidatum plumosum</i> <i>S. denticulatum obesum</i>	Amphibie permanent + Aquatique

Tableau 3 : Position hydrologique des sphaignes acidophiles et de quelques mousses typiques en conditions éclairées.

BUTTE, RIDE	BANQUETTE, REPLAT	CUVETTE, DEPRESSION, CHENAL (MARE, GOUILLE)	
<i>Pleurozium schreberi</i> <i>Hypnum cupressiforme</i> <i>Leucobryum glaucum</i> <i>Hylocomium splendens</i> <i>Bazzania trilobata</i>			Mésohydrique
<i>S. capillifolium</i> <i>S. quinquefarium</i> <i>S. girgensohnii</i> <i>S. russowii</i> <i>S. molle</i> <i>S. wulfianum</i>			Mésohygrophile
<i>S. magellanicum</i> <i>S. flexuosum</i>			Hygrophile
	<i>S. squarrosom</i> <i>S. fimbriatum</i> <i>S. palustre</i>		Hydrophile
		<i>S. denticulatum</i>	Amphibie exondable
			Amphibie permanent + Aquatique

Tableau 4 : Position hydrologique des sphaignes acidophiles et de quelques mousses typiques en conditions ombragées.

3. Synthèse phytosociologique des associations bryophytiques synusiales des tourbières acidophiles d'Europe occidentale

Le tableau phytosociologique résulte de la synthèse de 5649 relevés sélectionnés dans la littérature pour obtenir un échantillonnage représentatif des tourbières acidophiles de l'Europe occidentale. Les données s'échelonnent entre le Nord-Ouest de l'Europe (travaux de DIERSSEN, 1982, 1996, sur la Scandinavie et les îles britanniques) et le Sud-Est (travaux de STEINER, 1992 sur l'Autriche), en intégrant également des données de Finlande, d'Allemagne, de France, de Suisse, d'Espagne. Un premier tableau a été présenté en 2004 (JULVE, 2004), mais nous en fournissons ici une version augmentée de plusieurs colonnes et commentée écologiquement (les numéros renvoient aux colonnes du tableau I). La nomenclature des associations et des espèces suit Basebryo, qui reprend la nomenclature idiotaxinomique de la Base de Données des Bryophytes d'Europe (BDNBE gérée par Cécile LEMONNIER sur le site Tela-Botanica).

1. La communauté amphibie à *Sphagnum obtusum*, boréocontinentale est mal connue. Amphibie exondable, elle occupe des sols mésotrophiques à pH relativement élevé, autour de 6, mais se trouve fréquemment en contexte global de tourbière acide, en particulier dans les marges, d'où son inclusion dans cette synthèse. Elle tolère un certain ombrage et peut se rencontrer sous des saules ou en complexe avec des cariçaies.
2. Le Sphagnetum denticulati JULVE 2004, est une association planitiaire très commune, pionnière sur les fossés décapés des sols minéraux, ou en bord de tourbières. Elle colonise également les petites mares peu profondes où *S. denticulatum* (dans sa morphologie « *obesum* ») peut s'associer à *S. cuspidatum*. Elle accepte des sols mésoeutrophiques à pH autour de 5-6. Elle est amphibie exondable.
3. Une race hyperocéanique se distingue par *S. pylaisii*. Elle est connue du Finistère et des Asturies, mais doit exister également en Amérique du Nord. L'association forme des phytocénoses seule ou avec des communautés du *Juncion acutiflori* (voir baseveg et le projet tableaux phytosociologiques de tela-botanica pour la composition floristique, l'écologie et la liste des associations phanérogamiques composant ces écosystèmes).
4. Le *Cladopodiello fluitantis* - *Sphagnetum cuspidati* (OSVALD 1923) JULVE (1996) 2004, est l'association des mares et chenaux de tourbières bombées, en situation amphibie exondable avec des eaux oligotrophiques aux pH très acides (de l'ordre de 3-4). Elle est rencontrée en situation de dynamique secondaire de cicatrization des dépressions et gouilles de tourbières bombées plus ou moins exploitées, seule ou avec des groupements des *Menyantho trifoliatae* – *Caricetalia lasiocarpae*.
5. Le *Sphagnetum pulchri* JULVE 2004, est une association boréale, amphibie exondable, oligotrophile, acidophile (pH=4) rencontrée en contexte de tourbière bombée, généralement sur des marges de chenaux d'écoulement superficiels.
6. Le *Sphagnetum maji* JULVE 2004, amphibie exondable à permanent, est submergé dans les mares ou les tremblants des tourbières mésotrophiques, à pH autour de 5. Il côtoie des groupements des *Menyantho trifoliatae* – *Caricetalia lasiocarpae*.
7. Le *Philonotido seriatae* - *Warnstorffietum exannulatae* JULVE 2004, est une association acidocline, hydrophile, héliophile, associée aux tourbières basses (= bas-marais) à faible épaisseur de tourbe. Les communautés phanérogamiques associées en phytocénoses appartiennent à l'*Agrostio caninae* - *Caricion curtae* ou au *Juncion acutiflori*. La communauté bryophytique est largement répandue en domaine boréal planitiaire et en étage montagnard des massifs d'Europe moyenne. Elle affectionne les sols paratour-

beux à pH autour de 5, bien alimentés en eau froide relativement oxygénée, souvent fluante.

8. Le *Sphagnetum subsecundi* JULVE 2004, est également une association acidocline, hydrophile, héliophile, associée aux tourbières basses à faible épaisseur de tourbe, mais sa répartition est boréale planitiaire à montagnarde-subalpine pour les massifs d'Europe moyenne. Par comparaison avec le *Philonotido – Warnstorffietum* l'eau est ici plus stagnante et souvent moins pauvre en nutriments. Ainsi les contacts phytocénétiques sont plus fréquents avec l'*Agrostio caninae – Caricion curtae*.

9. Le *Straminergo straminei – Sphagnetum angustifolii* JULVE, 1993 ex 2004, est lui davantage lié aux contextes de tourbière haute ombrotrophile, même s'il occupe alors des zones hydrophiles où l'eau peut fluer. Le pH est plus acide (autour de 4) et les communautés phanérogamiques en contact sont plus souvent du *Molinio caeruleae subsp. caeruleae – Eriophorion vaginati subsp. vaginati*.

10. Le *Sphagnetum squarroso – fimbriati* JULVE 1992 prov. ex hoc loco, est une association de zones paratourbeuses acidophiles, hydrophiles, ombragées. On la rencontre en contexte planitiaire-collinéen de l'Europe moyenne par exemple dans les boulaies pubescentes paratourbeuses, mais parfois aussi sous aulnaie. Elle accepte une eau légèrement fluante à pH autour de 4,5 à 5, en conditions franchement mésotrophiques. Les communautés phanérogamiques associées, outre les arbres, sont plus souvent juxtaposées que superposées et ressortent des *Junco acutiflori – Caricetalia nigrae*.

11. La communauté à *Pseudobryum cinclidioides – Sphagnum squarrosus* est la version boréale de l'association suivante. Il n'est pas encore clair de l'élever au rang d'association vicariante ou de simple race.

12. Le *Polytricho communis – Sphagnetum fallacis* (HUECK 1925) JULVE (1996) 2004, est l'association hydrophile très commune des zones paratourbeuses acidophiles, en superposition avec les grpts héliophiles du *Juncion acutiflori*, mais que l'on trouve également dans les dépressions périphériques (lagg ou pseudo-lagg) des tourbières ombrotrophiques ou dans les zones perturbées des tourbières exploitées, en conditions parfois ombragées. Le pH des sols est autour de 5 à 5,5 et les sols sont mésotrophiques.

13. Le *Sphagnetum riparii* (DAHL, 1956) CHIPON, DENY, ESTRADÉ, NARDIN & VADAM 1988, hydrophile, préfère les pH relativement élevé (autour de 6) et les sols mésotrophiques, au bord des fossés et sur la marge des rivières, en contexte tourbeux. Il peut tolérer un certain ombrage. Il cohabite avec des groupements des *Junco*

acutiflori – *Caricetalia nigrae*. On peut en distinguer une race méridionale à *Sphagnum fallax*, *Polytrichum commune*, et...

14. ...une race boréale à *Sphagnum lindbergii*, *S. balticum*, *S. aongstroemii*.

15. Le *Drepanoclado schulzei* - *Sphagnetum lindbergii* (DAHL 1956) JULVE 2004, est une association boréale qui ne quitte guère la Fennoscandie. Elle est hydrophile et forme des tremblants limnogènes, ou apparaît au bord des torrents. Les conditions sont mésooligotrophiques et le pH autour de 5. Les *Menyantho trifoliatae* – *Caricetalia lasiocarpae* sont le plus souvent au contact phytocénotique.

16. Le *Gymnocolo inflatae* - *Sphagnetum tenelli* (JENSEN 1961) JULVE (1993) 2004, est l'association hydrophile, cicatrisant les chenaux acidophiles de tourbières bombées, en conditions mésooligotrophiques, à pH 5. *S. tenellum* y est souvent associé avec la forme des zones humides de *S. compactum*. La végétation phanérogamique en phytocénose appartient au *Molinio caeruleae* - *Eriophorion vaginati*, voire aux *Drosero* – *Rhynchosporetalia*..

17. Le *Sphagnetum subnitento* - *papilloso* (CAJANDER 1913) JULVE (1996) 2004, est l'association hydrophile répandue en plaines et montagnes de climat atlantique. Elle est rencontrée à la base des buttes de tourbières bombées en contact avec le *Molinio caeruleae* - *Eriophorion vaginati*, mais également en situation plus pionnière en bas-marais acidophile et alors en contact avec le *Juncion acutiflori* dans lequel l'association forme des replats disjoints finissant par coalescer. Le pH se situe autour de 4,5 à 5 et les conditions de nutrition sont oligotrophiques à mésooligotrophiques. On peut distinguer une race boréale à *S. balticum*, *S. lindbergii*, et...

18. ...une race méridionale à *S. tenellum*, *S. capillifolium*, *Odontoschisma sphagni*.

19. Le *Sphagnetum rubello* - *magellanicum* (OSVALD 1923) JULVE (1996) 2004, hygrophile, est l'association centrale des buttes de tourbières bombées ombrotrophiques, en conditions oligotrophiques à pH 3 à 4. C'est l'une des associations les plus turfigènes à l'heure actuelle. Elle est répandue dans tout l'Holarctique. En régression en Europe, elle entre en phytocénose avec des grpts chaméphytiques tel ceux du *Vaccinio microcarpi* - *Empetrium nigri subsp. hermaphroditi*, boréomontagnard ou de l'*Ulici minoris* - *Ericion tetralicis* atlantique. Plus rarement dans les replats elle accompagne des groupements du *Molinio caeruleae* - *Eriophorion vaginati*. En Amérique du Nord, ce sont d'autres combinaisons phanérogamiques à déterminisme géographico-historique qui apparaissent. L'association est normalement héliophile mais peut supporter un certain

ombrage. La race nordique est différenciée par *S. rubellum*, alors que...

20. ...la race méridionale accueille plutôt *S. capillifolium*.

21. Le *Sphagnetum russowii* JULVE 2004, est circumpolaire et ne se retrouve que dans les montagnes, parfois même au subalpin, plus au sud. Il préfère les conditions hygrophiles, mésotrophiques, à pH autour de 4 et supporte facilement l'ombrage. Les épaisseurs de tourbes sont généralement faibles.

22. Le *Mylio anomalae* - *Sphagnetum fusci* (CAJANDER 1913) JULVE (1993) 1999, est une association hygrophile en régression en Europe, même si son aire holarctique atteint l'Amérique du Nord et même le Japon où sa composition floristique est exactement la même (voir JULVE 1999). Acidophile (pH autour de 4) et oligotrophile, elle semble plutôt boréocontinentale, dans la mesure où les populations britanniques représenteraient un autre taxon (FLATBERG, comm. orale). On la rencontre dans les tourbières naturelles peu ou pas perturbées. On peut distinguer une race boréale typique...

23. et une race méridionale avec *Sphagnum tenellum* et *Odontoschisma sphagni*.

24. Le *Kurzio pauciflorae* - *Sphagnetum austinii* (OSVALD 1923) JULVE 2004 corr. hoc loco, est une association boréocéanique qui semble en voie de disparition en Europe. Elle est hygrophile, acidophile (pH=3-4), oligotrophile. La sphaigne éponyme semble avoir été très répandue dans les temps post-glaciaires, dans la mesure où ses feuilles forment une bonne partie de la masse basale des tourbes ombrotrophiques.

25. Le *Ptilidio ciliaris* - *Sphagnetum capillifolii* (KOCH 1928) JULVE (1993) 2004, est une association très répandue sur les hauts de buttes mésohygrophiles et oligotrophiques des tourbières bombées ombrotrophiques, à pH =4. Principalement héliophile, elle peut tolérer un certain ombrage et on la retrouve en pinède ou même dispersée sous pessière. On la voit également sur des éboulis rocheux frais et humides en montagne (tourbières condensarogènes), et elle peut coloniser directement les pierres. Les « pompons de marins » formés par la sphaigne éponyme sont caractéristiques d'une adaptation à la réduction de la surface évaporante, qui se retrouve de manière fractale à l'échelle de la butte.

26. Le *Sphagnetum stricto - compacti* (OBERDORFER 1938) JULVE (1996) 2004, est une association mésohygrophile beaucoup plus rare, sur des substrats oligotrophiques parfois un peu minéralisés en surface (buttes s'asséchant), à pH =3. Comme les associations précédentes, il forme des phytocénoses principalement avec des communautés

phanérogamiques chaméphytiques. Sa répartition est océanique à subocéanique.

27. Le *Campylopo atrovirentis* - *Pleurozietum purpureae* (BRAUN-BLANQUET & TÜXEN, 1952) JULVE 2004, est une association hyperatlantique, oligotrophile, mésohygrophile, à pH=4 à 5, qui se cantonne aux îles britanniques. Elle est proche de la précédente, mais s'en distingue par une adaptation plus marquée aux eaux de pluies chargées en sels. Elle forme phytocénose avec des associations phénarogamiques plutôt dominées par des hémicryptophytes, mais accepte quelques chaméphytaies.

28. Le *Plagiothecio undulati* - *Sphagnetum quinquefarrii* KURKOVA 1978, est l'association des buttes dispersées dans les pessières ou les pinèdes. Il est sciaphile, mésohygrophile, oligotrophile, pH=3. La répartition européenne est boréomontagnarde. Les chaméphytaies forestières et les arbres forment la phytocénose.

29. Le *Sphagnetum russowio* - *girgensohnii* FRELECHOUX 1997, est également forestier le plus souvent dans les pessières boréomontagnardes. Il est sciaphile, mésohygrophile, mésooligotrophile, pH=4. Il accompagne les mêmes phytocénoses que le précédent.

4. Tableau de Mendeleiev

Outre les schémas systémiques, il est possible de représenter la position écologique des associations végétales d'un site dans un écogramme réalisé suivant le principe du tableau de Mendeleiev, c'est-à-dire en tentant de rechercher les associations de chaque case ou d'expliquer leur impossibilité de présence locale. Il semble que la première tentative suivant ce principe soit due à JULVE (1989), dans un travail sur les forêts de l'Avesnois. Depuis lors, une douzaine de tableaux de Mendeleiev représentatifs de terroirs ont été mis en ligne sur Tela-Botanica. Nous en donnons ci après un exemple pour le marais tourbeux de Villiers dans le Pas-de-Calais (Double page suivante).

Bibliographie (suite page 124)

- BRAUN-BLANQUET J. & TÜXEN R., 1952. Irische Pflanzengesellschaften. Veröff. Geobot. Inst. Rübel, 25 : 224-421.
- CAJANDER A.K., 1913. Studien über die Moore Finnlands. Acta Botan. Fennica, 29 : 1-108.
- CHIPON B., DENY J., ESTRADE J., NARDIN D. et VADAM J.-C. 1988. Enquête phytosociologique et bryophytique de la forêt de la Grande Basse, commune de La Bresse (Vosges). Bull. Soc. Hist. Nat. Pays Montbéliard, 105 - 117.
- DAHL E., 1956. Rondane ; mountain vegetation in south Norway and its relation to the environment. Skr. Norske VidenskAkad. I. Nat.-Naturv. Kl. 3.
- DIERSSEN K. 1982. Die wichtigsten Pflanzengesellschaften der Moore NW-Europas. 382 p. + tab. h.t. Conservatoire et jardin botanique, Genève.
- DIERSSEN K. 1996. Vegetation Nordeuropas. Ulmer, Stuttgart. 838 p.
- FRELECHOUX F. 1997. Etude du boisement des tourbières hautes de la chaîne jurassienne : typologie et dynamique de la végétation – approche dendroécologique des peuplements arborescents. Thèse, Univ. Neuchâtel.
- GILLET F., FOUCAULT B. DE & JULVE PH. 1991. La phytosociologie synusiale intégrée : objets et concepts. *Candollea* 46 : 315-340.
- HUECK K., 1925. Vegetationsstudien auf brandenburgischen Hochmooren. Beitr. Naturdenkmalpfl., 10 : 311-407.
- IVANOV, K. 1975. Vodoobmen v bolotnych landsaftach [Echanges d'eau dans les paysages de tourbières]. Gidrometeoizdat, Leningrad.
- IVANOV K. 1981. Water movements in mirelands. Academic press, London. 276 p.
- JENSEN U. 1961. Die Vegetation des Sonnenberger Moores im Oberharz und ihre Ökologischen Bedingungen. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen (ed. Nieders. Landesverwaltungsamt). I : 85 p.
- JULVE PH. 1989. Catalogue des stations forestières de l'Ardenne primaire. 2 h. t., CRP, Bailleul. 221 p.
- JULVE PH. 1992. Adaptation au contexte français de la typologie Corine-Biotopes. MNHN, Secrétariat Faune-Flore.
- JULVE PH. 1993. Synopsis phytosociologique de la France (communautés de plantes vasculaires). *Lejeunia*, N.S., 140 : 160 p.

Marais de Villiers, Pas-De-Callais (Julve 2007)

HERBACÉE INTERNE MAGNO ET PARVO (ourlet interne et de coupe)	LIGNEUSE ARBUSTIVE INTERNE (manteau interne et de coupe)	LIGNEUSE ARBORESCENTE (forêt climacique)	DYNAMIQUE	LIGNEUSE ARBUSTIVE EXTERNE (manteau externe)
			NUTRIMENTS DU SOL (niveau trophique)	tourbeux mésotrophique
∅	∅	∅	xérophile	∅
∅	∅	∅	mésoxérophile	∅
∅	∅	∅	mésohydrique	∅
?	?	?	mésohydrophile	?
?	?	?	hygrophile [courtement inondable]	<i>Frangulo dodonei - Salicetum cinereae</i>
<i>Caricetum ripario - acutiformis</i> <i>thelypteridetosum</i> ? <i>Thelypterido palustris -</i> <i>Phragmitetum australis</i>	(<i>Ribesetum rubro - nigri</i>)	(<i>Betulo pubescentis</i> subsp. <i>pubescentis - Ainetum</i> <i>glutinosae, ainetosum</i> <i>glutinosae</i>) (+ <i>Ribesetum rubro - nigri</i>) (+ divers grpts herbacés)	hydrophile [longuement inondable]	<i>Frangulo dodonei - Salicetum cinereae</i>
?	?	?	amphibie exondable [superficiel]	?
∅	∅	∅	amphibie permanent [profond]	∅

HERBACÉE VIVACE ENRACINÉE	HERBACÉE VIVACE ENRACINÉE	DYNAMIQUE	HERBACÉE VIVACE ENRACINÉE
eau courante eutrophe	eau courante mésotrophe	NUTRIMENTS DU SOL (niveau trophique)	eau stagnante oligodystrophe
∅	∅	aquatique superficiel [50cm]	<i>Utricularietum intermedio - minoris</i>
∅	∅	aquatique moyennement profond [1m]	<i>Potamogetonatum colorati</i>
∅	∅	aquatique profond [2-4m]	?
∅	∅	aquatique très profond [10m]	∅
		PROFONDEUR (VEGETATION AQUATIQUE)	

LEGENDE

- () : potentiel ou non observé
- ∅ : impossibilité sur la zone d'étude, en l'état actuel
- ? : groupement non identifié, ou doute
- italique* : groupement annuel
- en vert : groupements bryophytiques

HERBACEE EXTERNE (ourlet externe naturel)	HERBACEE (mixte ou pâture extensive)	HERBACEE SURPIETINEE	
tourbeux mésotrophique	tourbeux mésotrophique	tourbeux mésotrophique	type de sol le plus fréquent
∅	∅	∅	RENDZINE
∅	∅	∅	SOL BRUN CALCAIRE
∅	∅	∅	SOL BRUN ACTIF
?	grpt à <i>Ophioglossum vulgatum</i> & <i>Scorzonera humilis</i>	?	TOURBE
<i>Cladietum marisci</i> <i>Caricetum ripario - acutiformis</i> ?	<i>Hydrocotylo vulgaris</i> - <i>Juncetum subnodulosi</i>	<i>Anagallido tenellae</i> - <i>Eleocharitetum quinqueflorae</i>	TOURBE
<i>Cladietum marisci</i> <i>Caricetum ripario - acutiformis</i> ?	(<i>Cirsio dissecti</i> - <i>Schoenetum</i> <i>nigricalitis</i>) <i>Pseudocalliergono</i> <i>lycopodioidis</i> - <i>Calliergonetum</i> <i>gigantei</i>	<i>Anagallido tenellae</i> - <i>Eleocharitetum quinqueflorae</i>	TOURBE
<i>Caricetum elatae</i>	<i>Juncus subnodulosi</i> - <i>Caricetum</i> <i>lasiocarpae</i> <i>Pseudocalliergono trifarii</i> - <i>Scorpidietum scorpioidis</i>	<i>Sparganietum minimi</i>	TOURBE
(<i>Menyantho trifoliatae</i> - <i>Equisetum fluviatilis</i>)	(<i>Menyantho trifoliatae</i> - <i>Equisetum fluviatilis</i>)	∅	VASE ORGANIQUE TOURBEUSE

HERBACEE VIVACE ENRACINEE	HERBACEE ANNUELLE ENRACINEE	HERBACEE ANNUELLE ENRACINEE	HERBACEE ANNUELLE LIBRE FLOTTANTE	
eau stagnante eutrophe	eau stagnante oligodystrophe	eau stagnante eutrophe	eau stagnante oligodystrophe	type de sol
∅	grpt à <i>Chara sp.</i>	∅	<i>Utricularietum vulgaris</i>	VASE ORGANIQUE TOURBEUSE
∅	?	∅	<i>Utricularietum vulgaris</i>	VASE ORGANIQUE TOURBEUSE
∅	∅	∅	∅	VASE ORGANIQUE TOURBEUSE
∅	∅	∅	∅	VASE ORGANIQUE TOURBEUSE

[compilation: P.J. harmonisation nomenclaturale: P.J. [nomenclature des bryophytes: BDNSC], déplacement de colonnes et de ligne: ou]

CODE CATHMAT

n° origines de colonnes	1999 (tourbières acidophiles)																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
nombre de relevés	x																												
Aulacomnium palustre - Sphagnum fallax Julve 1992	1999 (tourbières acidophiles)																												
0082.0.1.0.1	IV																												
0082.0.1.0.1		V																											
0082.0.1.0.1			V																										
0082.0.1.0.1				V																									
0082.0.1.0.1					V																								
0082.0.1.0.1						V																							
0082.0.1.0.1							V																						
0082.0.1.0.2								V																					
0082.0.1.0.2									V																				
0082.0.1.0.2										V																			
0082.0.1.0.2											V																		
0082.0.1.0.2												V																	
0082.0.1.0.2													V																
0082.0.1.0.2														V															
0082.0.1.0.2															V														
0082.0.1.0.2																V													
0082.0.1.0.2																	V												
0082.0.1.0.2																		V											
0082.0.1.0.2																			V										
0082.0.1.0.2																				V									
0082.0.1.0.2																					V								
0082.0.1.0.2																						V							
0082.0.1.0.2																							V						
0082.0.1.0.2																								V					
0082.0.1.0.2																									V				
0082.0.1.0.2																										V			
0082.0.1.0.2																											V		
0082.0.1.0.2																												V	
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													V
0082.0.1.0.2																													

Bibliographie (suite et fin)

- JULVE PH. 1996. La végétation des tourbières de France. Cah. Sci. Tec. Rés. Tourb. Fra., 1 : 8-26.
- JULVE PH. 1999. Botanical vicariance in some mire vegetation between Hokkaido and Europe. Acta Botanica Gallica, 146 (3) : 207-225.
- JULVE PH. 2002. Basebryo. Base de données des végétations bryophytiques. Version [date de la version utilisée]. Programme Catminat. <http://perso.wanadoo.fr/philippe.julve/catminat.htm> et Tela-Botanica.org/projet tableaux phytosociologiques.
- JULVE PH. 2004. World mire classification : an approach based on their origin, development and vegetation. International Peat journal 12 : 41-54. [*Proceedings of the IMCG International Biennial Symposium in Kushiro (Japan) 1996*]
- JULVE PH. 2009. Phytosociologie. 21 p. Univ. Catholique de Lille.
- KOCH W. 1928. Die höhere Vegetation der subalpinen Seen und Moorgebiete des Val Piora. Zeitschr. Hydrol., 4 : 131-174. Aarau.
- KURKOVA J. 1978. The survey of bryophyte communities on sandstones in Bohemia. – Proc. Cryptogamol. Symp. Slovak Acad. Sci., Smolenice, p. 251-257
- LINDSAY R. 1995. Bogs : The ecology, Classification and Conservation of Ombrotrophic Mires. Scottish Natural Heritage, Perth. 119 p.
- LINDSAY R., CHARMAN D., EVERINGHAM F., O'REILLY R., PALMER M., ROWELL T. & STROUD D. 1988. The Flow Country. The peatlands of Caithness and Sutherland. NCC, Peterborough. 174 p.
- OBERDORFER E., 1938. Ein Beitrag zur Vegetationskunde des Nordschwarzwaldes. Beitr. Naturk. Forsch. Südwestdeutshl., 3.
- OSVALD H. 1923. Die Vegetation des Hochmoores Komosse. Sv. växtsoc. sällsk. handli. 1, 436 p. Uppsala.
- STEINER M. 1984. Österreichischer Moorschutzkatalog. 509 p. BMGU, Wien.
- SUCCOW M. & JOOSTEN H. 2001. Landschaftsökologische Moorkunde (2nd ed.). Schweizerbart, Stuttgart. 622 p. + 2 tab. h.t.

Zur aktuellen Situation der Moorlibellen im «Pfälzerwald» – wie lange können sie sich in Zeiten des Klimawandels noch halten?

Jürgen OTT

L.U.P.O.GmbH, Friedhofstraße 28
D - 67705 TRIPPSTADT

Zusammenfassung :

In dem Beitrag wird die Situation der Moorlibellen in dem deutschen Teil des Biosphärenreservats «Pfälzerwald -Vosges du Nord» analysiert, wobei deren Verbreitung bis 2007 und ihre Bestandsentwicklung in der letzten Jahrzehnten analysiert wird. Waren die meisten Moorarten bis in die achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts noch recht weit verbreitet, so haben sie danach deutlich abgenommen, was auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden kann (u.a. Biotopdegradation). In den jüngst vergangenen Jahren hat sich dieser Rückgangprozess nochmals wegen der extremen Trockenheit im Jahr 2003 und der allgemeinen Klimaveränderung beschleunigt. Die meisten Arten sind nun nur noch inselhaft verbreitet und/oder haben sehr kleine Populationen. Möglichen Regenerations- und Wiederbesiedlungsprozessen steht entgegen, dass sich in den Gewässern zwischenzeitlich andere Lebensgemeinschaften etabliert haben und die Gewässer sich auch strukturell verändert haben (Sukzessionsprozesse bei Wasser- und Ufervegetation). Die dystrophen Wooge (FFH-Lebensraumtyp, Natura 2000-Code 3160) verlieren dabei nicht nur ihre typische Eigenheit, sondern auch ihre Bedeutung für das Netz Natura 2000, was die Libellenzönosen sehr gut indizieren.

Résumé :

Dans ce travail, la situation des libellules inféodées aux tourbières dans la partie allemande de la réserve de biosphère «Pfälzerwald -Vosges du Nord» est étudiée, en particulier leur distribution en 2007 et l'évolution de leur population au cours des dernières décennies. Si la plupart des libellules des tourbières étaient encore très répandues jusque dans les années 80, leur nombre a nettement diminué, ce qui peut être expliqué par plusieurs facteurs (notamment la dégradation des biotopes). La diminution du nombre des libellules s'est encore accélérée ces toutes dernières années à cause de la grande sécheresse de 2003 et du changement climatique en général. La plupart des espèces n'existe plus que de façon ponctuelle et/ou ne compte que de très faibles populations. Une restauration possible ou un processus de repeuplement serait difficile à cause des autres communautés d'espèces qui, entre-temps, se sont installées dans ces

eaux qui elles-mêmes se sont modifiées structurellement (processus de succession pour la végétation aquatique et des berges). Les eaux stagnantes dystrophes (Directive Habitats - type d'habitat Natura 2000 : Code 3160) perdent non seulement leur caractère particulier mais aussi leur importance pour le réseau Natura 2000, ce que les communautés de libellules prouvent bien.

Summary :

In this contribution, the situation is analyzed with regard to mires dragonflies in the German part of the Pfälzerwald -Vosges du Nord Biosphere Reserve, in which a comparison is made between their distribution up to 2007 and their development in the past few decades. While most types of mires were still fairly widespread up until the nineteen-eighties, they have since shrunk significantly, something which is attributable to a number of causes (among other, biotope degradation). In most recent years, this regression process has been accelerated still further due to the extreme dryness in 2003 and the general climate change. Most types are now only found in isolated waters and/or have very small populations. Possible regeneration and resettlement processes are hindered by other communities, which have been established in the meantime in the water bodies, and these water bodies also have changed their structure (succession processes involving water and riverbank vegetation). The dystrophic ponds areas (FFH habitat type, Natura 2000-Code 3160) are in this context not only losing their unique features, but also their significance for the Natura 2000 network, which is very well indicated by the dragonfly coenoses.

Schlüsselwörter : Libellen, Moore, Klimawandel, Wooge, NATURA 2000, Monitoring

1. Einleitung

Die verschiedenen Moorbiotope und die in diesen Lebensräumen typischen Arten gehören mittlerweile zu den am stärksten gefährdeten Biotopen (BFN, 2005) und unterliegen aufgrund ihrer Abhängigkeit von einem ausreichenden Wasserdargebot auch zukünftig – betrachtet man die Szenarien hinsichtlich der Klimaänderung (IPCC, 2007; MUFV, 2007) – einem besonderen Stress. In unserem Raum, was auch das Biospärenreservat betrifft, werden weiterhin steigende Temperaturen und extreme Trockenphasen im Sommer vorhergesagt.

Es ist abzusehen, dass die prognostizierten abiotischen Rahmenbedingungen (allgemeine Mediterranisierung unseres Klimas: heißere und extremere Sommer, Nieder-

schläge v.a. im Winter) zu einem verstärkten Wechsel der Wasserstände im Sommer führen werden, wobei vermehrt auch mit Austrocknungsprozessen zu rechnen ist. Dies dürfte vor allem bei kleinen und flachen Gewässern, sowie Gewässern mit kleinen Einzugsgebieten der Fall sein und auch für den Pfälzerwald zutreffen, auch wenn in andere Regionen dieser Trend sicher ausgeprägter nachzuweisen sein wird. Das so genannte «Extremjahr 2003», dem jedoch weitere Jahre mit extrem hohen Temperaturen folgten, ließ diese Effekte erstmals offenbar werden und sie zeigten sich ja auch im Biosphärenreservat sehr deutlich.

In dem vorliegenden Beitrag soll aufgezeigt werden, wie sich die Libellenfaunen einzelner Gewässer(-komplexe) und der gesamten Pfalz verändert haben und sich möglicherweise weiter entwickeln werden, wobei ein besonderes Augenmerk auf den «Moorlibellen» liegt. Als «Moorlibellen» werden hier die Arten bezeichnet, die in der Pfalz vornehmlich an Moorbiotopen (Niedermoore, *Spagnum*-Schwinggrasen und -Verlandungszonen, dystrophe Gewässer etc.) vorkommen und für diese typisch sind. Dies sind vor allem die Arten *Coenagrion hastulatum*, *Aeshna juncea*, *Somatochlora arctica* und *Leucorrhinia dubia*; daneben wären weitere Arten zu nennen, die jedoch ein breiteres Spektrum an besiedelten Biotopen zeigen, wie u.a. *Orthetrum coerulescens* oder *Sympetrum danae*

2. Veränderungen in der Libellenfauna des Biosphärenreservats – einige Bausteine

2.1 Die Veränderung der regionalen Fauna

Die Libellenfauna der Pfalz hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verändert, was bereits vor einiger Zeit ausführlich dargestellt wurde (OTT, 1996). In der Zwischenzeit hat sich dieser Prozess noch fortentwickelt, weitere mediterrane Arten treten in der Pfalz immer öfter auf bzw. haben auch autochthone Populationen entwickelt – dies trifft natürlich auch für das Biosphärenreservat «Pfälzerwald-Vosges du Nord» zu.

Beispielsweise war die Feuerlibelle (*Crocothemis erythraea*) Mitte der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts in der Rheinebene zwar schon an mehreren Gewässern dauerhaft bodenständig, doch noch relativ lokal verbreitet. Heute ist sie praktisch bis an den Haardtrand omnipäsent, besiedelt die unterschiedlichsten Gewässer und hat in den letzten Jahren auch den zentralen Pfälzerwald besiedelt (OTT, 2007a).

Weiterhin werden heute vermehrt *Sympetrum meridionale* und *Aeshna affinis*, letztere seit 1997 auch sicher bodenständig (OTT, 1997), nachgewiesen und von schwankenden Wasserständen profitieren Arten wie *Lestes barbarus* und *Ischnura pumilio* (OTT, 2006a, 2008). Jüngst konnte *Coenagrion scitulum* erstmals in der Pfalz gefunden werden, die sich in kurzer Zeit auch über einen großen Bereich ausgebreitet hat (Lingenfelder 2008). Dies sind nun keine Einzelbeispiele, sondern es ließen sich weitere anführen, was u.a. dem aktuellen Atlas der SaarLorLux-plus-Region zu entnehmen ist (bezeichnet im Folgenden als SLL+-Großregion, siehe: TROCKUR *et al.*, 2010).

Art	Anzahl Rastervierecke mit Nachweis	Zunahme Rastervierecke mit Nachweis (absolut)	Prozentualer Anteil der Rastervierecke mit Nachweis
<i>Crocothemis erythraea</i>	149	+ 109	25,3
<i>Erythromma viridulum</i>	212	+ 107	36,1
<i>Calopteryx virgo</i>	409	+ 101	69,6
<i>Sympetrum sanguineum</i>	354	+ 87	60,2
<i>Cordulia aenea</i>	306	+ 81	52,0
<i>Calopteryx splendens</i>	421	+ 79	71,6
<i>Platycnemis pennipes</i>	422	+ 74	71,8
<i>Gomphus pulchellus</i>	296	+ 74	50,3
<i>Aeshna mixta</i>	273	+ 73	46,4
<i>Anax imperator</i>	421	+ 72	71,6

Tab. 1 : Zunahme einiger Arten in der SLL+-Großregion - Vergleich der Situation bis 1989 und danach (siehe TROCKUR *et al.* 2010; Gesamtzahl der Raster: 588, Gesamtzahl der Raster mit Libellennachweisen: 536).

Der früher schon beschriebene Trend zu einem steigenden Anteil mediterraner Faunenelemente in der Pfalz hält also hier und im weiteren Umfeld an und die Veränderung zu Gunsten Wärme liebender Libellenarten hat sich manifestiert (OTT, 2001a ; HICKLING *et al.*, 2005).

Dies bedeutet, dass die mediterranen Arten in der Pfalz sowohl an Zahl zugenommen haben, als auch ihre Populationen größer wurden und sie weiter verbreitet sind – also nicht mehr nur auf die klimatisch begünstigte Rheinebene und/oder einzelne Gewässer beschränkt sind.

Damit steigt auch ihre Fähigkeit, andere und neue Gewässer zu besiedeln, wodurch naturgemäß auch die Wahrscheinlichkeit steigt, dass bisher nicht besiedelte Gewässer und Gewässertypen von diesen Arten besiedelt werden: einmal, da sie öfter auf bisher unbesiedelte Gewässer treffen können, zum anderen, da der Druck steigt, neue Gewässer als Lebensraum zu «erschließen».

So lange die Moorgewässer jedoch einen stabilen Wasserhaushalt haben, ist die Wahrscheinlichkeit relativ gering, dass sie von den mediterranen Arten besiedelt werden, denn sie haben eine Vorliebe für wärmere Gewässer mit eher offenen Uferbereichen. Verändern sich aber die Moorgewässer, z.B. wenn infolge fallender Wasserstände offene Uferbereiche entstehen und die Wasserkörper kleiner werden, wodurch sie sich stärker aufheizen können, so werden sie auch für die Gruppe der mediterranen Libellenarten «interessant».

Als Beispiel für eine derartige Entwicklung soll die Veränderung der Libellenfauna des Monitorringgebietes «Kolbental», in dem seit 1998 ein ökologisches Monitoring durchgeführt wird, vorgestellt werden.

2.2 Das Monitoring-Gebiet «Kolbental» – Biotope und Arten

Das Monitoring-Gebiet «Kolbental» wird von dem seit 1997 ausgewiesenen und ca. 55 ha großen Naturschutzgebiet (NSG) «Täler und Verlandungszone am Gelterswoog» gebildet, das südwestlich von Kaiserslautern gelegen ist (vgl. Abb. 1). Es umfasst die Täler Walkmühltal, Erlental und Kolbental, die zum Rotenwoogtal zusammenstoßen; an dessen südöstlichen Ende ist der Gelterswoog gelegen. Neben diesem – und als Freizeitgewässer genutzten – aufgestauten Woog gibt es noch 10 weitere Wooge in dem NSG, wobei der Kolbenwoog und die beiden Erlentalweiher die ökologisch bedeutsamsten sind (alle vier genannten Wooge sind dystrophe Gewässer mit *Sphagnum*-Verlandungszonen und damit FFH-Biotoptypen). Neben diesen Stillgewässertypen finden sich auch verschiedene Fließgewässer, sowie Feuchtbrachen, Erlenbrüche etc. mit einer reichhaltigen Feuchtgebietsflora und -fauna. Dieses Naturschutzgebiet ist auch ein Kerngebiet des FFH-Gebietes «Biosphärenreservat Pfälzerwald» (Gebietsnummer 6812-301).

Da in diesem Gebiet die Entnahme von bis zu einer Million cbm p.a. Wasser zur Trinkwasserversorgung ab dem Sommer 2001 erfolgte, wurde ein begleitendes hydrogeologisches und ökologisches Monitoring ab dem Jahr 1998 durchgeführt, um die Umweltverträglichkeit zu gewährleisten (OTT, 2000, 2001b).

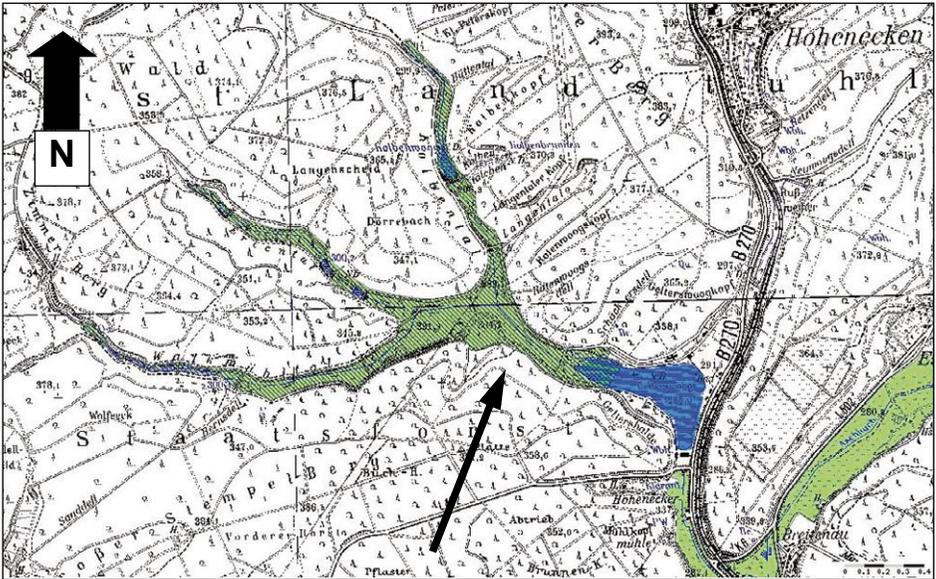


Abb. 1 : Lage des NSG's «Täler und Verlandungszone am Gelterswoog» südwestlich von Kaiserslautern (Pfeil) – rechts schließt das NSG «Aschbachtal» an (Quelle : www.natur2000.rlp.de)

Veränderungen der abiotischen Rahmenbedingungen während des Monitorings

Nach bisherigem Kenntnisstand sind für das Gebiet – bezogen auf die Wasserhaushaltssituation – vor allem auch die klimatischen Rahmenbedingungen entscheidend. Diese schwankten in den letzten Jahren sehr stark, was die Tabelle 2 zeigt (diese Daten sind in einem gewissen Maße auch repräsentativ für die klimatische Situation im BSR, auch wenn lokal natürlich deutliche Unterschiede auftreten können).

Daneben ist die Entnahme aus zwei Tiefbrunnen, die laut den Aussagen der Hydrogeologen aber eigentlich nicht zu einer Veränderung des Oberflächenwasserhaushaltes führen dürfte – was seitens des Naturschutzes jedoch bestritten wird (für ein benachbartes Gebiet siehe : LAUER & NÄGLE (2005)) – zu erwähnen. Diese Entnahmen, vorausgesetzt sie haben einen Einfluss, würden die Situation natürlich noch verschärfen und würden eine zukünftige spätere Situation (i.S.: Effekte einer weiter steigenden Temperatur und erhöhtem Trockenstress) somit vorwegnehmen.

Niederschläge in [mm]	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	vieljähiges Mittel
Januar	71	50	39	85	50	84	95	39	22	64	50	46	52
Februar	7	57	78	50	155	13	27	41	30	96	48	55	50
März	59	79	59	182	70	15	38	38	65	84	106	59	46
April	17	59	35	80	44	28	39	98	34	1	61	43	44
Mai	39	55	153	18	129	99	63	63	93	83	62	29	66
Juni	65	62	36	54	41	29	56	45	35	126	99	110	72
Juli	61	87	178	64	100	44	62	67	48	80	34	143	62
August	18	51	85	129	108	32	132	60	189	69	57	34	76
September	45	44	67	98	41	46	38	68	65	63	59	35	52
Oktober	97	51	59	47	143	53	55	48	86	13	70	59	43
November	85	11	55	123	104	50	36	45	32	43	25	81	61
Dezember	72	40	123	62	65	38	31	62	39	77	44	99	63
Gesamt / Jahr	620	772	940	982	1051	530	673	672	738	799	713	793	692

Tab. 2 : Klimaentwicklung an der Station Morlautern (www.agrarinfo.rlp.de).

Während in einigen Jahren deutliche Überschüsse an Niederschlägen zu verzeichnen sind, folgten zwischen 2003 und 2005 Defizitjahre (dunkel hinterlegt), im gesamten Zeitraum ist die Temperatur deutlich über dem vieljährigen Mittel. Dabei sind auch einige Monate mit deutlichen Mangelsituationen (z.B. April 2007) und andere mit Starkniederschlägen, wie z.B. im August 2006 oder im Juni 2007. Während sich die Mangelsituationen immer deutlich auswirken, kommen Starkniederschläge im Sommerhalbjahr dem Wasserhaushalt des Gebietes aber kaum zugute. Im Sommer werden diese Niederschläge fast gänzlich von den Pflanzen aufgenommen bzw. sie verdunsten sofort wieder.

Diese Niederschlagsmangelsituation schlug sich dann auch in den Wasserständen der Wooge nieder, die ab Sommer 2003 rapide absanken und im Sommer 2006 ihren Tiefstand erreichten. Danach erholten sie sich teils wieder, ein stabil hoher Wasserstand wie in den Jahren 2000-2002 ist jedoch bis heute nicht festzustellen (Stand 2009). Auch die Fließgewässer litten unter der Mangelsituation, was in dem System der Wooganlagen begründet ist: alle Wooge im Monitoringgebiet liegen im Hauptschluss (vgl. Abb. 2). Sie liegen aufgrund des quer zum Tal verlaufenden Dammes, welcher den Aufstau bedingt, im Bachverlauf und sind praktisch ein Teil desselben. Bei ausreichenden Niederschlägen

sind die Wooge angefüllt, ihre Verlandungszonen haben Kontakt zum Wasserkörper und das über den Mönch abfließende Wasser speist den unterliegenden Bach, der selbst wiederum Lebensraum einer bachtypischen Libellenfauna ist (im Pfälzerwald: *Calopteryx virgo*, *Pyrrhosoma nymphula*, *Cordulegaster boltonii*, *Orthetrum coerulescens*).

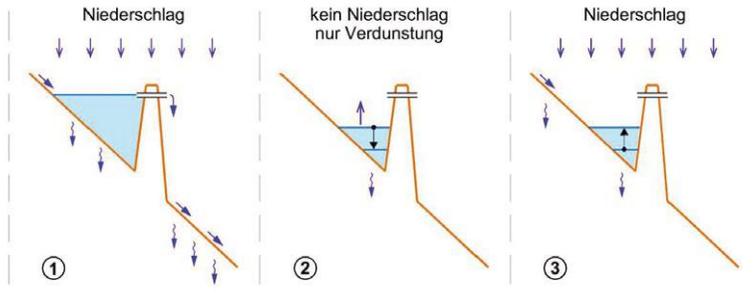


Abb. 2 : System der Wooge im Hauptschluss und mit Abfluss an der Dammkronen: nur bei ausreichendem Niederschlag erfolgt ein Anstau bis an die Oberkante und ein Abfluss in den unterliegenden Bach (Zeichnung: Horalek).

So bald jedoch – infolge Niederschlagsmangel oder zu geringem Zufluss zum Woog aus dem Einzugsgebiet – der Wasserstand in dem Woog fällt, kann kein Abfluss mehr in den unterliegenden Bach erfolgen und dieser fällt trocken.

In dem Woog selbst fallen auch die Verlandungszone (in der Regel im Zulaufbereich gelegen) trocken und ebenso die restlichen Uferbereiche. Infolge des Sauerstoffzutritts zum Boden ergeben sich schnell Mineralisierungsprozesse und die Freisetzung von Nährstoffen, was eine schnelle Sukzession in der Verlandungszone (meist *Juncus effusus*) und auf den Offenböden (meist *Juncus bulbosus* und Gehölze, wie *Alnus glutinosa*, *Betula pendula* und *Pinus sylvestris*) bedingt.

Dies führt auch dazu, dass die Gewässer ihre vielfältigen Aufgaben – Lebensraum, Erholungsraum etc. (Ökosystemdienstleistungen oder ecosystem services) – nicht mehr erfüllen können. So stellen sie für die typische Flora und Fauna der Wooge keinen adäquaten Lebensraum mehr dar und trocken gefallene Wooge stellen eine eindeutige Belastung für das Landschaftsbild dar (Spaziergänger nehmen dies durchaus als Umweltschäden wahr).

Veränderungen an den Wasserständen der Wooge

Die oben genannten trockenen Sommer mit ihren Niederschlagsdefiziten wirkten sich

unterschiedlich auf die einzelnen Gewässer aus, was nachfolgend dargestellt werden soll.

Gelterswoog : prinzipiell relativ stabiler Wasserstand, aber in den Wintern 1997/1998 und 2000/2001 abgelassen, sowie erneut im Winter 2003/2004, wobei im Frühjahr 2004 über mehrere Monate die Verlandungszone trocken lag und der Wasserstand massiv abgesenkt war.

Rotenwoogtal : unteres bis mittleres Rotenwoogtal ab Mitte 2003 deutlich trockener, jahrweise zunehmende Trockenheit; oberes Rotenwoogtal ab 2005 merklich trockenere Zustände, kaum mehr überstaut und starke Algenentwicklung in den Restgewässern, Bach wächst immer stärker infolge Sukzession mit Binsen etc. zu.

Kolbental / Kolbenwoog : schon ab Spätsommer 2003 fallen die Wasserstände im Kolbenwoog stark ab, kontinuierliche Abnahme des Wasserstandes bis zum Tiefststand im Juli 2006, danach langsam Erholung infolge der wieder gestiegenen Niederschläge; in 2009 wieder deutlich abgesenkt (vgl. hier auch die Klimadaten).

Erlental : zunächst wenig Änderungen an den Wasserständen der zwei unteren größeren Weiher, diese fallen dann ab 2004 jeweils im Sommer ab, jährlich immer mehr; Regeneration teilweise in 2007/2008, aktuell in 2009 jedoch wieder stärker abgefallene Wasserstände. Die beiden oberhalb gelegenen flachen Wooge sind nur bei deutlichem Niederschlagsüberschuss (noch) bespannt.

Walkmühlal : kaum Änderungen an den Wasserständen der Stillgewässer, nur am untersten Woog starke Schwankungen, diese jedoch infolge von Manipulationen am Mönch, insgesamt relativ konstante Zustände, auch wenn die Limnokrenen im mittleren Woog nicht mehr so stark schütten.

Fallende Wasserstände – Veränderungen der Lebensgemeinschaften

Infolge der fallenden Wasserstände veränderten sich die Gewässer: die reich strukturierten, mit Binsen und Seggen durchsetzten Verlandungszonen fielen trocken, Gleiches gilt auch für die *Sphagnum*-Ufer und so entstanden weite Offenbodenbereiche. Dadurch entfielen für viele Libellenlarven die Rückzugs- und Versteckmöglichkeiten und es entstand eine «Badewannensituation», das heißt ein Wasserkörper auf einem praktisch strukturlosen Untergrund. Der einzig verbliebene Aufenthaltsort für die Libellenlarven ist nun der Bodenschlamm, Wasser- und Uferpflanzen oder anderes Substrat sind als Aufenthaltsort der Larven oder Eiablagesubstrat für die Imagines nicht mehr vorhanden.

Dies hatte zur Konsequenz, dass seltene und eher sensible bzw. anspruchsvolle Arten

verschwanden, dagegen die Gewässer von den häufigeren und anspruchsloseren Arten besiedelt wurden (vgl. Tab. 3).

Zu Ungunsten der Zönose aus *Coenagrion hastulatum*, *Somatochlora arctica*, *Aeshna juncea* und *Leucorrhinia dubia* erfolgte nun eine massive Besiedlung dieser Wasserkörper mit offenen Schlammflächen am Ufer durch eher euryöke Arten wie: *Orthetrum cancellatum*, *Libellula depressa*, *Gomphus pulchellus*, *Lestes barbarus* und *Ischnura pumilio*, daneben nahm auch *Libellula quadrimaculata* deutlich zu. Dies führt, wie auch schon generell dargestellt wurde (MCKINNEY & LOCKWOOD, 1999), zu einer Homogenisierung der Libellenfauna mit einer Dominanz von euryöken Arten.

Arten / Präsenz 1998 - 2007	Gewässer oder Täler				
	Gelters- woog	Rotenwoog- tal	Kolbenwoog / Kolbental	Erlental- weiher	Walkmühl- tal
<i>C. hastulatum</i>	●●●●●-----	-----	●●●●●●●---	●●●●●●●■	●●●●●-----
<i>S. arctica</i>	-----	●●●●●-----	●●●●●-----	-----	-----
<i>A. juncea</i>	●●●●●-----	-----	●●●●●●●■---	●●●●●-----	●●●●●-----
<i>L. dubia</i>	-----	-----	●●●●●●●■---	●●●●●●●■	-----●---
<i>O. coerules- cens</i>	-----	●●●●●●●●	-----	●●●●●●●●	-----

- Population
- Einzeltiere
- kein Nachweis

Tab. 3 : Veränderung der Libellenfauna der Gewässer im Monitoringgebiet «Kolbental», einem Teilgebiet des BSR «Pfälzerwald» (jeder Eintrag: «Population», «Einzeltiere» oder «kein Eintrag» gibt das Vorkommen einer Art in dem jeweiligen Jahr an).

2.3 Sensible Moorarten in der Pfalz – der regionale Aspekt

Ein Problem : die Populationen sind bereits verinselt

Veränderungen der Wasserstände bei den Woogen und die daraus resultierenden Schwankungen in den Zönosen sind nicht prinzipiell als negativ zu bewerten, wenn sich die Gewässer in kurzer Zeit wieder zurückentwickeln können und ein ausreichend gutes Wiederbesiedlungspotenzial vorhanden ist. Gerade letzteres ist aber mittlerweile ein Problem, denn die Populationen aller Moorarten der Pfalz sind mittlerweile mehr oder minder stark verinselt. Beispielhaft ist in Abbildung 3 die Verbreitung von *Aeshna juncea* und *Coenagrion hastulatum* dargestellt (TROCKUR et al., 2010), wobei vor

allein in den Jahren 2005-2007 die Situation noch deutlich schlechter war. Für *Aeshna juncea* konnte durch den Verfasser in dieser Zeit keine Population im Biosphärenreservat mehr nachgewiesen werden, für *Coenagrion hastulatum* neben der kleinen im Erlental nur noch je eine gute Population südlich und östlich von Trippstadt.

Eine ähnliche Situation ist für *Leucorrhinia dubia* zu verzeichnen, für *Somatochlora arctica* ist mittlerweile nur noch eine einzige Population für die Pfalz bekannt (OTT, 2006 b).

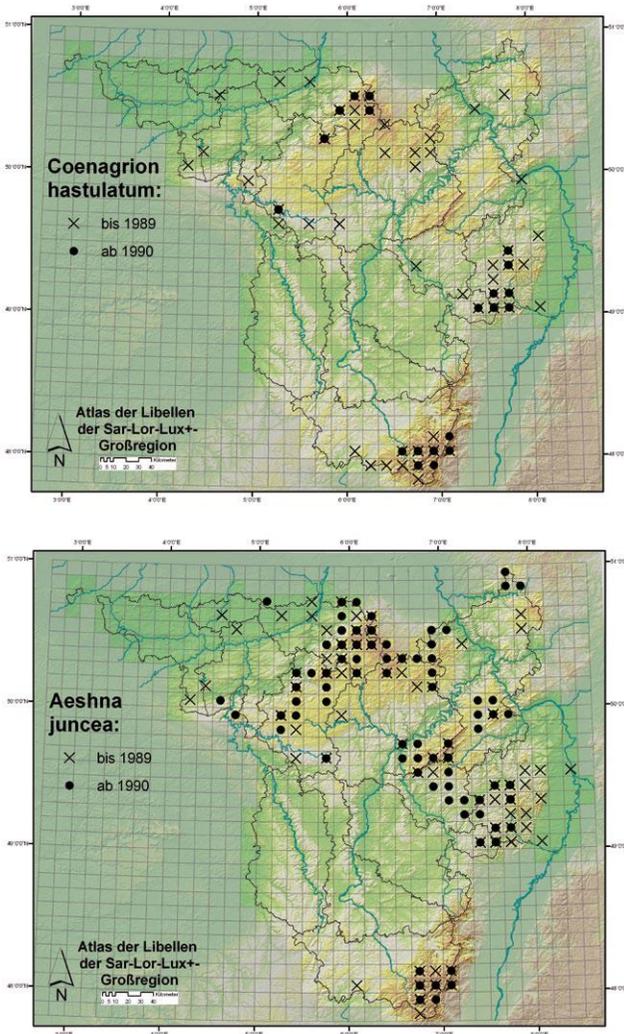


Abb. 3 : Verbreitung von *Coenagrion hastulatum* und *Aeshna juncea* im regionalen Kontext: eine deutlich rückläufige Tendenz (TROCKUR et al., 2010).

Auch wenn Libellen prinzipiell ein gutes Ausbreitungsvermögen haben, so dürfte eine Wiederbesiedlung durch diese recht starke Verinselung doch sehr erschwert sein, was stochastische Aussterbeprozesse stark begünstigt (HOVESTADT, 1990). Zudem ist anzumerken, dass sich die Gewässer sowohl strukturell, als auch hinsichtlich ihrer Zönose verändert haben: wenn also eine der genannten Arten einen nunmehr «verwaisten» Biotop wiederbesiedeln wollte, würde sie auf eine andere Zönose treffen, mit teils deutlich konkurrenzstärkeren Arten.

Die Wooge mit einem abgesenkten Wasserstand können zwar auch für andere geschützte Libellenarten, wie die Kleine Pechlibelle (*Ischnura pumilio*), als Lebensraum infrage kommen, doch gibt es für diese Art genügend andere Gewässer (Regenrückhaltebecken etc.) und sie zeigt zudem an den Woogen eher eine Störung des Lebensraumes an (OTT 2008).

2.4 Die Wooge in der Pfalz – Bausteine des Netzes NATURA 2000

Die Wooge stellen nun als dystrophe Gewässer mit *Sphagnum*-Schwingrasen oder Niedermoorstandorten einerseits selbst einen Lebensraum, der auf dem Anhang I der FFH-Richtlinie gelistet ist dar (Natura 2000-Code 3160 und 7140), andererseits sind sie damit auch ein Element des kohärenten Netzes Natura 2000 (SSYMANK *et al.*, 1998). Aufgrund der veränderten abiotischen Bedingungen haben sich nun die Libellenfaunen ebenfalls geändert, wobei die typischen Moorarten zugunsten von Störzeigern zurückgegangen sind (OTT, 2007 b), die nun die Gewässer dominieren. Dadurch haben im Vergleich zu einer Situation mit einem mehr oder minder intakten Wasserhaushalt vor nur rund zwei Jahrzehnten (NIEHUIS, 1984, 1985; ROWECK *et al.*, 1988) die Gewässer ihre Eigenheit und auch ihren Wert für den Erhalt dieser typischen Zönose – zumindest zeitweise – verloren. In der folgenden Tabelle sind ausgewählte Arten – für die Moorbiotope typische Arten und Störzeiger – für diese Gewässer und die beiden Zeiträume (achtziger Jahre und der Zeitraum 2005-2007) dargestellt (Tab. 4).

Während die für dystrophe Gewässer typischen Arten (SSYMANK *et al.*, 1998) merklich abgenommen haben bzw. verschwunden sind, haben die Störzeiger – also für dystrophe Gewässer eigentlich biotopfremde Arten – deutlich zugenommen. Es sind dies vor allem typische Pionierarten, die häufig an Sekundärgewässern (Sand- und Kiesgruben etc.) mit einem hohen Anteil an Offenbodenstrukturen auftreten und sich hier nun etabliert haben.

Betrachtet man diese Entwicklung nun im Kontext des Netzes Natura 2000, so ist erkennbar, dass hier – sollte sich die Entwicklung sicher weiter auf diesem Niveau stabilisieren – auch die Kohärenz des Netzes Natura 2000 nicht mehr gewährleistet oder zumindest infrage gestellt ist, was auch Konsequenzen für die allgemeine Qualität des Schutzgebietssystems hat (ARAUJO *et al.*, 2004). Wie die Tabelle 4 (Lage der Gewässer siehe in Abbildung 4) für verschiedene Gewässer bei Kaiserslautern und bei Fischbach zeigt, verlieren diese doch erheblich an Bedeutung für den Erhalt einer für dystrophe Gewässer (FFH-Lebensraum) typischen Libellenfauna. In diesem Zusammenhang muss erwähnt werden, dass gerade diese Gewässer aufgrund ihrer Biotopqualität eine besondere Bedeutung für die Kohärenz des Netzwerkes Natura 2000 darstellen; andere Gewässer in den jeweiligen Räumen haben nicht diese Qualität und können damit auch nicht die Funktionen der «guten» Gewässer übernehmen.

Wooge	Jagdhausweiher (Ja)		Kolbenwoog (Ko)		Vogelwoog* (Vo)		Pfälzerwoog (Pf)		Rösselsweiher (Ro)		Kranzwoog (Kr)	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-
Zeitraum	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Arten												
<i>P. nymphula</i>	o	o	o	o	o	o	o	o ¹	o	o ¹	o	o
<i>C. hastulatum</i>	o		o		o		o		o		o	
<i>A. juncea</i>	o		o		o		o		o		o	
<i>S. arctica</i>	o		o									
<i>L. dubia</i>			o				o		o		o	o ¹
<i>L. pectoralis</i>			o ¹									
<i>S. danae</i>	o	o	o	o	o		o	o	o	o	o	
<i>L. depressa</i>		o		o	o	o	o	o				o
<i>O. cancellatum</i>		o		o	o	o	o	o		o		o
<i>G. pulchellus</i>		o		o		o		o		o		

Tab. 4 : Veränderung der Libellenfaunen einiger Wooge bei intaktem Wasserhaushalt (+) und nicht intaktem Wasserhaushalt (-); Störzeiger dunkel hinterlegt, ¹ = Einzeltiere, * = Gewässer etwas außerhalb des BSR, a = 1980-1995, b = 2005-2007.

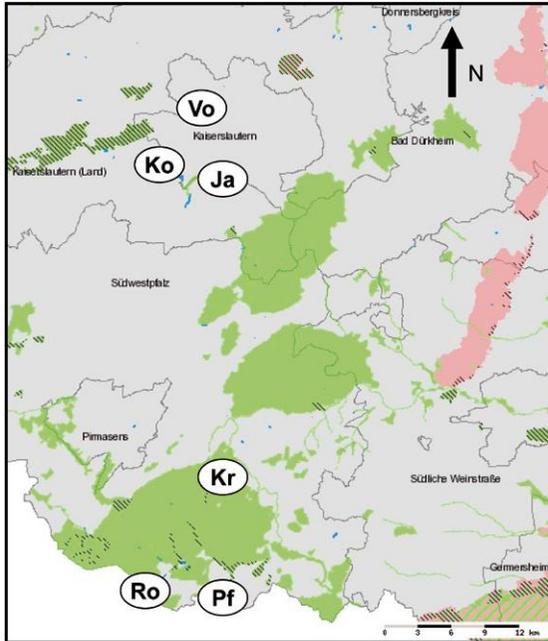


Abb. 4 : Das FFH-Gebiet Biosphärenreservat Pfälzerwald mit seinen Kernflächen und die Lage einiger Wooge (Kürzel der Woogennamen siehe Tab. 4).

3. Fazit und Ausblick

Im Vergleich zu einer Situation von vor wenigen Jahrzehnten hat sich die Libellefauna des Biosphärenreservats Pfälzerwald deutlich geändert: die Moorarten waren stark rückläufig, die Wärme liebenden Arten haben deutlich zugenommen. Dies kann auf die allgemein steigenden Temperaturen zurückgeführt werden, in jüngster Zeit wird dieser Prozess noch durch Extremsituationen im Sommer mit langen Trockenperioden beschleunigt. Die reine Artenzahl der Libellen hat dadurch zugenommen, die eher sensiblen und gefährdeten Moorarten sind jedoch deutlich rückläufig, einige Arten sind offensichtlich kurz vor dem Verschwinden.

Dies deutet darauf hin, dass auch die Moorbiotope nicht mehr ihre Eigenheiten haben und ihren Wert für den Naturschutz verlieren. Sollte die Entwicklung der letzten Jahre anhalten, dürften einige Moorarten spätestens mittelfristig aus dem deutschen Teil

des Biosphärenreservats verschwunden sein, oder ihre Zukunftsaussichten sich weiter deutlich verschlechtern. Darauf deuten die aktuellen Klimamodellierungen hin, die für den Bereich des Pfälzerwaldes auch eine weitere Zunahme der Temperatur prognostizieren ($> 2^\circ$ Celsius) und eine Umverteilung der Niederschläge (HG 2010).

Ab dem Jahr 2007 regenerierten sich infolge der wieder gestiegenen Niederschläge die Wasserstände der meisten Gewässer deutlich, dies hielt auch 2008 an. Im Jahr 2009 fielen jedoch die Wasserstände wieder und es muss sich nun zeigen, ob sich die teilweise regenerierten Libellengemeinschaften halten konnten, oder ob ein weiterer Rückgang erfolgt. Dies wird zurzeit untersucht.

Danksagung

Diese Untersuchungen wurden im Zuge des EU-ALARM-Projektes (www.alarmproject.net, Fördercode: GOCE-CT-2003-506675) durchgeführt und durch dieses unterstützt.

Literatur

ARAÚJO M.B., CABEZAS M., THUILLER W., HANNAH L. & WILLIAMS P.H. 2004. Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. *Global Change Biology* 10 : 1618-1626.

BFN (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ) 2005. Daten zur Natur 2004. Bonn-Bad Godesberg. 474 S.

HG [HELMHOLTZ GESELLSCHAFT] 2010. Regionaler Klimaatlas (www.regionaler-klimaatlas.de)

HICKLING R., ROY D.B., HILL J.K. & THOMAS C.B. 2005. A northward shift of range margins in British Odonata. *Global Change Biology* 11 : 502-606.

HOVESTADT T. 1990. Die Bedeutung zufälligen Aussterbens für die Naturschutzplanung. – *Natur und Landschaft* 65: 3-8.

IPCC 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S. *et al.*, eds), Cambridge University Press.

LAUER H. & NÄGLE W. 2005. Ein Naturschutzgebiet stirbt. *Pollichia-Kurier* 41 (4) : 26-28.

- LINGENFELDER U. 2008. Die Gabel-Azurjungfer – *Coenagrion scitulum* (RAMBUR, 1842) – erobert die Pfalz. *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 11 (2) : 377-408
- MCKINNEY M.L. & LOCKWOOD J.L. 1999. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology and Evolution* 14 : 450-453.
- MUFV [MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ] 2007. Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007. Mainz. 98 S. plus Anhang
- NIEHUIS M. 1984. Verbreitung und Vorkommen der Libellen (Insecta: Odonata) im Regierungsbezirk Rheinhessen-Pfalz und im Nahetal. *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 3 (1) : 1-203.
- NIEHUIS M. 1985. Materialien zum Libellenschutz in Rheinland-Pfalz: I. Katalog wichtiger Libellenschutzgewässer im südlichen Rheinland-Pfalz. *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 3 (4) : 536-607.
- OTT J. 1996. Zeigt die Ausbreitung der Feuerlibelle *Crocothemis erythraea* BRULLÉ in Deutschland eine Klimaveränderung an? *Naturschutz und Landschaftsplanung* 2 : 53-61.
- OTT J. 1997. Erster Bodenständigkeitsnachweis der mediterranen Libellenart *Aeshna affinis* VANDER LINDEN, 1820 (Insecta: Odonata) für Rheinland-Pfalz. *Fauna Flora Rheinland-Pfalz* Bd. 10 : 861-869.
- OTT J. 2000. Monitoring «Kolbental» - Theoretische Grundlagen und erste Ergebnisse der Basisuntersuchung am Beispiel der Heuschrecken- und Schmetterlingsfauna. In : HAHN H.J., BAUER A. & FRIEDRICH E. (Hrsg.) 2000. Wasser im Biosphärenreservat Naturpark Pfälzerwald. Institut für Regionale Umweltforschung und Umweltbildung, Landau. : 235-265
- OTT J. 2001 a. Expansion of Mediterranean Odonata in Germany and Europe – consequences of climatic changes – Adapted behaviour and shifting species ranges. In: WALTER G.-R. *et al.* (Eds.) 2001. «Fingerprints» of climate change. Kluwer Academic Publishers, New York. : 89-111.
- OTT J. 2001 b. Zum Einsatz von Libellen als Bioindikatoren und Monitoringorganismen in Feuchtgebieten – das Beispiel einer geplanten Wasserentnahme im Naturschutzgebiet «Täler und Verlandungszone am Gelterswoog» (Biosphärenreservat Pfälzerwald). *Annales Scientifiques Res. Bios. Vosges du Nord-Pfälzerwald* 9: 151-177.
- OTT J. 2006 a. Die Südliche Binsenjungfer – *Lestes barbarus* (FABRICIUS, 1798) – erobert den Pfälzerwald (Insecta: Odonata: Lestidae). *Fauna und Flora in Rheinland-*

Pfalz Bd. 10 (4) : 1315-1321.

OTT J. 2006 b. Die Arktische Smaragdlibelle – *Somatochlora arctica* (ZETTERSTEDT, 1840) in der Pfalz: übersehen oder kurz vor dem Aussterben? (Insecta: Odonata: Corduliidae). *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 10 (4) : 1323-1338.

OTT J. 2007 a. The expansion of *Crocothemis erythraea* (Brullé, 1832) in Germany – an indicator of climatic changes. *In* : TYAGI, B.K. (Hrsg.) 2007. Biology of dragonflies – Odonata. Scientific Publishers. Jodhpur : 201-222.

OTT J. 2007 b. Hat die Klimaänderung eine Auswirkung auf das Netz NATURA 2000? - Erste Ergebnisse aus Untersuchungen an Libellenzönosen dystropher Gewässer im Biosphärenreservat Pfälzerwald. *In*: BALZER S., DIETERICH M. und BEINLICH B. (Bearb.): 2000 und Klimaänderungen. Naturschutz und Biologische Vielfalt (NABIV) 46. Landwirtschaftsverlag, Münster. : -90.

OTT J. 2008. Die Kleine Pechlibelle (*Ischnura pumilio*) (CHARPENTIER, 1825) in der Pfalz: ein Profiteur von Regenrückhaltebecken, Naturschutzgewässern und der Klimaänderung. *Mainzer Naturwissenschaftliches Archiv* 46 : 233-261

ROWECK H., AUER M. & BETZ, B. 1988. Flora und Vegetation dystropher Teiche im Pfälzerwal. POLLICHIA-Buch Nr. 15. Bad Dürkheim: 221 S. und Anh.

SSYMANK A., HAUKE U., RÜCKRIEM C. & SCHRÖDER E. 1998. Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz* 53 : 558 S.

TROCKUR B., BOUDOT J.-P., FICHEFET V., GOFFART P., OTT J. & PROESS R. 2010. Atlas der Libellen in der Saar-Lor-Lux-+-Großregion - Atlas des Odonates de la Grande Region Saar-Lor-Lux+. – Luxemburg. (in prep.)

Les causes du développement de l'arbre sur les tourbières du Massif Central oriental (France) au cours du XX^{ème} siècle

Hervé CUBIZOLLE (1), Gilles THEBAUD (2), Laurent SEYTRE (3), Jérôme PORTERET (1) & Arnaud TOURMAN (1)

(1) Université Jean Monnet, UMR 5600 CNRS EVS, 6 rue Basses des Rives, 42023 ST ETIENNE

(2) Institut des Herbiers Universitaires, 3, Boulevard Lafayette, 63000 CLERMONT-FERRAND CEDEX

(3) Conservatoire Botanique National du Massif Central, Le Bourg, 42 CHAVAGNIAC-LAFAYETTE

Résumé :

Le développement rapide des arbres, principalement des pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) et des bouleaux pubescents (*Betula pubescens*) ou des bouleaux verruqueux (*Betula pendula*) sur de nombreuses tourbières du Massif Central oriental au cours des 70 dernières années trouve son explication dans une multitude de facteurs humains et physiques, autogènes et allogènes, qui le plus souvent se combinent. La difficulté majeure est de parvenir à vérifier si le changement climatique en cours depuis le milieu du XIX^{ème} siècle et, spécialement le réchauffement plus marqué des années 1980-2008 ont pu avoir un rôle déterminant dans ce processus de colonisation des tourbières par les arbres. On ne dispose en effet d'aucune donnée piézométrique historique et les données météorologiques sont souvent très insuffisantes.

Deux sites ont été sélectionnés dont l'évolution ne semble pas avoir été influencée notablement par les interventions humaines (drainage et pâturage) : celui de l'Etui, tourbière bombée à sphaignes du massif granitique des Bois Noirs, et celui de Limagne, tourbière ombrotrophe installée dans un maar sur le plateau du Devès. Si dans le premier cas aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre évolution des variables météorologiques et chronologie de l'installation des arbres, il paraît clair que dans le second cas l'augmentation des températures est concomitante d'une accélération significative de la progression des arbres et de l'amélioration de leur état sanitaire.

Il n'en demeure pas moins que la mise en évidence d'une éventuelle incidence du changement climatique récent sur l'hydrologie et l'écologie des tourbières ne pourra être véritablement étudiée que dans le cadre d'un suivi scientifique comme celui mis en place depuis 2002 sur 5 sites pilotes du Massif Central oriental.

Zusammenfassung :

Die schnelle Entwicklung des Baumbewuchses, namentlich der Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) und der Moor-Birke (*Betula pubescens*) oder der Hängebirke (*Betula pendula*), in den zahlreichen Mooren des östlichen Massif Central im Lauf der letzten 70 Jahre, kann durch zahlreiche, meistens kombinierte menschliche und physikalische, auto-gene und allogene Faktoren, erklärt werden. Die Hauptschwierigkeit liegt darin zu prüfen, ob die klimatischen Veränderungen seit der Mitte des 19. Jahrhunderts, vor allem aber die Klimaerwärmung der Jahre 1980-2008, eine entscheidende Rolle in diesem Prozess der Besiedlung der Moore durch die Bäume gespielt hat. Man verfügt nämlich über keine historischen, piezometrischen Angaben, und die meteorologischen Messungen sind oft sehr ungenügend.

Zwei Standorte wurden ausgesucht, deren Entwicklung nicht direkt vom Menschen (Trockenlegung und Beweidung) beeinflusst scheint: das «Etui», ein Hochmoor mit Torfmoosen auf Granitboden des Bois Noirs und «Limagne», ein Regenmoor in einem Maar auf dem Hochplateau von Devès. Während im ersten Fall keine signifikante Korrelation zwischen der Klimaänderung und der Entwicklung des Baumbewuchses aufgezeigt werden konnte, scheint im zweiten Fall der Temperaturanstieg mit einer deutlichen Beschleunigung der Baumentwicklung und einer Verbesserung des Gesundheitszustandes der Bäume ganz klar einherzugehen.

Trotzdem kann eine mögliche Auswirkung des Klimawandels der letzten Zeit auf den Wasserhaushalt und die Ökologie der Moore nur im Rahmen einer wissenschaftlichen Folgestudie aufgezeigt und untersucht werden, wie sie seit 2002 an fünf Pilotstandorten im östlichen Massif Central durchgeführt wird.

Summary :

The rapid development of trees, principally the Scots pine (*Pinus sylvestris*), the downy birch (*Betula pubescens*) and the common birch (*Betula pendula*) in numerous mires of the eastern Massif Central in the course of the last 70 years can be explained by a multitude of human and physical factors, both local and from the outside, and which most often combine. The major difficulty is to determine whether the climate change which has been in progress since the mid-19th century, and in particular the more marked warming during the period from 1980-2008, could have had a determinant role in this process of mires colonization by trees. Indeed, there is no historical piezometric data available, and the meteorological data is often very inadequate.

Two sites have been selected, the development of which does not appear to have been influenced by human intervention (drainage and grazing): That of the Etui, a peat bog with widely proliferated sphagnum, in the granite massif of the Bois Noirs, and that of Limagne, an ombrotrophic peat bog embedded in a maar (volcano's crater) on the Devès plateau. While in the first case it has not been possible to provide evidence of

any significant correlation between the evolution of meteorological variables and the chronology of the establishment of trees, it seems clear that in the second case the rise in temperatures is concomitant with a notable speeding up of the progression of trees and an improvement in their state of health.

It must also be pointed out that it would only be possible to demonstrate a possible effect of recent climate change on the hydrology and ecology of the peat bogs within the framework of a scientific survey such as that which has been ongoing since 2002 on five pilot sites in the eastern Massif Central.

Mots-clefs : tourbières, développement de l'arbre, facteurs humains, changements climatiques, Massif Central, France.

Introduction

Cet article vise à faire le point sur les facteurs d'explication du développement de l'arbre sur les tourbières du Massif Central au cours du XX^{ème} siècle, un phénomène constaté par ailleurs dans de nombreuses régions : Québec (PELLERIN & LAVOIE, 2003), Allemagne (FRANKL & SCHMEIDL, 2000), Suède (GUNNARSSON *et al.*, 2002), France (THEBAUD *et al.*, 2003). Dans le Massif Central oriental, les espèces colonisatrices sont principalement le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), le bouleau pubescent (*Betula pubescens*) et le bouleau verruqueux (*Betula pendula*), et, plus rarement, le sapin (*Abies alba*) (THEBAUD *et al.*, 2003) (fig. 1).

En France, les gestionnaires s'interrogent sur les répercussions de cette évolution en terme de bilan hydrologique (DUPIEUX, 1998, FEDERATION DES CONSERVATOIRES D'ESPACES NATURELS 2010). La densification des arbres se traduit-elle par une augmentation de l'évapotranspiration et des abaissements saisonniers plus importants du niveau des nappes ? La capacité des tourbières à accumuler de la tourbe s'en trouve-t-elle alors réduite ? Si oui, dans quelle mesure ? Faut-il intervenir en coupant les arbres et en éliminant régulièrement les jeunes pousses ?

La réponse à ces questions nécessite au préalable de résoudre le problème des causes de l'expansion des arbres. Quelles sont les responsabilités respectives des activités humaines, de l'évolution des conditions hydro-climatiques locales ou stationnelles et du changement climatique en cours dans cette évolution ? De toute évidence les réponses sont multiples et complexes. Ainsi les Québécois qui ont travaillé sur le développement du pin gris (*Pinus banksiana*) au cours des 80 dernières années sur les tourbières du

sud du Québec ont abouti à la conclusion que l'explosion du pin gris est survenue principalement entre 1920 et 1945 à la suite d'incendies (PELLERIN & LAVOIE, 2003). Ensuite la progression des pins aurait pris une certaine ampleur à cause des conditions climatiques plus sèches que la normale qui caractérisèrent la première moitié de XX^{ème} siècle.

Mais la présence d'arbres sur les tourbières n'est pas systématiquement perçue ni comme un phénomène récent ni comme un problème. Ainsi en est-il au Canada, en Scandinavie et en Sibérie, où se trouve l'essentiel des zones tourbeuses de la planète et où l'arbre est présent sur de nombreux sites de façon très naturelle. BIRKS (1975), reprenant les travaux de CARLISLE & BROWN (1968), rappelle à juste propos que les tourbières bombées sont un des habitats naturels du pin sylvestre. En France, l'association forestière spécialisée *Betulo pubescentis-Abietetum* qui caractérise les marges tourbeuses de certaines tourbières bombées du Massif Central oriental, dans les Monts du Forez et les Bois Noirs est parfaitement naturelle (THEBAUD *et al.*, 2003). Ainsi des sapins blancs (*Abies alba*), plus que centaines pour certains, en très bonne santé poussent à la surface d'histosols épais de près de deux mètres.

Par ailleurs d'autres espèces sont relativement bien adaptées à la vie dans les tourbières. Ainsi, en Amérique du Nord, *Picea mariana* (épinette noire) et *Picea glauca* (épinette blanche) sont munis de racines adventives. Et *Picea glauca* peut générer des troncs secondaires par marcottage, compensant ainsi le relèvement de la surface du sol du fait de l'accumulation de tourbe et l'enfouissement du tronc qui en découle (SCOTT & HANSELL, 2002). Cette question des relations entre les ligneux et le processus d'accumulation de la tourbe est souvent abordée dans la bibliographie notamment à travers les études sur le développement des tourbières hautes et la compétition qui y règne entre les Sphaignes et les ligneux (OHLSON *et al.*, 2001 ; SCOTT & HANSELL, 2002 ; GOUBET *et al.*, 2004).

A l'échelle de l'Holocène d'autres phases de colonisation des tourbières par les arbres ont très souvent été décrites, notamment pour les tourbières des îles Britanniques (BIRKS, 1975 ; CHAMBERS, 1997). CHAMBERS (1997) estime que les phases d'expansion des arbres sur les tourbières représentent 20 % de la durée de l'Holocène. Quant à leur signification paléoclimatique, elle est discutée. En effet si ces phases de colonisation par les arbres peuvent parfois être attribuées à des périodes climatiques plus chaudes et plus sèches (CHAMBERS, 1997), il apparaît que le rôle des conditions hydro-climatologiques locales et stationnelles (BRIDGE *et al.*, 1990) mais aussi les

interventions humaines (CHAMBERS, 1997) ont pu être également déterminantes. GOUBET *et al.* (2004) citant OHLSON *et al.* (2001) rappelle quant à lui que pour certains auteurs la tourbière bombée à Sphaigne dépourvue d'arbres est un climax. En conséquence le développement des ligneux serait le résultat d'une perturbation allo-gène d'origine climatique et anthropique.

Dans cet article nous présenterons l'analyse qui est faite de l'évolution des tourbières du Massif central oriental pour alimenter cette discussion très ouverte.

1. Le cadre physique de l'étude

Les tourbières servant de référence à cette étude se situent dans la partie orientale du Massif Central français (fig. 1). Elles sont réparties entre 650 m et 1570 m d'altitude, d'une part dans les massifs granitiques et métamorphiques des Monts de la Madeleine, des Bois Noirs, des Monts du Forez, du massif du Livradois, des plateaux de la Chaise-Dieu et du massif du Pilat et d'autre part sur les plateaux volcaniques du Velay occidental, le Devès. La plupart des sites sont localisés dans des fonds de vallée de rang 1 ou 2 ou en tête de réseau hydrographique. Ceux des plus hautes terres des Monts du Forez, le seul secteur géographique régional à avoir été englacé au Würm, sont associés à des modelés glaciaires. Ailleurs la localisation des tourbières est liée soit aux modelés périglaciaires, très répandus, et notamment aux cirques de névé et aux niches de nivation, soit aux modelés volcaniques, principalement aux maars.

Sur les 157 tourbières recensées sur ce secteur, 53,5 % sont ombrotrophes dont beaucoup bombées, et 46,5 % sont minérotrophes. Les plus vastes sont celles qui occupent les maars du Devès comme le marais de Ribains qui couvre 66 hectares (TOURMAN, 2007). Les plus petites sont les tourbières basses associées à des aménagements à l'origine de l'accumulation de tourbe comme celle du Verdier dans le sud des Bois Noirs qui couvre une superficie de seulement 3300 m² (CUBIZOLLE *et al.*, 2004). Les tourbières ombrotrophes sont datées du Boréal et de l'Atlantique ancien alors que la plupart des tourbières basses sont datées de la fin du Subboréal et du Subatlantique, un grand nombre de ces dernières étant d'origine anthropique (CUBIZOLLE *et al.*, 2003 et 2004).

Dans tout le secteur le climat est fondamentalement océanique mais il subit une dégradation montagnarde à laquelle s'ajoute les influences méditerranéennes au sud et continentales à l'est. Si les précipitations annuelles sont inférieures à 700 mm cer-

taines années dans les fonds des bassins intramontagnards de l'est – bassin du Forez par exemple - ainsi que dans quelques secteurs du Devès, au sud, où apparaissent les influences méditerranéennes, elles dépassent généralement les 1 000 mm au dessus de 800 m d'altitude au nord et sur les versants ouest des massifs, mais aussi au dessus de 1 000 m au sud. Les cumuls les plus importants sont fréquemment supérieurs à 1 400 mm sur les hauteurs des Monts de la Madeleine et des Bois Noirs ainsi que sur les sommets des Monts du Forez.

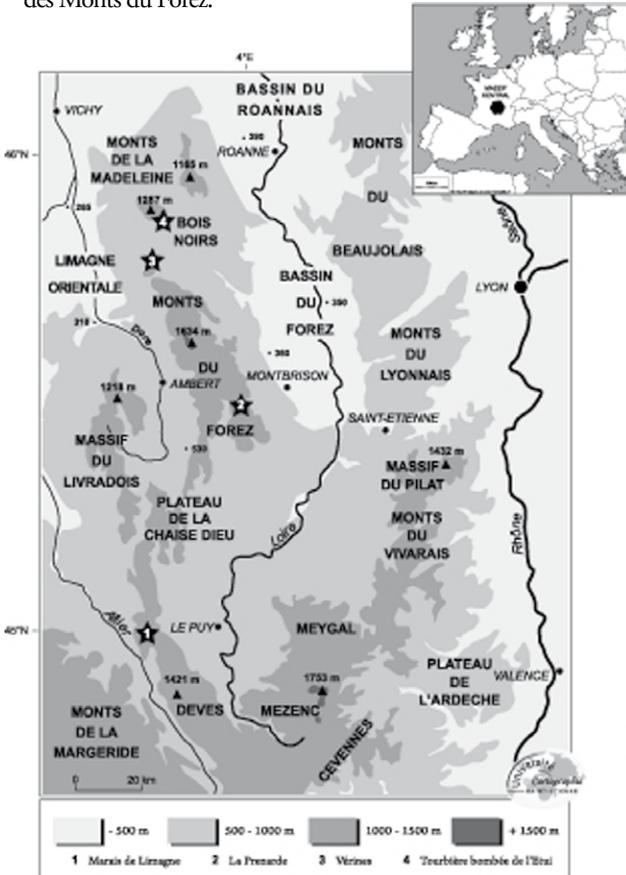


Figure 1 : Localisation du Massif Central oriental et des tourbières répertoriées

La dégradation montagnarde du climat se caractérise par un enneigement fréquent mais très variable d'une année à l'autre tant dans la durée que dans l'épaisseur du manteau nival. Ainsi, à 1 125 m d'altitude dans les Monts du Forez, un poste climatologique de l'Université de St-Etienne indique qu'une année sur deux l'enneigement dépasse 100 jours tandis que la hauteur de neige cumulée est supérieure à 2 m. Plus

généralement, l'enneigement n'est continu de la fin de l'automne au début du printemps qu'au dessus de 1500 m. En dessous les variations interannuelles sont la règle.

L'influence continentale est révélée par des précipitations estivales qui s'abattent sous forme d'averses violentes et peuvent représenter jusqu'au quart des hauteurs d'eau annuelles (SUCHEL, 1990 ; PORTERET, 2008).

Les températures moyennes annuelles varient de 10°C dans le bassin du Forez à 3°C à Pierre-sur-Haute, point culminant des Monts du Forez et de la région à 1634 m d'altitude. Au sud du secteur d'étude, elle est de l'ordre de 8°C. A 1125 m d'altitude dans les Monts du Forez les températures mensuelles maximales varient entre 17,5°C et 23°C alors que les températures mensuelles minimales descendent jusqu'à -5°C ; la température moyenne annuelle s'établissant autour de 6°C.» .

2. La problématique et les méthodes

Au cours des soixante-dix dernières années, de très nombreuses tourbières de l'est du Massif Central se sont couvertes d'arbres, en particulier de *Pinus sylvestris*, de *Betula pubescens* et de *Betula pendula*, moins souvent de *Salix* sp. ou d'*Abies alba*. On les rencontre du nord au sud de la région étudiée, dans les massifs granitiques comme dans les massifs volcaniques et à n'importe quelle altitude. Mais il existe aussi, dans les massifs granitiques comme dans les massifs volcaniques, nombre de tourbières totalement dépourvues d'arbres.

Cette évolution de la couverture végétale peut être retracée en combinant plusieurs méthodes :

- L'examen des photographies aériennes dont les plus anciennes séries datent des années 1940,
- Le recours à des témoignages recueillis auprès des habitants mais aussi des gestionnaires des sites,
- Les carottages à la tarière *And Matson* des arbres et le comptage des cernes de croissance (fig. 2),
- L'observation des stratigraphies tourbeuses réalisées sur coupes ou grâce à des carottages au carottier manuel russe,
- Les analyses des macro-restes végétaux.

On peut finalement mettre en évidence trois types d'évolution que nous illustrerons par des exemples caractéristiques :

- Cas N° 1 : le développement de l'arbre est très important et à peu près tout le site est boisé ; le processus a démarré dans les années 1940 comme c'est le cas pour la tourbière basse de la Prenarde à 1 125 m d'altitude dans le sud des Monts du Forez (fig. 3), ou à la fin des années 1960 comme pour la tourbière ombrotrophe du Marais de Limagne qui se situe à 900 m d'altitude sur le plateau volcanique du Devès.
- Cas N° 2 : Après une phase d'expansion rapide jusqu'aux années 1960, le développement de l'arbre semble stoppé : c'est le cas des tourbières bombées du système tourbeux de la Pigne dans les Monts du Forez (alt. 1360 m) pour lesquelles les photographies aériennes et les observations de terrain ne font pas apparaître d'évolution significative depuis 1962.
- Cas N° 3 : Aucun développement de l'arbre n'est constaté : c'est le cas à la Morte, une tourbière haute à buttes de sphaignes et à schlenken dépourvue d'arbres, installée sur un épaulement glaciaire au cœur de la sapinière acidophile à *Abies alba* et *Vaccinium myrtillus*, à 1 300 m d'altitude des Monts du Forez (Fig. 4).



Figure 2 : Photographie montrant le carottage d'un pin sylvestre à la tarière manuel And Matson (photo Hervé Cubizolle)



Figure 3 : Vue générale de la tourbière minérotrophe de la Prenarde à 1125 m au cœur de la sapinière des Monts du Forez. Le site s'est en partie reboisé naturellement en pins sylvestres et en bouleaux pubescents depuis les années 1940 (photo Hervé Cubizolle)



Figure 4 : Vue générale de la tourbière ombrotrophe de la Morte à 1300 m, au cœur de la hêtraie-sapinière des Monts du Forez. Le site est dépourvu d'arbre (photo Hervé Cubizolle)

Il convient maintenant d'essayer d'expliquer la coexistence de ces trois types d'évolution en discutant deux hypothèses : celle du rôle des facteurs autogènes et locaux d'une part et celle des facteurs allogènes, interventions humaines et changement climatique, d'autre part. Et, comme aucune explication simple de cette diversité des situations ne se dégage, il convient de passer en revue l'ensemble des facteurs autogènes et allogènes susceptibles de contribuer à un degré ou à un autre au développement de l'arbre.

Il faudra évidemment tenir compte des interactions possibles entre les différents facteurs : ainsi par exemple l'action humaine peut fragiliser les tourbières et les rendre plus sensibles au changement climatique.

3. Les facteurs autogènes et locaux

Tous les auteurs sont d'accord pour constater l'importance des facteurs autogènes et locaux dans la mise en place et le développement des tourbières ce qui ne facilite pas la mise en évidence des éventuels impacts des changements climatiques sur la dynamique de leur évolution (MÄKILÄ & SAARNISTO, 2008).

3.1. Les facteurs autogènes

Une première hypothèse consiste à considérer le stade boisé comme une simple étape de la vie d'une tourbière. Des chercheurs ont en effet montré, sur la base de l'étude des stratigraphies et des macro-restes végétaux, que le développement d'une tourbière passait par une succession de stades hydro-bio-pédologiques, qui voyaient alterner des couches de tourbe claire composées presque exclusivement de sphaignes et des couches de tourbe foncée renfermant de nombreux restes ligneux (PAYETTE & ROCHEFORT, 2001). Une des explications élaborées au début du XX^{ème} siècle puis maintes fois reprise, a été celle du modèle de la régénération cyclique des buttes et des dépressions au fur et à mesure de la croissance de la tourbière (VON POST & SERNANDER, 1910 ; OSVALD, 1923 ; MOORE & BELLAMY, 1974).

Cette démonstration implique donc une tourbière structurée en buttes et dépressions et elle s'appuie d'une part sur l'examen des stratigraphies et d'autre part sur l'étude des macro-restes végétaux qui composent les séquences tourbeuses. Concernant ces trois points nous pouvons faire les remarques qui suivent :

- Tout d'abord les tourbières de l'Etui et de Limagne ne sont pas uniformément structurées en buttes et dépressions. Le marais de Limagne est une véritable mo-

saïque d'habitats aux caractéristiques hydrologiques et végétales diverses et le bombement de l'Etui comporte une vaste zone à schlenken d'une part et des secteurs sans véritables dépressions d'autres part.

- Ensuite, les stratigraphies observées à l'Etui comme sur la plupart des tourbières bombées de notre secteur ne montrent ni une alternance de couches claires et de couches foncées ni la présence de niveaux de macro-restes ligneux visibles à l'œil nu au moment de l'examen détaillé des carottes. Certes des faciès à linaigrettes (*Eriophorum vaginatum*) interrompent parfois les faciès à sphaignes mais *Sphagnum* sp. domine très largement les séquences. Nous serions donc davantage dans le schéma d'OHLSON *et al.* (2001) qui, nous l'avons vu, considèrent la tourbière bombée comme un climax et l'arbre comme le signe d'une perturbation climatique ou anthropique.
- Enfin, nous manquons d'études spécifiques de macro-restes végétaux pour étayer nos hypothèses. Encore très rares en France, ces analyses ont démarré récemment dans le Massif Central oriental. Certes quelques analyses anciennes existent mais elles sont incomplètes (LEMEE, 1941). Aussi, après quelques essais non publiés menés au début des années 2000, des analyses complètes sont conduites depuis 2007 en collaboration avec des chercheurs des universités d'Innsbruck en Autriche et de Laval au Québec. Seuls leurs résultats permettront de replacer dans une perspective historique la dynamique de boisement actuelle.

Néanmoins, concernant ces deux derniers points, rappelons que les innombrables carottages et études stratigraphiques menées sur une centaine de tourbières du Massif Central oriental n'ont jamais permis de découvrir de niveaux riches en bois ailleurs que dans les couches basales de tourbe ou dans les faciès organo-minéraux qui matérialisent la transition entre la tourbe et la formation superficielle ou le substratum géologique sous-jacents. Ces troncs, ces souches, ces branches et tous les fragments observés correspondent alors à la forêt ou à la prairie arborée qui a été enfouie sous la tourbe à partir du moment où la modification des bilans hydriques et le relèvement de la nappe ont permis le déclenchement de la turfigenèse. Par la suite il apparaît que les accumulations de tourbe n'ont jamais stockée de niveau de bois similaire.

Certes on peut objecter que la densité des carottages ayant été très variable d'un site à l'autre, on a pu, sur certains sites moins prospectés, passer à côté de troncs et de branches de bouleaux, de saules ou de pins, des arbres dont les dimensions sont généralement modestes du fait de conditions édaphiques qui ne leur sont pas favorables dans les tourbières. Mais la même absence de bois s'observe en carrière, sur les longues coupes. Par conséquent, si la présence de bois au sein d'accumulations tourbeuses est possible, cela ne peut concerner qu'un très petit nombre de tourbières.

Il est aussi envisageable qu'une phase de boisement n'ait pas été archivée parce que les conditions hydrologiques n'étaient pas favorables à une production de biomasse suffisamment forte pour enfouir le bois avant qu'il ne se décompose. Mais dans un tel cas de figure on devrait observer un niveau de tourbe minéralisé correspondant à cette période plus sèche ce qui n'est pas le cas. Toutes les grandes tourbières ombrotrophes étudiées montrent une accumulation de tourbe fibrique à sphaignes d'une grande monotonie comme l'a confirmé l'analyse des macro-restes végétaux de la tourbière de la Pigne dans les Monts du Forez (CUBIZOLLE, 2005 ; CUBIZOLLE et al., 2003).

Des explications au boisement peuvent ensuite être recherchées du côté des caractères trophiques des tourbières et de la structure des accumulations. Or, tous les types de tourbières sont concernés par le développement de l'arbre, aussi bien les tourbières ombrotrophes que les tourbières minérotrophes. Une étude portant sur un échantillon de 64 tourbières réparties dans l'ensemble des montagnes granitiques du Massif Central oriental, soit un territoire d'environ 6 000 km², a montré que 62,5 % des tourbières étaient dépourvues d'arbres alors que 18,75 % étaient faiblement boisées, 12,5 % arborées et 6,25 % boisées (CUBIZOLLE, 2005). Et parmi les 12 tourbières arborées ou boisées, 8 étaient ombrotrophes et 4 minérotrophes. En conséquence le type de fonctionnement hydrologique ne semble pas être un facteur à prendre en compte.

Il n'y a pas plus de corrélation avec la superficie des sites qui, sur le secteur étudié, varie dans un rapport de 1 à 197.

En revanche, pour les tourbières ombrotrophes, on constate que les arbres sont systématiquement absents des schlenken. Ils n'apparaissent et ne se développent que dans les parties actives du bombement à buttes de *Sphagnum* sp. associées à *Empetrum nigrum*, *Vaccinium oxycoccos*, *Vaccinium microcarpum*, *Andromeda polyfolia* *Eriophorum vaginatum* et *Calluna vulgaris*. Une explication possible est celle d'une hydromorphie plus importante et plus constantes dans les zones à schlenken qui empêcherait toute germination. Néanmoins on peut s'interroger sur l'absence de jeunes pousses sur les buttes qui délimitent les schlenken.

3.2. Les facteurs locaux : le rôle de la couverture végétale autour du site

Nous avons ensuite recherché d'éventuelles relations entre l'importance de l'arbre sur la tourbière et la couverture végétale autour du site. En effet, l'étude de la dynamique du boisement des tourbières ne peut s'affranchir de la connaissance du contexte bioclimatique dans lequel elles s'inscrivent. Le travail le plus abouti a porté sur les hautes

terres des Monts du Forez où la densité et la superficie de tourbières sont les plus fortes du Massif Central oriental avec 873 hectares. La majeure partie des tourbières, soit 81% de leur surfaces, se trouvent entre 1200 et 1400 mètres d'altitude, sur les Hautes Chaumes du Forez (PORTERET, 2008).

Nous disposons par ailleurs pour ce secteur d'une base de données complète à la fois sur les tourbières mais également sur l'ensemble de la géographie physique du massif. La cartographie des systèmes tourbeux et du type de boisement par photo-interprétation s'appuie sur les inventaires du Conservatoire Régional des Espaces Naturels Rhône-Alpes (2002), du Conservatoire des Espaces et Paysages d'Auvergne (1999) et les travaux de recherche du CRENAM (CUBIZOLLE, 2005 ; PORTERET, 2008).

Le niveau de boisement des tourbières a été réparti en 4 classes : absence d'arbre, boisement faible < 25% de la superficie couverte au niveau de la canopée, boisement moyen compris entre 25 et 75 % et boisement fort >75%. L'environnement immédiat du site a quant à lui été caractérisé comme ouvert, mixte ou forestier.

On note tout d'abord que seulement 24 % des tourbières se situent en contexte forestier ; un peu moins de la moitié soit 43 % sont dans des secteurs ouverts de lande à callune (*Calluna vulgaris*), graminées ou myrtilles (*Vaccinium myrtillus*) et 33 % sont bordés à la fois par la lande et par la forêt. Ensuite, le taux de recouvrement par les arbres est faible à moyen pour la majorité des sites (fig. 5a). Les catégories «sites totalement dépourvus d'arbres» et «sites fortement boisés» représentent chacune environ ¼ de la surface totale des tourbières.

Si l'on croise maintenant les données sur le niveau de boisement avec celles concernant les caractéristiques de l'environnement immédiat des tourbières on voit que 83% des sites non boisés se trouvent en contexte ouvert. A l'inverse, seulement 6 % des sites fortement boisés se situent en contexte ouvert. Cependant un examen plus détaillé des données montre que :

- 40% des tourbières sont peu ou pas boisées dans les bassins versants forestiers,
- 22% des sites ont un taux de boisement moyen à fort dans les bassins versants ouverts.

L'analyse de la dynamique du boisement au cours des cinquante dernières années au sein des 245 ha du vaste système tourbeux de Bazanne / Gourgon montre bien la complexité des processus de boisement et les interférences entre facteurs locaux et facteurs allogènes. La zone sélectionnée, située entre 1000 m et 1420 m d'altitude,

s'inscrit dans un rectangle de 4,7 km (Est / Ouest) par 5,3 km (Nord / Sud) de côté. Entre les deux campagnes de photographies aériennes de 1962 et 2001 la progression du boisement a été forte tant sur les tourbières que dans la lande. Deux raisons à cela :

- La plantation de 441 ha de résineux dont 77 hectares concernent directement des tourbières ;
- Une dynamique naturelle de l'arbre qui regagne du terrain au fur et à mesure que l'activité agricole recule et que le nombre de bêtes mises au pâturage diminue.

Au total les surfaces de tourbières qui ont été envahies par les arbres ont augmenté de 400 % entre 1962 et 2001 (fig. 5b). Elles représentent aujourd'hui 21 % de la superficie du système tourbeux. Il s'agit donc d'une progression importante de l'arbre mais pas d'un boisement généralisé sur l'ensemble du système tourbeux. On observe en effet des situations très contrastées. Ainsi les 50 hectares de tourbières du sous-bassin versant de Bazanne sont fortement boisés alors que le sous-bassin versant voisin de Gourgon est boisé très ponctuellement. Deux éléments supplémentaires doivent être pris en compte pour expliquer cette disparité :

- D'une part les études régionales traitant de la dynamique forestière sur les hautes chaumes montrent bien que la recolonisation se fait à partir des lisières forestières, dans la zone de contact entre la limite supérieure actuelle de la forêt et les landes des hautes chaumes soit une bande de terrain compris entre 1250 m et 1400 m d'altitude. Ainsi les tourbières éloignées de ces lisières se boisent plus lentement.
- D'autre part, on peut supposer que la présence des grandes plantations de résineux autour ou à proximité des tourbières a créé un climat d'abri très favorable à la croissance du bouleau sur les zones humides.

4. Les facteurs allogènes : interventions humaines et changement climatique

Deux grands types de facteurs allogènes sont impliqués dans l'évolution des tourbières:

- L'Homme tout d'abord, à travers ses interventions directes ou indirectes sur les zones humides ;
- Le climat ensuite, dont les changements peuvent affecter sensiblement l'hydrologie et l'écologie des sites comme le montre de nombreuses études paléocéologiques menées à l'échelle du Tardiglaciaire et de l'Holocène, notamment dans le Massif Central oriental (BEAULIEU *et al.*, 1984, BEAULIEU *et al.*, 1988, ARGANT & CUBIZOLLE, 2005).

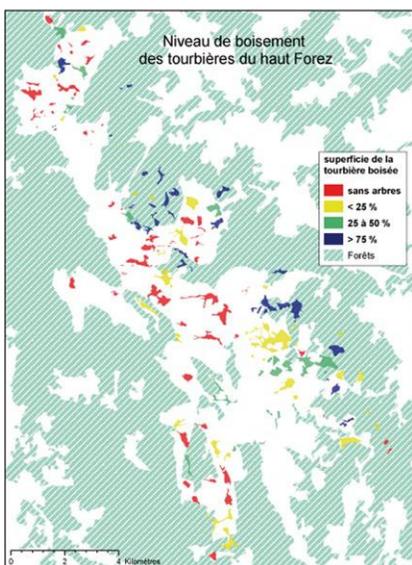


Figure 5 A

Figure 5 : L'analyse des facteurs locaux: l'exemple des relations entre le degré de boisement des tourbières du Haut-Forez et l'importance du couvert forestier autour des sites. A, Le niveau de boisement des tourbières du Haut Forez ; B, L'évolution du boisement du secteur de Bazanne Gourgon entre 1962 et 2001

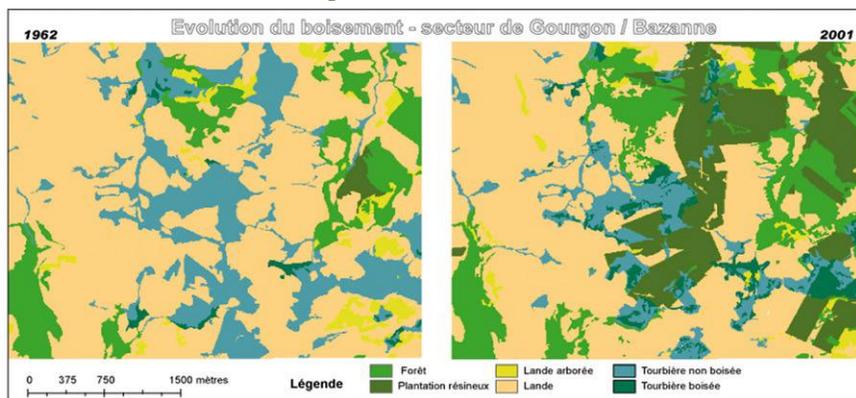


Figure 5 B

4.1. L'interférence des sociétés humaines dans le processus d'accumulation de la tourbe

Le cas de figure le plus simple est celui des tourbières dont le fonctionnement hydrologique a été bouleversé par l'extraction de tourbe. Le creusement de grands fossés de drainage a entraîné l'abaissement significatif de la nappe et une véritable explosion de l'arbre. Sur notre secteur d'étude les exemples sont peu nombreux car l'exploitation de la tourbe comme combustible ou comme terreau horticole n'a jamais pris de l'ampleur.

Seule une dizaine de sites ont été plus ou moins touchés, à l'image de la tourbière bombée de Vérines, dans les Monts du Forez, exploitée entre 1940 et 1980 (CUBIZOLLE, 2005). Après l'arrêt de l'extraction *Pinus sylvestris* et *Betula pubescens* ont envahi la plus grande partie du bombement résiduel. Seule la zone à schlenken résiste au boisement (fig. 6).

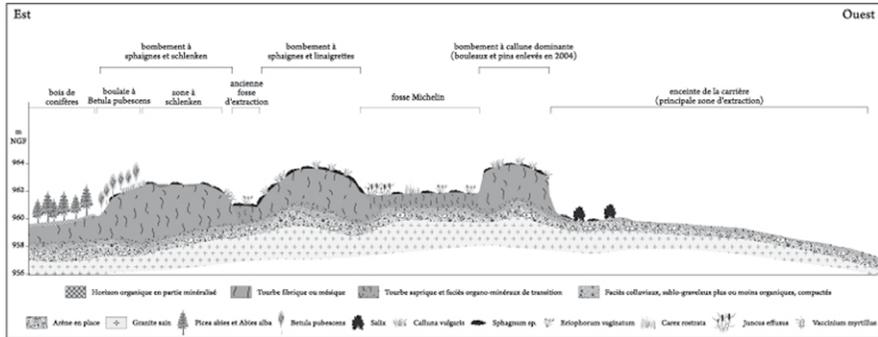


Figure 6 : Profil en travers de la tourbière bombée de Vérines exploitée en carrière dans les années 1940 et 1980 (nord des Monts du Forez, alt. 900 m)

Le drainage associé au reboisement en épicéas (*Picea abies*) a eu un impact beaucoup plus important sur l'hydrologie des tourbières car les superficies concernées sont notablement plus importantes que celles affectées par l'extraction de tourbe. Dans le cadre de la déprise agricole d'après guerre, les plantations se sont multipliées, principalement au cours des décennies 1960, 1970 et 1980. Elles furent stimulées par des incitations fiscales et les subventions du Fond Forestier National créé en 1946. Mais si l'abaissement du niveau des nappes du fait du drainage a souvent bloqué le processus de turfigénèse, il a rarement été suffisant pour permettre une croissance de ces arbres susceptibles de fournir à terme des bois de qualité. En effet, faute d'entretien les fossés de drainage ont rapidement perdu leur efficacité si bien que sur de très nombreux sites beaucoup d'arbres sont morts ou végètent.

Il semble également que le boisement des tourbières soit à mettre en relation avec l'abandon du pâturage après la seconde guerre mondiale. Dans les Monts du Forez le processus a été bien étudié : les tourbières qui continuent à être pâturées ne connaissent pas de développement de l'arbre alors que les autres se couvrent très souvent de bouleaux ou/et de pins sylvestres. L'exemple de la tourbière basse minérotrophe de la Prenarde-Pifoy située à 1125 m d'altitude dans le sud des monts du Forez est à ce titre très caractéristique. La tourbière a été pâturée et *Juncus acutiflorus* fauché jusqu'à la seconde guerre mondiale. Les vaches et les chèvres étaient conduites par les enfants sur

la zone humide et à travers la forêt et les landes. L'étude du cadastre de 1826 atteste la fonction de pâture de la tourbière dans un contexte d'agriculture traditionnelle. Tous les témoignages, confirmés par l'étude dendrologique, prouvent que la tourbière était à peu près totalement dépourvue d'arbres à la fin de la seconde guerre mondiale.

Après 1945, l'exode rural et le recul de l'agriculture ont été rapides et le site a été totalement abandonné. Les pins sylvestres (*Pinus sylvestris*), mais aussi les bouleaux pubescents (*Betula pubescens*) et quelques saules à oreillettes (*Salix aurita*), ont rapidement gagné du terrain. Le comptage des cernes de croissance des pins montre que la très grande majorité d'entre eux a effectivement poussé après 1950. En 2008, seules deux clairières représentant environ 25 % de la superficie totale du site sont seulement arborées, le reste étant entièrement boisé. Et encore l'extension des bouleaux, l'arbre le plus dynamique sur cette tourbière, a-t-elle été ralentie dans les années 1995-2005 par la pression très forte exercée sur la végétation par une population de chevreuils (*Capreolus capreolus*) exceptionnellement abondante.

Enfin un dernier facteur allogène associé à l'action de l'Homme pourrait avoir contribué au développement de l'arbre : l'apport d'éléments organiques comme l'azote ou de particules organiques par les courants atmosphériques. C'est une question peu étudiée. Dans l'état actuel de nos connaissances pour les tourbières du Massif Central oriental, l'hypothèse est peu probable et ce pour trois raisons :

- *Pinus sylvestris* et *Betula pubescens* ou *Betula pendula* ne sont pas des espèces nitrophiles,
- Sur les sites étudiés aucune analyse chimique réalisées par la DIREN-Auvergne n'a révélé des teneurs en azote anormales,
- Les données phytosociologiques disponibles n'indiquent aucun changement anormal dans la dynamique végétale, notamment dans l'évolution des communautés de Sphaigne. Ces études sont toutefois très peu nombreuses et la question de l'impact de l'azote atmosphérique n'a jamais vraiment fait l'objet de travaux spécifiques.

4.2. Le changement climatique en cause ?

La forte pression humaine qui s'exerce d'une façon ou d'une autre sur les écosystèmes tourbeux depuis plusieurs siècles rend difficile la détection d'un éventuel impact du changement climatique sur les tourbières. Et ce d'autant plus qu'elle s'ajoute aux facteurs autogènes et locaux. Il est ainsi souvent impossible de dégager les parts de responsabilité des différents facteurs dans les changements observés.

Deux sites se sont cependant révélés plus propices à un examen du rôle du réchauffement climatique récent dans l'envahissement de ces tourbières par les arbres. Il s'agit de deux tourbières ombrotrophes situées l'une à l'extrême nord et l'autre à l'extrême sud du secteur d'étude.

4.2.1. La tourbière bombée de l'Étui

La tourbière ombrotrophe et bombée de l'Étui se trouve à 1 155 m d'altitude, au cœur de la sapinière acidophile à *Abies alba* et *Vaccinium myrtillus* (*Vaccinio-Abietetum*), dans un vallon affluent de la vallée de l'Étui, sur le versant oriental du massif granitique des Bois Noirs (fig. 7). Dans ce secteur au climat océanique montagnard, les précipitations annuelles varient entre 1200 et 1600 mm selon les années alors que la température moyenne annuelle se place autour de 6° C. Les pluies sont bien réparties tout au long de l'année et l'humidité atmosphérique est toujours importante, maintenue en été par la densité de la couverture forestière. Le contexte bioclimatique est donc très favorable au développement des sphaignes et à la turfigenèse. Aussi le caractère spectaculaire du bombement de l'Étui avec sa convexité très marquée et ses 5,75 mètres d'épaisseur de tourbe laisse penser que, nonobstant l'évolution des essences forestières, des conditions similaires ont dû se maintenir sans changement durable depuis 6600 ans que dure l'accumulation de tourbe (CUBIZOLLE, 2005). Les anciennes études paléocologiques de LEMEE (1941) semblent le confirmer. L'analyse paléocologique en cours par J. Argant (ARPA, Lyon) qui concerne une séquence complète apportera les précisions nécessaires.

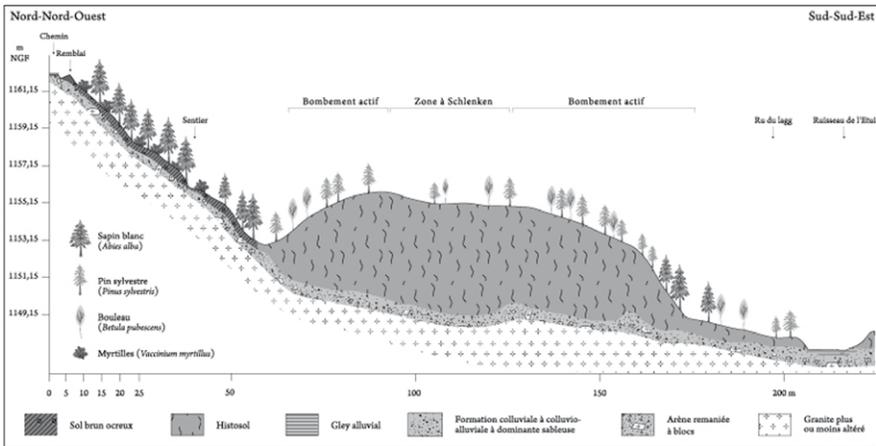


Figure 7 : Profil en travers de la tourbière bombée de l'Étui dans les Bois Noirs (alt. 1155 m)

Sur ce bombement de 2 hectares entouré d'un lagg occupé par une boulaie hygrophile à bouleau pubescent (*Betula pubescens*), *Molinia caerulea*, *Sphagnum girgensohnii* et *Sphagnum palustre*, le cortège floristique se compose de nombreuses espèces typiques de ces tourbières bombées : les *Sphagnum* dont *S. fuscum*, *S. capillifolium* et, dans une moindre proportion, *S. magellanicum* ; *Calluna vulgaris*, *Eriophorum vaginatum*, *Andromeda polifolia*, *Empetrum nigrum*, *Trichophorum cespitosum*, *Rhynchospora alba* et *Drosera rotundifolia* (THEBAUD *et al.*, 2003).

Mais la spécificité de la végétation de l'Etui qui nous intéresse ici est l'abondance des pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) sur une grande partie du bombement, la zone à schlenken étant épargnée. A cela s'ajoute principalement les bouleaux pubescens (*Betula pubescens*), quelques épicéas (*Picea abies*) et de rares sapins blancs (*Abies alba*). La diversité de l'état des arbres est déconcertante. En effet si la plupart des pins sont de petite taille et souffreteux, certains résineux au fût très droit et d'une hauteur de 6 à 10 mètres semblent en parfaite santé. La densité des troncs de plus de 5 cm de diamètre a été calculée sur une parcelle de 1 524 m². Pour les bouleaux on a comptabilisé chaque tronc lorsque l'arbre présentait plusieurs cépées. On abouti à une valeur de 6,2 troncs pour 100 m².

Nous avons choisi de procéder à l'estimation de l'âge des pins sylvestres, l'essence la plus abondante et pour laquelle le comptage des cernes de croissance des individus de plus de 5 cm de diamètre ne pose pas de problème. 81 pins sur une centaine installés sur le bombement ont pu être datés (fig. 8). On constate que l'arbre le plus vieux est âgé de 133 ans, le plus jeune de 20 ans. Par ailleurs 67,9 % des pins ont moins de 60 ans et ont donc germé à partir de 1949. Les classes 30-39 ans, 40-49 ans et 50-59 ans rassemblent à elles seules 55,56 % des arbres datés ce qui place entre 1950 et 1979 la période de germination la plus active.

Tous les témoignages recueillis ainsi que l'examen des cadastres anciens attestent que la tourbière elle-même n'a jamais été affectée de façon significative par les activités humaines. Le pâturage était cantonné aux chaumes des hautes terres du massif, autour du sommet du Montoncel (1 287 m). Le pacage sous forêt était quant à lui limité, les propriétaires forestiers redoutant les dégâts occasionnés aux arbres par les animaux. En revanche, la production de charbon de bois a pu être importante à certaines périodes mais cet aspect de l'histoire forestière locale est malheureusement très mal connu. Ce qui est certain, c'est que si cette activité a pu entraîner une modification de la composition floristique de la forêt avec notamment le développement du sapin blanc au dé-

4.2.2. La tourbière ombrotrophe du Marais de Limagne

Le second site est celui de la tourbière du marais de Limagne dans le massif volcanique du Devès. Située à 1 085 m d'altitude, elle couvre 35 ha du fond d'un maar. Le bassin versant, d'une superficie de 3,5 km², est très largement cultivé. Les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 700 mm et la température moyenne annuelle tourne autour de 8° C.

Cette tourbière, bien étudiée par le Conservatoire Botanique National du Massif Central, se compose d'une vaste partie centrale ombrotrophe à *Sphagnum Rubellum* et *Sphagnum palustre* entourée d'un ensemble de tourbières basses à *Carex* (*Carex curta*, *C. lasiocarpa*, *C. rostrata*, *C. elata* et *C. limosa*), puis de ceintures à *Comarum palustre*, *Equisetum fluviatile* et *Menyanthes trifoliata*. Les niveaux piézométriques sont généralement très hauts et stables au fil des années comme l'a démontré le suivi hydrologique mené entre 2001 et 2006 par la DIREN-Auvergne, une période pourtant marquée par de fortes sécheresses. La nappe affleure la plus grande partie de l'année et toute une zone centrale est riche en gouilles qui ne s'assèchent que quelques semaines certains étés. Le suivi physico-chimique mené entre 2000 et 2006 également par la DIREN-Auvergne n'a pas mis en évidence de processus de dystrophisation. Et tous les témoignages convergent pour dire que le marais de Limagne n'a jamais fait l'objet de reboisement artificiel, ni de pâturage intensif, ni de drainage. Sur ce dernier point on notera toutefois l'existence d'une longue trace rectiligne au cœur de la tourbière, visible sur la photographie aérienne de 1948 mais imperceptible sur le terrain. Elle pourrait être apparentée à un ancien fossé de drainage. Mais aucune autre information n'a pu être collectée qui attesterait de l'existence de cette tentative possible de drainage.

L'analyse par photo-interprétation des photographies de 1948, 1967, 1987, 1999 et 2002, couplée aux observations et aux témoignages montre clairement que les arbres étaient rares et de petite taille, voire absents tout au long de la première moitié du XX^{ème} siècle. En 1967, ils ont commencé à envahir le site, un noyau de colonisation d'environ 1,7 ha s'individualisant nettement à l'aval de la tourbière. D'autres noyaux de colonisation sont visibles sur les photographies mais ils étaient encore de taille très réduite (fig. 10). La progression fut ensuite rapide puisqu'en 1987 tout le Marais de Limagne était boisé avec des densités d'arbres fortes sur environ 1/3 de la tourbière. La densification du boisement continua et en 2008 on comptait en moyenne entre 10 et 16 troncs pour 100 m², pour l'essentiel des bouleaux verruqueux (*Betula pendula*) et des pins sylvestres (*Pinus sylvestris*).

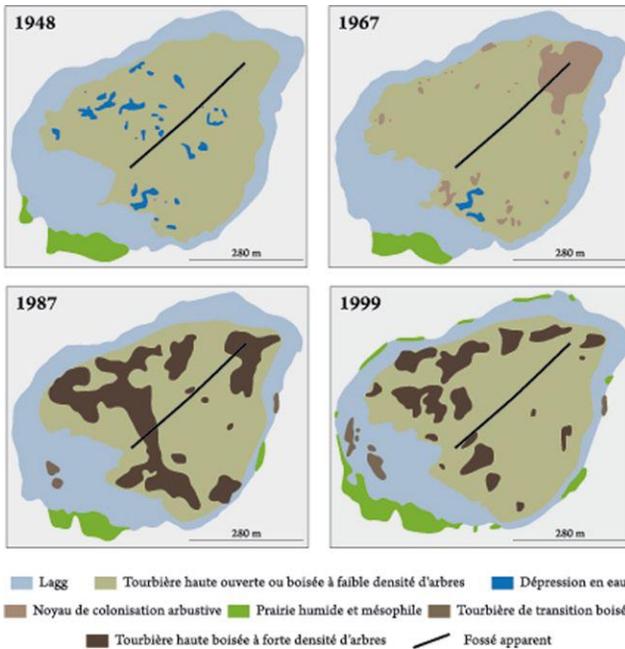


Figure 10 : L'interprétation de l'évolution du boisement sur la tourbière du Marais de Limagne (Plateau du Devès, alt. 1085) entre 1948 et 1999 à partir des photographies aériennes de l'Institut Géographique National (IGN)

L'état sanitaire des arbres a également changé. Jusqu'en 1980 les pins sylvestres dépérissaient rapidement mais, depuis, une nouvelle génération beaucoup plus dynamique s'est mise en place. Un pic d'envahissement est même survenu entre 1982 et 1986. Au début des années 1990, des expériences de coupes de pins sylvestres puis d'exportation des arbres hors du site ont bien mis en évidence cette dynamique. Aucun bilan exhaustif de l'état sanitaire des arbres n'a été réalisé récemment. Mais les observations de terrain indiquent clairement un rapide dépérissement des arbres dans certains secteurs, et en particulier des pins sylvestres. Il semble que cette évolution soit concomitante de la forte pluviométrie des années 2007 et 2008.

4.2.3. Discussion

Le changement climatique récent est-il en cause dans le boisement de certaines tourbières du Massif Central oriental ? La réponse à cette question implique au préalable de s'assurer d'une part qu'aucune intervention humaine n'a modifié de façon significative le fonctionnement hydrologique de la tourbière et d'autre part de réfléchir aux autres facteurs pouvant être impliqués.

Dans l'état actuel des connaissances, et sur les deux sites étudiés que sont la tourbière de

l'Etui et le Marais de Limagne, il nous paraît assez clair que l'action humaine fut limitée. Seul le pâturage a pu avoir un impact mais celui-ci est très difficile à apprécier car nous ne savons ni quels types d'animaux parcouraient le plus ces milieux, vaches, moutons, chèvres ou chevaux, ni le nombre d'animaux, la fréquence et la durée du pacage. Tous ces paramètres devaient par ailleurs évoluer au fil des siècles. Il est bien sûr tentant d'établir un lien entre le développement des arbres et le recul récent de l'agriculture traditionnelle en place depuis plusieurs millénaires dans ces régions. L'arrêt du broutage des jeunes pousses d'arbres par les troupeaux serait alors le facteur déclencheur du boisement. Si ce modèle d'évolution est acceptable pour certains sites des hautes chaumes du Forez qui ont vu exploser les populations de bouleaux dans les années qui ont suivi l'arrêt du pâturage, il n'est assurément pas applicable de notre point de vue ni à la tourbière bombée de l'Etui ni au Marais de Limagne. Il faut en effet garder présent à l'esprit plusieurs choses :

- Tout d'abord les animaux domestiques ne paissaient pas partout en permanence comme nous l'avons vu pour l'Etui, les propriétaires des terrains pouvant interdire l'accès aux animaux, justement pour protéger les arbres ;
- Ensuite il faut bien considérer le faible intérêt des plantes de ces tourbières ombrotrophes sur le plan nutritif ; et si les jeunes pousses de bouleaux sont parfois broutées c'est beaucoup moins le cas des plants de pin sylvestre qui auraient donc pu se développer malgré la présence des troupeaux ;
- Si pacage il y eut, il n'a pu être qu'extensif sur ces terrains et l'élimination systématique de tous les jeunes plants d'arbres est exclue ;
- Enfin, une tourbière comme celle du Marais de Limagne est très hydromorphe et inondée, y compris certains étés. Des données historiques montrent par ailleurs que le caractère lacustre du marais était beaucoup plus affirmé aux XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles d'où le vocable de «lac» souvent utilisé à son endroit. L'accès au site par les animaux domestiques pouvait donc être limité et la nourriture d'un très faible intérêt.

Considérons maintenant les facteurs naturels autres que le climat, qui pourraient expliquer le développement de l'arbre. Le premier a trait à l'évolution naturelle de ces écosystèmes. Ainsi, pour le Marais de Limagne, on peut envisager que la tourbière limogène soit entrée depuis quelques décennies dans sa phase terminale du comblement de l'ancien lac. L'hydromorphie en aurait été peu à peu réduite et le développement de l'arbre favorisé. A l'Etui on peut aussi considérer que la tourbière a atteint un stade de développement et une extension qui, eu égard aux conditions climatiques locales, ne permettent plus d'assurer une hydromorphie suffisante pour garantir l'accumulation de tourbe en tout point du bombement si bien que certains secteurs s'assèchent.

On assiste ainsi en surface à un processus aérobie plus proche de l'humification que de la turfigénèse (THEBAUD *et al.* 2009) et propice à l'installation d'espèces et essences humicoles forestières, mousses pleurocarpes comme *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, divers *Vaccinium*, arbustes et arbres pionniers. On est dans l'hypothèse du fin de cycle de développement autogène du bombement. Mais si l'on se place dans le cadre des conclusions des travaux d'OHLSON *et al.* (2001), la tourbière bombée de l'Etui correspondrait à un climax asylvatique et les arbres seraient donc le signe d'une modification des conditions écologiques induite soit par un changement climatique soit par des interventions humaines. Malheureusement seules des études paléécologiques portant sur l'analyse des macro-restes végétaux permettraient de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses.

L'autre élément de la discussion est bien sûr le climat. Les conditions climatiques qui ont succédé à celles du Petit Age Glaciaire à partir du milieu du XIX^{ème} siècle sont-elles à l'origine du boisement des tourbières ? L'accentuation de la hausse des températures au cours des dernières décennies est-elle responsable des pics d'envahissement de pins sylvestres observés sur le Marais de Limagne dans les années 1980 et explique-t-elle le ralentissement du processus de dépérissement des arbres ?

On peut tout d'abord se demander comment s'est traduit le changement climatique, au moins régionalement sinon localement. Les études conduites à l'Université de St-Etienne sur le département de la Loire à partir des données du réseau Météo-France ont mis en évidence une augmentation moyenne de 1,65° C depuis 1970. Cette valeur est proche de celles annoncées pour d'autres régions de France. Mais cette évolution est disparate dans le temps et dans l'espace. L'augmentation est en effet sensiblement plus forte depuis 1987. Par ailleurs elle est plus marquée en hiver et dans l'est du département, les zones montagneuses de l'ouest et du sud connaissant alors un réchauffement nettement plus modéré. Or la tourbière de l'Etui se trouve dans les Bois Noirs, au nord-ouest du département, le secteur où l'accroissement des moyennes annuelles est le plus faible. Il est donc difficile d'attribuer à une augmentation de température de l'ordre de 0,5° C sur 30 ans le développement des arbres et ce d'autant plus que le réchauffement est principalement le fait de ces 20 dernières années et alors qu'aucun des pins sylvestres datés n'a germé après 1988. Par ailleurs les jeunes pousses sont rares.

On peut aussi discuter pour l'Etui l'hypothèse de l'impact d'une succession d'étés chauds qui auraient entraîné un abaissement saisonnier suffisamment durable des nappes pour favoriser la germination massive des pins sylvestres et leur croissance rapide. Mc VEAN

(1963a, 1963b) a montré qu'en dehors des régions hyperocéaniques, l'abaissement même très faible, du niveau des nappes pendant des périodes plus sèches suffisaient à déclencher la germination des pins. Mais la datation des pins par carottage montrent que les germinations furent sensiblement moins nombreuses au cours de la décennie 40 marquée par des étés chauds et secs qu'au cours des décennies 60 et 70 climatiquement plus proches de la normale (respectivement 7,4 % des germinations contre 18,5 % et 17,3 %).

Pour la Haute-Loire, le poste climatologique le plus proche du Marais de Limagne offrant la série de températures la plus longue est celui de Chadrac près du Puy-en-Velay. Il est situé à une quinzaine de kilomètres à l'est de la tourbière, mais dans un bassin sédimentaire ce qui laisse envisager des conditions climatiques sensiblement différentes de celles du Marais de Limagne installé lui sur le plateau.

L'évolution des températures à Chadrac depuis 1929 montre une augmentation sensible à partir des années 1970 (fig. 11). Cette évolution est conforme à ce que l'on observe dans un grand nombre de postes du département. Il y a bien une concomitance entre cette augmentation des températures et le développement de l'arbre sur le Marais de Limagne. C'est d'autant plus vrai que l'extension de la surface boisée a été très rapide au cours des 20 dernières années, période marquée par une nette accentuation du réchauffement. On peut donc envisager une augmentation sensible de l'évapotranspiration qui aurait fait baisser les nappes plus durablement pendant la saison végétative et favorisé la germination des arbres. Malheureusement les données piézométriques disponibles ne couvrent que la période 2001-2006 et encore ces données sont-elles trop peu nombreuses et disparates.

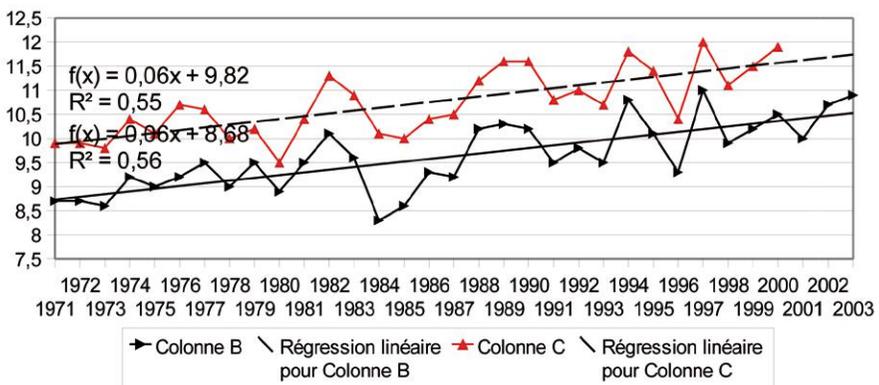


Figure 11 : L'évolution des températures moyennes annuelles entre 1929-2003 au poste climatologique de Chadrac en Haute-Loire (Velay), une quinzaine de kilomètres à l'est de la tourbière du Marais de Limagne

Mais la température n'est pas le facteur le plus pertinent à considérer. Nombre d'études ont montré en effet que ce sont les précipitations estivales et l'enneigement qui jouaient un rôle majeur dans le maintien ou le rétablissement des nappes (MÄLILÄ & SAARNISTO, 2008). Cependant le manque de données concernant l'évolution des précipitations sur le site et l'absence presque totale de données sur le manteau nival ne permettent pas de dégager une tendance lourde. On observe seulement que les hauteurs d'eau annuelles à Chadrac sont plus fréquemment au dessus de la moyenne de l'intervalle 1929-2003 depuis les années 1970 (fig. 12). Cela n'a-t-il donc pas été suffisant, dans un contexte de hausse des températures, pour maintenir un ratio précipitations-évapotranspiration positif ? Impossible à dire sans une connaissance précise de l'évolution saisonnière comparée des précipitations et des températures, un travail qui reste à faire.

Finalement les données météorologiques disponibles sont très insuffisantes pour pouvoir apprécier à sa juste mesure l'impact éventuel d'une évolution climatique sur l'écologie des tourbières. Les postes climatologiques régionaux sont rares en altitude, les séries de données trop courtes, les variables mesurées réduites souvent aux seules précipitations auxquelles s'ajoutent trop rarement les températures. Les variations de l'ETP sont par exemple impossibles à déterminer. A ces carences s'ajoute l'absence de données piézométriques historiques.

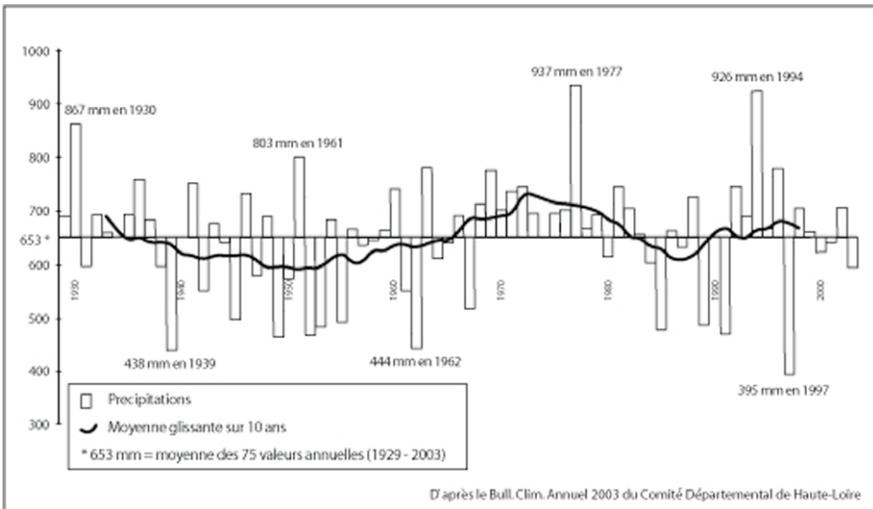


Figure 12 : L'évolution des précipitations annuelles entre 1929-2003 au poste climatologique de Chadrac en Haute-Loire (Velay), une quinzaine de kilomètres à l'est de la tourbière du Marais de Limagne

Si, pour terminer, on se place maintenant dans une perspective géologique, il faut réfléchir aux implications de l'absence - à confirmer certes au moyen des analyses de macro-restes végétaux - de couches de bois au sein des accumulations de tourbe étudiées dans tout le Massif Central oriental (CUBIZOLLE, 2005). Cela pourrait indiquer que la phase de boisement que nous observons depuis un peu moins d'un siècle serait la première de cette importance depuis l'origine de ces tourbières soit le Dryas récent pour le Marais de Limagne et l'Atlantique récent pour la tourbière de l'Etui. Elle suppose encore qu'aucun des nombreux changements climatiques survenus au cours des 13 000 dernières années n'a déclenché un développement de l'arbre comparable à celui que nous connaissons. En conséquence, le changement climatique actuel serait exceptionnel.

Pourtant, ailleurs en Europe, les travaux menés depuis plus d'un siècle sur les tourbières ont permis d'identifier, au sein de nombreuses séquences tourbeuses, des couches de bois matérialisant, selon les auteurs, des phases plus chaudes et plus sèches. Dès le début du siècle WEBER (1926) a qualifié de *grenzhorizont* le passage de la tourbe très humifiée et riche en bois du Subboréal, considéré alors comme une période relativement plus sèche et plus chaude, à celle à sphaigne peu ou pas humifiée du Subatlantique sensiblement plus frais et plus humide. On sait effectivement que les changements climatiques affectent davantage, par le biais de l'impact sur l'hydrologie des sites, le degré d'humification de la tourbe que la végétation elle-même (MÄLILÄ & SAARNISTO, 2008). D'autres horizons indicateurs de changement climatique ont été décrits depuis Weber, notamment par GRANLUND (1932), et ce sur la base de la classification Blytt-Sernander élaborée à partir d'études de tourbières bombées danoises menées par Axel BLYTT (1876) et Rutger SERNANDER (1908) (BIRKS & BIRKS, 1980). Mais d'autres études montrent que la présence de pins dans la tourbe n'implique pas nécessairement une période plus sèche, moins productrice de tourbe. En effet, pour que les troncs et les branches soient conservés il faut un enfouissement rapide dans la sphaigne ce qui suppose des conditions d'humidité très favorables à l'accumulation de tourbe. Au contraire une sécheresse limite la production de biomasse et aboutit à la décomposition du bois mort (BRIDGE *et al.*, 1990). Dans le même ordre d'idée, la synthèse de MÄLILÄ & SAARNISTO (2008) fait apparaître que la présence d'arbres n'est pas nécessairement synonyme d'assèchement et de ralentissement de l'accumulation de tourbe. Ainsi ces auteurs ont montré que les tourbières bombées à *Sphagnum fuscum* et pins sont le type de tourbières affichant la plus forte accumulation de carbone juste derrière les tourbières bombées à *Sphagnum fuscum* seule et devant les 11 autres types de tourbières hautes ou basses définis par les auteurs.

En conséquence un niveau de bois dans la tourbe est indicateur de la fin d'une période sèche et de l'avènement d'une période plus humide. On le voit l'interprétation de la présence de couches de bois dans la tourbe en terme de changements paléobioclimatiques est complexe.

D'autres études stratigraphiques plus fines que celles de la première moitié du XX^{ème} siècle et, surtout, accompagnées de très nombreuses datations par le radiocarbone, ont conclu que les alternances de couches claires et foncées, pourraient correspondre à des cycles climatiques. Ainsi AABY (1976) définit-il des cycles de 260 ans tandis que BARBER (1981) met en évidence six phases d'alternance de conditions sèches et humides sur les 2000 dernières années.

On peut donc penser, que dans les cas de l'Etui et de Limagne, des facteurs autogènes et locaux expliquent l'absence d'autres phases de boisement que l'actuelle ainsi que l'homogénéité relative de la tourbe. On rejoint alors le modèle de croissance verticale des tourbières d'INGRAM (1982) qui considère que le taux de croissance est homogène du fait d'une nappe se maintenant très près de la surface et ce indépendamment des variations climatiques qui ne parviennent pas à remettre en cause l'inertie du système.

Conclusion

De toute évidence les premières études menées sur les tourbières du Massif Central oriental et plus spécialement sur le Marais de Limagne et la tourbière de l'Etui ne permettent pas de répondre clairement à la question des relations entre le changement climatique récent et le boisement des tourbières au XX^{ème} siècle. Pour l'Etui, le développement des arbres ne correspond à aucune modification identifiable des conditions climatiques locales. Pour la Limagne, on note tout de même des concomitances intéressantes entre l'augmentation des températures et l'explosion de l'arbre à partir des années 1980. Mais la faiblesse des corpus de données climatiques ne permet pas de pousser plus avant les analyses. On ne peut pas en particulier reconstituer les variations de l'ETP et estimer les fluctuations des niveaux piézométriques durant la saison végétative.

Concernant les autres facteurs pouvant être impliqués dans le développement de l'arbre, là aussi les imprécisions sont nombreuses. Ainsi, si l'on connaît bien les usages que faisaient les communautés humaines des tourbières, on cerne très mal ce que pou-

vait être l'intensité des pressions exercées sur le milieu par les activités humaines, notamment l'agro-pastoralisme.

Finalement il convient d'orienter les recherches dans quatre directions :

- Trouver d'autres sites pouvant se prêter à ces investigations ; le site de Frasnès dans le Jura nous semble intéressant ;
- Rechercher des secteurs pour lesquels on dispose de séries climatologiques plus longues et plus complètes ;
- Travailler sur les usages attachés aux tourbières et préciser la nature et le degré des interventions humaines ;
- Poursuivre le suivi scientifique engagé depuis 2002 sur 5 tourbières du Massif Central oriental (CUBIZOLLE *et al.*, 2007 ; CUBIZOLLE, 2009) pour voir comment les tourbières réagissent au changement climatique en cours.

Remerciements

Nous remercions d'une part le Conseil Général de la Haute-Loire, gestionnaire du Marais de Limagne, et d'autre part le Syndicat Mixte des Monts de la Madeleine et le Parc Naturel régional du Livradois-Forez, gestionnaires de la tourbière de l'Etui pour leurs appuis logistiques et financiers.

Bibliographie

AABY B. 1976. Cyclic climatic variations in climate over the past 5,500 yr. Reflected in raised bogs. *Nature* 263 : 281-284.

ARGANT J. & CUBIZOLLE H. 2005. L'évolution holocène de la végétation des Monts de la Madeleine, du Forez, du Livradois et du Pilat (Massif Central oriental, France): l'apport d'une nouvelle série d'analyses palynologiques. *Quaternaire* vol. 16 (2) : 119-142.

BARBER K.E. 1981. Peat stratigraphy and climatic change. A.A. Balkema, Rotterdam. 219 p.

BEAULIEU J-L. de, PONS A. & REILLE M. 1984. Recherches pollenanalytiques sur l'histoire de la végétation des monts du Velay, Massif Central, France. *Dissertationes Botanicae* 72 : 45-70.

- BEAULIEU J.L. de, PONS A., REILLE M., 1988. Histoire de la flore et de la végétation du Massif Central (France) depuis la fin de la dernière glaciation. *Cahiers de Micropaléontologie*, 3, 4 : 5-36.
- BIRKS H.H. 1975. Studies in the vegetational history of Scotland. IV. Pine stumps in Scottish blanket peats. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London* 270 : 181-226.
- BIRK H.J.B. & BIRKS H.H. 1980. Quaternary Palaeoecology. Ed. Arnold, Londres. 289 p.
- BRIDGE M.C., HAGGART B.A. & LOWE J.J. 1990. The history and paleoclimatic significance of subfossil remains of *Pinus sylvestris* in blanket peats from Scotland. *Journal of Ecology* 78 : 77-99.
- CARLISLE A. & BROWN A.H.F. 1968. Biological flora of the British Isles : *Pinus sylvestris* L. *Journal of Ecology* 56 : 269-307.
- CHAMBERS F.M. 1997. Bogs as treeless wastes: the myth and the implications for conservation. In : L. PARKYN L., STONEMAN R.E. & INGRAM H.A.P. 1997. *Conserving Peatlands*. CAB international, Oxford, 168-175.
- CUBIZOLLE H., 1997. *La Dore et sa vallée. Approche géohistorique des relations Homme/milieu fluvial*. Publications de l'Université de Saint-Etienne : 389 p.
- CUBIZOLLE H. 2005. Paléoenvironnements et turfigenèse. L'apport de l'étude des tourbières à la connaissance de l'évolution holocène des milieux montagnards du Massif Central oriental granitique. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Limoges. 750 p.
- CUBIZOLLE H., 2009. Peatland monitoring in France. International Peat Society, Jyväskylä, Finland, 2: 26-37.
- CUBIZOLLE H., GEORGES V., LATOUR C., ARGANT J. & SERIEYSSOL K. 2004. La turfigenèse à la fin du Subboréal et au Subatlantique dans les tourbières basses du Massif Central oriental granitique (France) : une manifestation de l'action humaine ? *Quaternaire* vol. 15 (4) : 343-359.
- CUBIZOLLE H., PORTERET J., SACCA C. & ETLICHER B. 2007. Le développement de la collaboration entre scientifiques et gestionnaires pour la mise en place du suivi scientifique des tourbières de France. In : CUBIZOLLE H. 2007. *Origines, fonctionnement et conservation des tourbières*. Actes du colloque de Goutelas, Publications de l'Université Jean Monnet, St-Etienne, 5-7 octobre 2005, 365-381.
- CUBIZOLLE H., TOURMAN A., ARGANT J., PORTERET J., OBERLIN C. & SERIEYSSOL K. 2003. Origins of European biodiversity : palaeo-geographic signi-

fication of peat inception during the Holocene in the granitic eastern Massif Central (France). *Landscape Ecology*, special issue 18 : 227-238.

DUPIEUX N. 1998. La gestion conservatoire des tourbières de France : premiers éléments scientifiques et techniques. Programme Life-Nature »Tourbières de France», Espaces naturels de France. 244 p.

FEDERATION DES CONSERVATOIRES D'ESPACES NATURELS, 2010. *Tourbières des montagnes françaises. Nouveaux éléments de connaissance, de réflexion & de gestion*. Pôle Relais Tourbières, Besançon : 187 p.

FRANKL R. & SCHMEIDL H. 2000. Vegetation change in a south German raised bog : ecosystem engineering by plants species, vegetation switch or ecosystem level feedback mechanisms ? *Flora* 195 : 267-276.

GOUBET P., THEBAUD G. & PETEL G. 2004. Les modèles théoriques de développement des hauts-marais : un outils pour la gestion conservatoire des tourbières. *Géocarrefour* 79 (4) : 303-315.

GRANLUND E. 1932. De svenska högmossarnas geologi. *Sver. Geol. Unders. Arbs.* 26 : 1-193.

GUNNARSSON U., MALMER N. & RYDIN H. 2002. Dynamics or constancy in Sphagnum dominated ecosystem ? a 40-year study. *Ecography* 25 : 685-704.

INGRAM H.A.P. 1982. Size and shape in raised mire ecosystems : a geographical model. *Nature* 297 : 300-303.

LEMEE G. 1941. Recherches sur l'évolution forestière postglaciaire en Auvergne. II, Analyse pollinique d'une tourbière des Bois Noirs. *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne* 1-2 : 41-49.

MÄKILÄ M. & SAARNISTO M. 2008. Carbon accumulation in boreal peatlands during the Holocene – impacts of climate variations. In : STRACK M. 2008. Peatlands and climate change. International Peat society, Finland, 24-43.

McVEAN D.N. 1963a. Growth and mineral nutrition of Scots pine seedlings on some common peat types). *Journal of Ecology* 51 : 657-670.

Mc VEAN D.N. 1963b. *Ecology of scots pine in the Scottish Highlands*. *Journal of Ecology* 51 : 671-686..

MOORE P.D. & BELLAMY D.J. 1974. Peatlands. Elek Science, Londres. 221 p.

OHLSON M., øKLAND R.H., NORDBAKKEN J.F. & DAHLBERG B. 2001. Fatal interactions between Scots pine and Sphagnum mosses in bogs ecosystems. *Oikos* 94 : 425-432.

- OSVALD H. 1923. Die vegetation des Hochmoores Komosse. *Swedish Botanical Society* 1 : 1-146.
- PAYETTE S. & ROCHEFORT L. 2001. L'écologie des tourbières du Québec-Labrador. Les Presses Universitaire de Laval. 621 p.
- PELLERIN S. & LAVOIE C. 2003. Recent expansion on jack pine in peatland of southeastern Québec : a palaeoecological study. *Ecoscience* 10 (2) : 247-257.
- PORTERET J. 2008. Fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant tourbeuses du Nord-Est du Massif Central. Thèse de doctorat, Sciences Humaines et Sociales, Université Jean Monnet. Saint-Étienne. 414 p.
- SCOTT P.A. & HANSELL R.I.C. 2002. Development of white spruce tree islands in the shrub zone of the forest-tundra. *Arctic* 55 (3) : 238-246.
- SUCHEL J-B. 1990. Le climat des monts du Forez. In : Les monts du Forez, le milieu et les hommes. Centre d'Etude Forézienne, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, 81-98.
- THEBAUD G., CUBIZOLLE H. & PETEL G. 2003. Etude préliminaire des haut marais ombrotrophes du Forez septentrional et des Bois Noirs (Massif Central France): Végétation, évolution et dynamique actuelle. *Act. Bot. Gallica*, 150 (1) : 35-57.
- THEBAUD G., GOUBET P., SKRZYPCZAK R. & SOURP E.; 2009. Communautés végétales des tourbières ombrotrophes du Massif central oriental (France). *Act. Bot. Gallica* , 156 (3) : 341-377.
- TOURMAN A., 2007.- *Fonctionnement, dynamique et intérêt paléoenvironnemental des tourbières du plateau volcanique de Dèvès (Velay, Massif Central)*. Thèse pour le Doctorat de Géographie, Université Jean Monnet de St-Etienne : 387 p.
- VON POST L. & SERNANDER R. 1910. Pflanzenphysiognomische Studies auf einigen Torfmooren in Närke. Livret-guide Exc. Suède, 11^e Congrès de Géologie, 14: 1-48.
- WEBER C.A. 1926. Grenzhorizont und Klimaschwankungen. *Abhandl. Naturwiss. Vereins, Bremen* 26 : 98-106.

Moorwald oder Birkenstadium des degenerierten Hochmoores ? Über den Umgang mit Birken im Moor

Angelika BRETSCHNEIDER

Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein
Hamburger Chaussee 25, D- 24220 FLINTBEK

Zusammenfassung :

Ein großer Teil der von Torfabbau und Moorkultivierung verbliebenen ehemals weitgehend baumfreien Hochmoore in Schleswig-Holstein befindet sich heute im Degradationsstadium des Birkenwaldes. Bereits vor mehr als dreißig Jahren wurden Regenerationsvorhaben durchgeführt, zu deren Grundmaßnahme neben dem Wasseranstau auch das Fällen der Birken (Entkusseln) gehörte. Aufgrund von Untersuchungen über die Rolle der Birke und vor dem Hintergrund der für das Moor positiven Funktionen der Birkenbestände, ist nunmehr Zurückhaltung bei der Birkenentnahme geboten. Außerdem sind bestimmte Birkenbestände auf Moorböden nach der FFH-Richtlinie als zu erhaltender prioritärer Lebensraumtyp anzusprechen. Durch die Verteuerung von Erdgas und Heizöl ist das Interesse am Birkenholz als Brennstoff wieder gestiegen, was eine neue Auseinandersetzung mit dem Thema Entkusseln erforderlich macht.

Résumé :

De nombreuses tourbières hautes du Schleswig-Holstein, autrefois en grande partie non boisée, ayant perduré après l'exploitation de la tourbe, sont actuellement dégradées. Il y a 30 ans déjà, des essais de réhabilitation qui comprenaient l'endiguement de l'eau et la coupe des bouleaux avaient été entrepris. Etant donné les études réalisées constatant le rôle positif des peuplements de bouleaux pour la tourbière, il serait souhaitable que l'on observe désormais plus de prudence lors de l'abattage de ces arbres. De plus, selon la directive Habitats, certains peuplements de bouleaux sur tourbe doivent être considérés comme un type d'habitat prioritaire, par conséquent à conserver. Cependant, étant donné l'augmentation du prix du gaz naturel et du fioul, l'intérêt pour le bois de bouleau comme combustible, a de nouveau augmenté, ce qui devrait entraîner prochainement de nouveaux débats sur l'abattage des bouleaux dans les tourbières.

Summary :

A high proportion of the bogs in Schleswig-Holstein, formerly largely treeless and surviving peat extraction and cultivation, are today showing a degeneration state with birch woodland. Regeneration projects were already being put into effect more than thirty years ago, the basic principles of which included, as well as water damming, also the felling of the birches (thinning). Research into the role of the birch, and against the background of the positive functions provided for the moorland by the stands of birch, restraint in the clearance of birch is now called for. As well as this, certain birch stands on peat are to be regarded, according to the Habitats Directive, as priority habitat types to be retained. Increases in prices of natural gas and fuel oil are reawakening interest in birch wood as a fuel, which makes a reappraisal of the thinning policy essential.

Schlüsselwörter : Moor, Hochmoor, Moorwald, Zwischenmoor, Lebensraumtyp, Regeneration, Entkusseln

Schleswig-Holstein verfügte nach einer Erhebung aus dem Jahr 1956 noch über 45.500 ha Hochmoorfläche. Diese ist durch Entwässerung, Torfabbau und Umwandlung in landwirtschaftliche Nutzfläche bis 1998 auf 30.322 ha, also 66,6 % der vormals festgestellten Ausdehnung, reduziert worden. Im Rahmen der Biotopkartierung 1978-1997 sind lediglich auf 10.350 ha der Hochmoorfläche hochmoortypische Biotope erfasst worden, von denen sich damals ca. 4025 ha im Birkenstadium des degenerierten Hochmoores befanden.

Nach heutigen - europäischen - Kartierungs-Kriterien sind davon voraussichtlich mindestens 1.100ha als FFH-Lebensraumtyp «Moorwald» anzusprechen.

Um die Beeinträchtigungen der Entwässerung auf den verbliebenen Moorflächen rückgängig zu machen und die hochmoortypische Vegetation zu fördern, wurden bereits vor mehr als 30 Jahren in vielen Gebieten Regenerationsmaßnahmen durchgeführt. Zu den Grundmaßnahmen gehörte neben dem Wasseranstau in der Regel das Fällen der Moorbirken (*Betula pubescens*), da angenommen wurde, dass die Birken durch Verdunstung dem Moor viel Wasser entziehen würden.

Bei Erfolgskontrollen musste jedoch festgestellt werden, dass es nach dem Kahlschlag auf vorher dicht mit Birken bewachsenen Flächen an Torfmoospolstern, die von einem Jahr auf's andere nicht mehr unter einem Birkenschirm wuchsen, sondern der prallen Sonne und dem Wind ausgesetzt waren, zu Verbrennungs- und Austrocknungser-

scheinungen kam. Durch das Herausziehen der Baumstämme wurden Torfmoosbulte aufgerissen und es kamen Trittschäden hinzu. Teilweise wurde das Holz auch auf den Flächen liegengelassen, da der Abtransport zu mühsam war. Auf trockeneren Flächen ohne Torfmoose (*Sphagnum spp.*) entwickelten sich die Birken fast rasig, so dass alle paar Jahre wieder entkusselt werden musste, um die Flächen baumfrei zu halten.

Diese Beobachtungen des damaligen Landesamt für Naturschutz und Landschaftspflege Mitte der 1980er Jahre führten dazu, dass das Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein mittels Vergabe eines Gutachtens klären ließ, welche Auswirkungen das Entkusseln auf den Wasserhaushalt und die Vegetation (insbesondere die Torfmoose – *Sphagnum sp.* – in den verschiedenen Degenerationsstadien des entwässerten Hochmoores und des Zwischenmoores hat. Das Ergebnis war ernüchternd (WAGNER, 1986).

Die hydrologischen Eigenschaften der mehr oder weniger stark zersetzten Torfe werden durch das Entkusseln (und das Aufstauen der Gräben) nicht verändert, die Moorbirke bleibt weiterhin vital.

Lichtliebende Sphagnen und Ericaceen können sich zwar besser ausbreiten, hochmoorfremde Arten als typische Vertreter der Kahlschlagflur, wie Brombeere (*Rubus sp.*), Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*), Kleiner Sauerampfer (*Rumex acetosella*) und Schmalblättriges Weidenröschen (*Epilobium angustifolium*) aber auch, außerdem sehr zahlreiche Birkensämlinge.

Durch wiederholte Entkusselungsmaßnahmen wird die Vegetationsdecke, vor allem die Torfmoospolster, stets wieder beeinträchtigt.

Diese Aussagen führten zu differenzierteren Planungen mit dem Schwerpunkt «Wiedervernässung». Entkusselungen als Erstmaßnahmen wurden nur noch für wenige Gebiete empfohlen. Randwälder um die Moorzentren herum wurden ohnehin stehen gelassen, da in Schleswig-Holstein oft windige Klimaverhältnisse herrschen.

Es gilt also, eine Austrocknung der Hochmooroberfläche durch Wind zu vermeiden.

Außerdem sind bei der agrarisch intensiv genutzten – und gedüngten – Landschaft auch ausreichend breite und aufnahmefähige Pufferzonen gegen Einträge aus der Landwirtschaft erforderlich.

Dass ein Birkengürtel diese Funktion übernehmen kann und unter Umständen auch für Teilflächen eines Hochmoores wichtig sein kann, zeigen erste Untersuchungen im

Himmelmoor bei Quickborn. Dort wurde ein Transekt über einen stehengelassenen Knust gelegt, in dem die an Birken lebenden Flechten erfasst wurden. Im Randbereich zeigten sich Arten, die nährstoffreiche Verhältnisse anzeigen, im Inneren hingegen solche, die «reine» Luft bevorzugen (Untersuchungen von ODEN-BEHRENDT, 2008, Exkursion Flechten im Himmelmoor, unveröffentlicht). Leider sind bereits einige der randlichen Birken gefällt worden.

Vertiefende Untersuchungen «Zur Ökologie der Moorbirke *Betula pubescens* EHRH. in Hochmooren Schleswig-Holsteins unter besonderer Berücksichtigung von Regenerationsprozessen in Torfstichen» führte Christian Wagner von 1989 bis 1994 im Rahmen seiner Dissertation durch (WAGNER, 1994).

Dabei berücksichtigte er neben den Grundwasser- und Nährstoffverhältnissen auch die Klima- und Immissionsbedingungen in Schleswig-Holstein und legte seinen Schwerpunkt auf sekundäre Moorbirkenwälder.

Wie nicht anders zu erwarten war, stellt er klar heraus, dass die Möglichkeit der oberflächennahen Wasserhaltung die entscheidende Grundlage für den künftigen Schutz anthropogen veränderter Hochmoor-Ökosysteme ist. Hierzu sind die Relief- und Vorflutverhältnisse ausschlaggebend, keinesfalls jedoch der Grad der Birkendeckung.

Er plädiert vielmehr für eine Regeneration über das Zwischenstadium sekundär verumpfter Moorbirkenwälder, denen er wegen ihrer Ähnlichkeit zu primären Stadien der Hochmoorbildung einen hohen Naturschutzwert beimisst. Lediglich zur Erhaltung wertvoller lichtliebender Pflanzenarten möchte Wagner eine vorsichtige Birkenentnahme zulassen.

Der Begriff Moorwald wurde bis vor kurzem vielfach für alle dicht mit Birken bestandenen Moorflächen verwendet und oft nicht vom Birkenstadium des entwässerten Hochmoores unterschieden. Die FFH-Richtlinie hat uns gelehrt, zu differenzieren.

Laut der landeseigenen Definition (Lebensraumtyp-Steckbrief in der Fassung vom Mai 2007) sind in Schleswig-Holstein auch in der atlantischen Region «Bewaldungsstadien entwässerter, abgetorfter oder auf andere Weise zugunsten von naturnaher Gehölzausbreitung veränderter Anmoor- und Moorstandorte als Moorwald anzusprechen. Diese sind standörtlich und vegetationskundlich nicht immer von natürlichen (primären) Moorwäldern zu unterscheiden.» Darunter können durchaus abgetorfte Flächen fallen, auf denen sich zwar genau wie auf den stehengelassenen Torfdämmen Moorbirken angesiedelt haben, wo aber aufgrund der Nähe zum Grundwasser so feuchte Boden-

verhältnisse herrschen, dass sich auch Torfmoose ausbreiten konnten. Während im natürlichen oder weitgehend naturnah belassenen Hochmoor der Moorwald in der Regel im Randgehänge zu finden ist, kann sich der Standort bei Resthochmooren durch Abtorfung, Entwässerung oder auch teilweise Kultivierung durchaus in Richtung Hochmoorzentrum verschoben haben. Dabei kann es auch vorkommen, dass ein Resthochmoor aufgrund seiner geringen Größe flächendeckend aus Moorwald besteht, wie es bei dem Naturschutzgebiet «Heidmoor» der Fall ist.

Wie zur Bestätigung der Aussagen von Chr. Wagner sind auch solche Bewaldungsstadien als prioritärer Lebensraumtyp «Moorwald» anzusprechen, die im Rahmen der Hochmoor-Regeneration in andere Lebensraumtypen umgewandelt werden, also nur als Übergangsstadium fungieren.

Nach einer ersten Auswertung vorhandener Daten im Jahr 2000 hat Schleswig-Holstein etwa 1100 ha Moorwald aufzuweisen, wovon 460 ha in der atlantischen und 650 ha in der kontinentalen Region zu finden sind.

Zur Zeit wird im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt eine aktuelle Kartierung des Vorkommens dieses Lebensraumtyps auf der Basis der FFH-Richtlinie und des Lebensraumtyp-Steckbriefes durchgeführt. Es ist davon auszugehen, dass noch weitere bewaldete Moorflächen als Moorbirkenwälder angesprochen werden können.

Auch wenn wir es hier mit einem prioritären Lebensraumtyp zu tun haben, der mit besonderer Beachtung zu schützen oder wiederherzustellen ist, es sei denn er ist gerade im Begriff, sich zu einem lebenden Hochmoor zu entwickeln, stehen wir doch vor der Frage, ob in einem sekundären, durch Eingriffe entstandenen Lebensraum eine Entkusselung fachlich absolut abzulehnen ist. Es wäre im Einzelfall zu prüfen, ob zur Förderung bestimmter schützenswerter Arten, wie zum Beispiel dem Sumpfporst (*Ledum palustre*), wenigstens Teilflächen freigestellt oder ausgelichtet werden können.

Im Naturschutzgebiet «Heidmoor» wurden bereits vor der Existenz der FFH-Richtlinie Birken gefällt, um einen lockeren Birkenschirm zu entwickeln. Vor ca. 3-4 Jahren wurde dafür erstmals die Technik des Ringelns erprobt. Bei dieser Methode wird die Versorgung der Zweige Jahr um Jahr weiter unterbrochen, so dass es ca. 4-6 Jahre dauern kann, bis die Birken vollständig absterben. Dieses hat den Vorteil, dass die Gehölzstruktur zunächst erhalten bleibt, der Wind weiterhin gebremst und die Schattenwirkung erst allmählich reduziert wird. Das Kleinklima wird also nicht abrupt verändert wie beim Fällen der Bäume. Die Tierwelt kann sich wie die Pflanzen nach und nach auf die langsam eintretenden neuen Lichtverhältnisse einstellen. Trittschäden halten

sich in Grenzen, da keine abgesägten Birkenstämme aus dem Moor abtransportiert werden müssen. Das Totholz bietet zwischenzeitlich einen weiteren Lebensraum für Wirbellose und Höhlenbrüter, fällt über mehrere Jahre verteilt stückweise auf den Boden und bedeckt nicht wie beim Liegenlassen der Stämme auf einmal flächig wertvolle Vegetation.

Zu guter Letzt haben wir in Schleswig-Holstein neuerdings mit dem Problem ganz anderer Art zu tun. Aufgrund der Verteuerung von Heizöl und Erdgas wird zunehmend auf Holz als Heizmaterial zurückgegriffen. Standen bisher Wälder und Wallhecken (Knicks) im Mittelpunkt des Interesses, so gibt es seit einiger Zeit vermehrt Anfragen bezüglich der Entnahme von Birken aus Mooren, und das nicht nur für den privaten Verbrauch sondern inzwischen auch, um das Holz zu vermarkten. Leider herrscht nicht nur in der allgemeinen Bevölkerung sondern auch bei Behörden, die den Naturschutz vor Ort umsetzen sollen, immer noch die Meinung, die Birke gehöre nicht in's Moor, sie entziehe dem Moor zuviel Wasser. Vor diesem Hintergrund ist es schwierig, die Bedeutung der Birke mit ihren Funktionen für das Hochmoor und die Hochmoorregeneration deutlich zu machen. Wer heute dafür plädiert, die Birke im Moor stehen zu lassen, erntet meist Unverständnis. Um potentiellen Naturschutz-Kritikern keine neuen Angriffsflächen zu bieten, wird manchmal versucht, Birkenbestände für die Feuerholznutzung freizugeben, die nicht so entscheidend für das Wohl des Moores sind und bei deren Abholzung und Abtransport keine größeren Flurschäden entstehen. Allerdings wird bei dieser Entscheidungsfindung meist der Artenschutz noch zu wenig berücksichtigt.



Abb.1: Prioritärer Moorwald oder Degenerationsstadium? (Foto: A. Bretschneider 2007)



Abb.2: Entkusselung im Himmelmoor bei Quickborn. (Foto: H. Mordhorst 2004)



Abb.3: geringelte Birke. (Foto: A. Bretschneider 2007)



Abb.4: Totholz ca. 4 Jahre nach dem Ringeln. (Foto: A. Bretschneider 2007)



Untersuchungsgebiete der Dissertation von Chr. Wagner, 1994: Kaltenhofer Moor bei Kiel und Dosenmoor bei Neumünster, Schleswig-Holstein

Literatur

SCHÜTRUMPF R. 1956. Die Moore Schleswig-Holsteins. *In*: GEOLOGISCHES LANDESAMT SCHLESWIG-HOLSTEIN (Hrsg.). Übersichtskarten zur Geologie von Schleswig-Holstein. 40 p., Kt. 1 : 500.000; Kiel.

WAGNER C. 1986. Auswirkungen des Entkusselns auf den Wasserhaushalt und die Vegetation (besonders der Torfmoose) in den verschiedenen Degenerationsstadien des entwässerten Hochmoores und des Zwischenmoores. Gutachten im Auftrag des schleswig-holsteinischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, unveröffentlicht, Universität. Kiel. 139 p.

WAGNER C. 1994. Zur Ökologie der Moorbirke *Betula pubescens* EHR. in Hochmooren Schleswig-Holsteins unter besonderer Berücksichtigung von Regenerationprozessen in Torfstichen, *In*: Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Geobotanik in Schleswig-Holstein und Hamburg e.V., Dissertation Biologie. Christian Albrecht Universität Kiel. 142 p.

La tourbière, le plateau et l'arbre: Exemple du réseau de tourbières de Montselgues (Ardèche)

Fabrice GREGOIRE (1), Hervé PARMENTIER (1) & Benoît PASCAULT (2)

1 Ens-Lsh, 15 Parvis René Descartes BP 7000 69342 Lyon cedex 07

2 CREN Rhône-Alpes, Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces Naturels (CREN)

Antenne Ardèche-Drôme, Le Rouveyret - 07200 Vogüé

Résumé :

Le plateau de Montselgues est depuis dix ans l'objet d'un programme de gestion et de restauration de tourbières de petite taille en réseau. Dans un premier temps, des opérations de déboisement intensif ont été menées sur de petites surfaces. Aux impératifs biologiques s'est ajoutée une vision sociale de ces espaces dans un village en reconquête de son espace rural.

Tirant parti, dans le cadre d'un travail commun de scientifiques et de gestionnaires, des premières expériences et notamment de certaines limites dans les effets du déboisement, un nouveau plan de gestion privilégie la mise en mosaïque des paysages forestiers et des paysages ouverts afin de favoriser la circulation des espèces et la limitation des contraintes climatiques.

Zusammenfassung :

Auf dem Plateau von Montselgues wird seit zehn Jahren ein Betreuungs- und Renaturierungsprogramm der kleinen, vernetzten Moore durchgeführt. In einem ersten Abschnitt wurden auf kleinen Flächen intensiv Bäume gefällt. Zu den biologischen Erfordernissen kamen noch soziale Gesichtspunkte für dieses Gebiet in einem Dorf hinzu, das versucht, seinen ländlichen Raum zurückzugewinnen.

Wie die ersten Erfahrungen, namentlich der begrenzten Wirkung der Abholzungen, einer gemeinsamen Arbeit von Wissenschaftlern und Verwaltungsbeamten zeigen, begünstigt ein neuer Bewirtschaftungsplan die Entwicklung einer Mosaiklandschaft mit Wechsel von Wald und offenem Land. Dies soll die Mobilität der Arten fördern und die klimatischen Auswirkungen begrenzen.

Summary :

For ten years the Montselgues plateau has been the object of a programme of management and restoration of small-scale mires as part of a network. In the first instance,

intensive woodland clearance operations were carried out over small areas. Added to the biological imperatives was a social vision of these spaces in the context of a village winning back its space in the rural environment.

Drawing on the initial experience gained, within the framework of a joint study involving scientists and management specialists, and taking note in particular within certain limits of the effects of the woodland clearance, a new management plan came into being which gives priority to the establishing of a mosaic of forest landscapes and open spaces in order to favour the circulation of species and impose a limitation on climatic constraints.

Mots-clés : réseau de tourbières, dynamique de boisement, perception du paysage, gestion forestière.

Introduction

Le site du plateau de Montselgues, un éperon orienté selon une ligne méridienne au sud du Plateau Ardéchois, abrite un réseau de tourbières qui sont individuellement de petites dimensions, la plus grande ayant une superficie à peine supérieure à un hectare. Leur intérêt biologique tient au fait qu'elles se trouvent dans une position très méridionale par rapport au Massif Central et qu'elles forment un réseau étendu sur plus de 300 ha . Elles font l'objet, depuis 1998, d'opérations de gestion sous la conduite du Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces Naturels (CREN) en partenariat avec les acteurs locaux (éleveurs, chasseurs, sylviculteurs, élus, Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt, Conseil général, Parc Naturel Régional des Monts d'Ardèche).

Ce plateau a connu, comme l'ensemble du plateau ardéchois, un boisement important depuis les années 1950, soit du fait de plantations de résineux, soit surtout du fait d'une dynamique naturelle extrêmement vigoureuse du Pin sylvestre.

La question de la place de l'arbre au sein de cet ensemble de tourbières est posée depuis le début de la gestion écologique du site. Dans un premier temps, elle s'est traduite, dans le cadre des opérations prévues par le premier plan de gestion de la tourbière des Narcettes par une politique visant avant tout à la restauration et au maintien des milieux ouverts sur les terrains dont le CREN ou la commune de Montselgues avaient la maîtrise foncière.

Dans le cadre d'un LIFE Nature «Préservation des landes, tourbières et chauves-souris du plateau de Montselgues», il a été envisagé une autre politique de gestion de l'espace.

Nous présenterons successivement :

- le site qui pose la question de la pérennité des milieux les plus remarquables, dans un contexte hydrogéomorphologique a priori peu favorable aux tourbières,
- la dynamique forestière récente, anthropique ou spontanée, qui a vu ces espaces récemment dénudés se muier en espaces forestiers,
- les choix successifs faits par les gestionnaires et les raisons, aussi bien biologiques que sociales, pour lesquelles ces choix ont évolué.



Figure 1 : Localisation de Montselgues.

1. Fragilité et robustesse des tourbières du Plateau de Montselgues

Les tourbières du plateau de Montselgues font partie d'un massif de tourbières qui se trouve sur le plateau ardéchois. Elles s'en distinguent par leur nature : l'essentiel des autres sites sont soit liés au volcanisme (tourbières de maar) soit, et c'en est la plus grande partie, elles sont liées aux caractères géomorphologiques (alvéoles granitiques,



Tourbières du Plateau de Montselgues

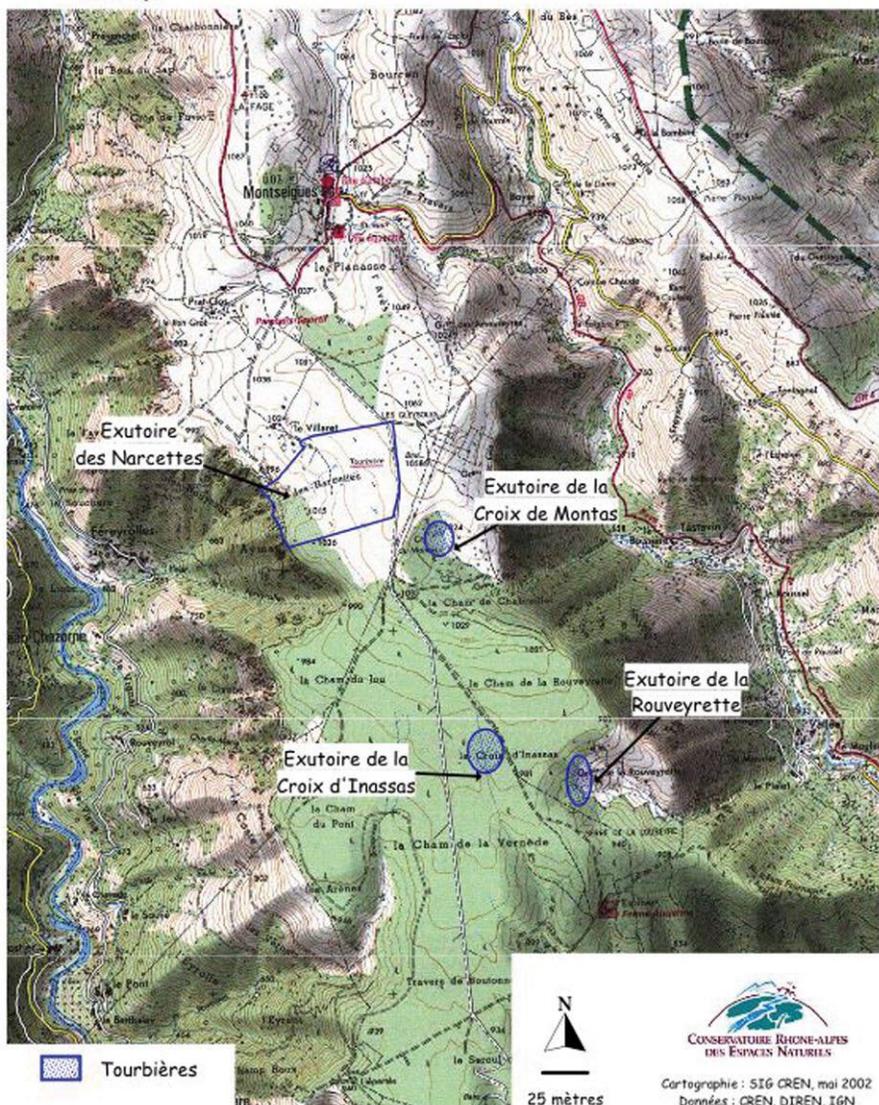


Figure 2 : Le réseau de tourbières du plateau de Montselgues.

têtes de bassins versants) qui génèrent des formes en creux favorables à la stagnation des eaux. De plus, pratiquement toutes ces tourbières ont été aménagées par les sociétés au cours des siècles, non pour accumuler de la tourbe mais pour servir de réserve d'eau pour différents usages, notamment la pisciculture.

Les tourbières du Plateau de Montselgues sont différentes du reste des tourbières d'Ar-dèche en ce sens qu'elles se sont développées sur un plateau gréseux qui ne présente pas les formes en creux des géomorphologies citées plus haut. En revanche, comme les précédentes, elles ont été l'objet de nombreux aménagements hydrauliques.

Le réseau est développé sur une grande superficie (figure 2), aux environs de 600 hectares mais les unités sont de petite taille, la plus développée étant de l'ordre d'un hectare et demi. L'ensemble le plus cohérent, celui des Narcettes, atteint, par regroupement d'unités disjointes séparées par des landes sèches à humides, la superficie de 6 hectares.

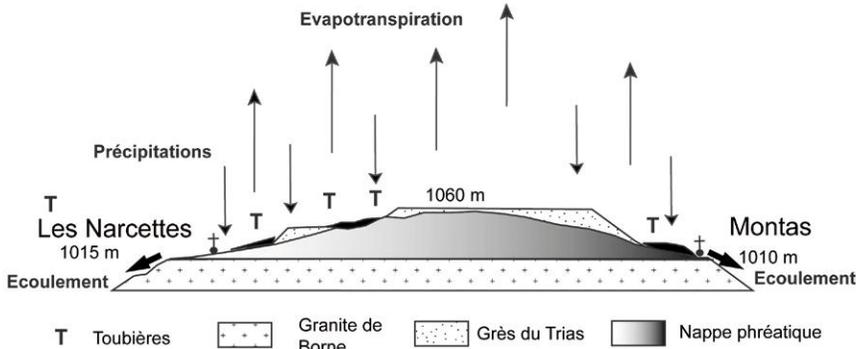
L'intérêt de ces tourbières est de présenter, très au sud du Massif Central, des habitats de tourbières hautes actives et de dépressions à *Rynchospora* blanc, complétés par des habitats de lande bien développés. Y est associée une entomofaune très intéressante dont l'Azuré des Mouillères qui constitue un des éléments les plus remarquables et fait l'objet d'une gestion spécifique au travers de la gestion de sa plante hôte, la *Gentiane pneumonanthe*, par l'adaptation des périodes de pâturage à la phénologie de l'espèce. Ces habitats se répètent régulièrement dans les clairières qui parsèment le plateau.

Ces tourbières sont à la fois fragiles et robustes.

Les caractères de fragilité sont :

- des caractères géomorphologiques et topographiques peu favorables au blocage des écoulements, ainsi qu'une alimentation par un aquifère de dimensions restreintes (figure 3),
- une pluviométrie qui semble généreuse (1500 mm annuels) mais est extrêmement irrégulière aussi bien au cours de l'année (épisodes cévenols très marqués) que d'une année à l'autre,
- des épaisseurs de tourbe très réduites, 80 cm au maximum et dans la plupart des cas inférieure aux 40 cm souvent retenus comme critère de définition pédologique pour ce type de milieu.

Vie de l'eau sur le plateau de Montselgues



Crédit : F. Grégoire, Université de Lyon, Ens-Ish, UMR 5600 EVS, CNRS; Adaptation : H. Parmentier, UMR 5600 EVS, Ens-Ish, 2008

Figure 3 : Les trajets de l'eau sur le Plateau de Montselgues.

Les caractères de robustesse sont :

- le fait que des années très pluvieuses viennent régulièrement remettre à niveau la nappe qui alimente les tourbières,
- un aménagement effectué par les sociétés rurales qui ont de tout temps essayé de retenir l'eau sur le plateau au moyen d'ouvrages hydrauliques dont le développement des tourbières a énormément profité,
- une attention soutenue de la part des naturalistes, des gestionnaires et une identification du développement néo rural du village à ces milieux compatibles avec le mode d'exploitation des sols.

Le développement forestier et les premières réponses dans le cadre du plan de gestion

Le développement provoqué ou spontané de la forêt, phénomène très récent sur ces plateaux voués à l'élevage depuis des siècles, est l'un des enjeux majeurs, avec la maîtrise de l'eau et la conduite du pâturage, de la gestion conservatoire actuelle.

Comme de nombreux espaces abandonnés à la suite de la déprise agricole et l'exode rural, ces milieux se sont boisés, essentiellement d'une manière spontanée. La plus grande partie du plateau est couvert d'un semis irrégulier de pins sylvestres, le reste a connu des épisodes de plantations de résineux, épicéas, pins à crochet, ...

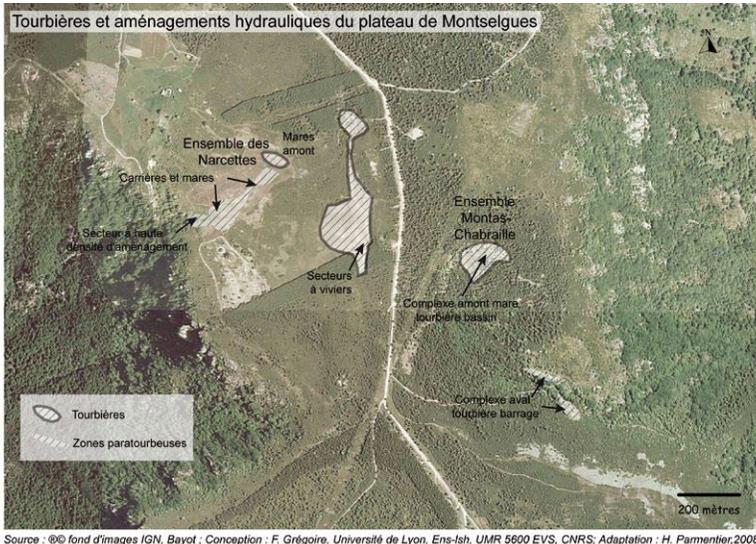


Figure 4 : Aménagements hydrauliques sur le Plateau de Montselgues.

Les photographies aériennes de la fin des années 1940 montrent un plateau sans arbre, un paysage complètement différent de celui d'aujourd'hui. La colonisation spontanée en pins sylvestres s'amorce dès l'après-guerre, celle par la plantation est beaucoup plus récente : nous avons des témoignages du début des années 1980 et des recherches entreprises dans le cadre d'une thèse (DODANE, 2009) montrent que l'essentiel des plantations à Montselgues se situe dans la dernière tranche des périodes de plantations (figure 5).

C'est dans ce contexte relativement nouveau que le CREN, après avoir reconnu l'intérêt du site, décide, dans le cadre de son plan de gestion 1998, d'élaborer, sur les terrains dont il a la maîtrise foncière, des opérations de déboisement, de fauche, de broyage et d'écobuage de grande ampleur. L'objectif initial était (figure 6) de maintenir ouverts les milieux humides et les landes montagnardes menacés par l'invasion par le Pin sylvestre.

Dans un premier temps, des opérations de déboisement importantes ont été conduites pour dégager le principal ensemble de tourbières situé sur le versant ouest. Ce fut le cas lors des premières opérations de gestion sur le secteur des Narcettes où se sont succédées, dans le cadre du premier plan de gestion (1998-2002), toutes les manières de réduire l'importance du couvert forestier, telles qu'elles sont décrites dans le manuel de

Evolution du boisement sur le plateau de Montselgues
depuis les années 1950 - Etat initial sans arbre

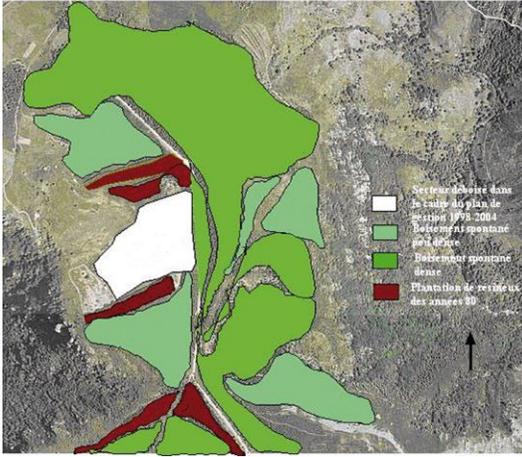


Figure 5 : Evolution diachronique du couvert forestier depuis 1950.



Tourbière des Narcettes
Groupements végétaux humides
et travaux réalisés de 1998 à 2002

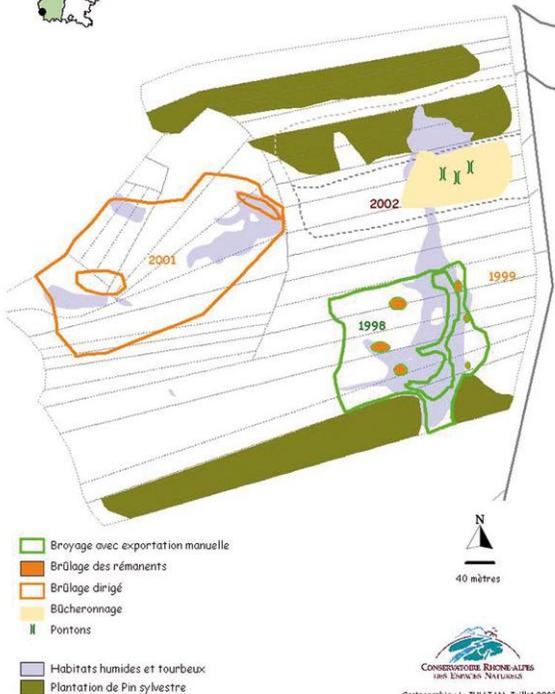


Figure 6 a et 6 b : Travaux réalisés dans le cadre du plan de gestion 1998- 2001 et le paysage résultant (photo Grégoire).



CONSERVATION REGIONALES
JARDIN ENRIKHO NERUSOVA
Cartographie : L. JULLIAN, Juillet 2002
D'après photo IGN, 1995?
Relevés de terrain : L. MAUNDURY, 1997

gestion des tourbières (DUPIEUX, 1998). Ainsi, près d'une trentaine d'hectares ont été concernés, à des titres divers, par cette opération.

2. Un premier bilan et l'orientation vers d'autres démarches

Quelques années plus tard, à partir de 2004, il a été envisagé, dans le cadre d'un programme Life Nature, de réaliser un nouveau plan de gestion visant à poursuivre à l'échelle du plateau la réouverture du milieu. Dans cette perspective, il a été proposé de prendre un peu de recul par rapport à la première opération, d'une part parce que ce genre de gestion est très onéreux et qu'il importe de bien en vérifier la validité et d'autre part parce que ce point de vue qui consiste à considérer l'arbre comme un ennemi systématique de la tourbière a considérablement évolué (GREGOIRE *et al.*, 2007)

La première démarche a été de voir ce qui se passait sur place. Nous avons pu constater que si ces opérations privilégiaient l'ouverture des milieux, elles se traduisaient par une exposition plus importante aux météores climatiques. Ainsi :

- L'exposition au vent est beaucoup plus forte, ce qui n'est pas négligeable sur ces plateaux, renforçant l'évapotranspiration potentielle et gênant la circulation des divers ordres d'insectes.
- L'exposition au soleil est également beaucoup plus importante : il a été observé dans certaines gouilles des processus de minéralisation de la tourbe et le développement de cyanobactéries.
- Les assèchements superficiels de sphaignes y sont importants.

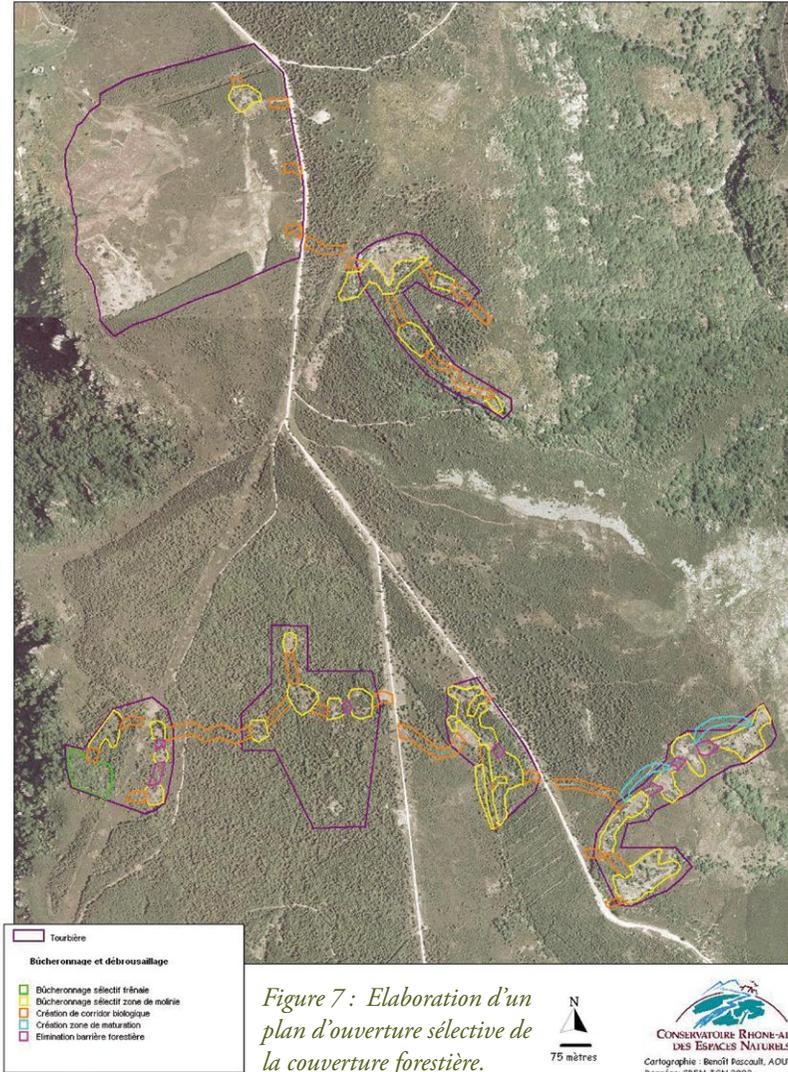
D'autres tourbières, orientées différemment comme la tourbière de la Croix de Montas, n'ont apparemment pas souffert de garder leur écran boisé qui semble au contraire jouer un rôle protecteur vis-à-vis du stress hydrique et du vent, particulièrement forts sur ces plateaux ensoleillés et très ouverts. D'une manière générale, les tourbières qui n'ont pas été dégagées, dès lors qu'il y a une épaisseur suffisante de tourbe, résistent bien à la dynamique spontanée du pin sylvestre, principal pionnier de ces régions.

De ce fait, les nouvelles opérations de gestion, prévues dans le cadre du nouveau plan de gestion 2008-2012, privilégient une reconnexion des tourbières sous forme de corridors dégagés au cœur des espaces boisés sans systématiquement condamner ceux-ci mais en tenant compte de leurs caractéristiques en matière de prélèvement en eau et de leur position sur le bassin-versant par rapport aux tourbières.



Réseau de tourbières du plateau de Montselgues (site Natura 2000 B8)

Bûcheronnage sélectif et débroussaillage
2008 - 2012



Des reconnaissances sont en cours pour adapter le plan de travaux à la réalité de terrain. Il existe actuellement deux grands types de corridors :

Les pistes de desserte du plateau qui sont entretenues dans le cadre de la lutte contre l'incendie et qui, d'après les observations des entomologistes, semblent jouer un rôle

important dans la circulation des insectes. Des opérations d'éclaircies sont régulièrement effectuées le long de celles-ci (figure 8).

La tranchée forestière située sous la ligne à haute tension, qui a permis notamment de maintenir dégagé une petite tourbière (Cham du Jou) qui est stratégiquement importante en matière de circulation des espèces (figure 9).



Figure 8 : Eclaircies le long de la piste de Montselgues. (photo Grégoire F.)



Figure 9 : Tourbière dans la tranchée forestière de la ligne électrique à haute tension. (photo Grégoire F.)

Les opérations ainsi planifiées se déroulent dans le contexte d'un Life nature, c'est dire qu'elles font l'objet d'un processus de concertation. Il est intéressant de voir comment réagissent à cette orientation de politique les acteurs du territoire qui ont l'occasion d'exprimer leur point de vue au cours des réunions organisées par les porteurs du projet (Conseil général d'Ardèche, CREN, Parc Naturel Régional des Monts d'Ardèche). On note que le discours anti-arbres se révèle encore très fort. A cela, il y a plusieurs raisons :

Tout d'abord, les habitants du plateau se rendent compte de la vigueur de la dynamique forestière spontanée et de la disparition des paysages de leur enfance pour les plus âgés.

Ensuite, la reconquête de terrains ouverts s'est révélée correspondre aux attentes du développement local : les éleveurs, en quête de terrains ouverts, ont soutenu la démarche.

Enfin, la commune, dans le but de renforcer l'attractivité de son village, a facilité le développement d'un tourisme de randonnée et d'amateurs de nature. L'image proposée est celle d'un espace ouvert, « avec de la vue », par contraste avec d'autres secteurs du plateau ardéchois où la vue est limitée par les espaces forestiers.



Figure 10 : Les landes gagnées sur la forêt, terrains de parcours pour les troupeaux. (photo PNR Monts d'Ardèche)



Figure 11 : L'image promotionnelle de Montselgues, un vieux village, un espace ouvert. (Carte postale La Fage)

Conclusion

L'étude du cas de Montselgues est assez démonstratif, dans un contexte local dynamique, de l'évolution des conceptions en matière de gestion des tourbières par rapport à la place de l'arbre :

son rôle n'est plus jugé uniquement comme négatif,

il permet, en jouant sur la mosaïque des couverts d'apporter une diversité du paysage qui ne peut être que profitable à la biodiversité.

En revanche, l'arbre occupe une place dans la représentation des paysages non négligeable. Elle doit être prise en compte dans le processus de concertation mis en place actuellement afin de faciliter le dialogue entre les gestionnaires de l'espace et les acteurs du territoire.

Montselgues est également assez démonstratif du travail partenarial entre scientifique et gestionnaire qui apparaît aujourd'hui comme incontournable afin d'adapter certaines actions de gestion pouvant être en inadéquation avec les objectifs de conservation visés et de tenir compte de nouveaux impératifs.

Bibliographie

DODANE C. 2009. Les nouvelles forêts du Massif Central : enjeux sociétaux et territoriaux. Ces hommes qui plantaient des résineux pour éviter la friche. Thèse de doctorat en géographie. Lyon : École normale supérieure Lettres et sciences humaines, 517 p.

DUPIEUX N. 1998. La gestion conservatoire des tourbières de France : premiers éléments scientifiques et techniques. Espaces Naturels de France. Orléans. 244 p.

GREGOIRE F, LAPLACE-DOLONDE A. & CANIVE J. 2007. La tourbe, l'arbre et l'eau, Actes du colloque L'eau et la forêt - XIIIe - XXIe siècles. Bordeaux, 13-15 septembre 2006, GHFF éditeur

Untersuchungen zum Wasserhaushalt eines natürlichen Weidenbestandes (*Salix spp.*) in einem nordostdeutschen Flusstalmoor

Enrico FRAHM¹, Thomas SALZMANN², Konrad MIEGEL²

1 - Institut für Agrarrelevante Klimaforschung Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei Bundesallee 50 -38116 Braunschweig, Germany. 2 - Institut für Umweltingenieurwesen, Universität Rostock Satower Str. 48 - 18059 Rostock, Germany.

Zusammenfassung :

Das Ziel der hier vorgestellten Untersuchung ist es, ein besseres Verständnis der in einem typischen nordostdeutschen Flusstalmoor ablaufenden hydrologischen Prozesse zu erhalten. Der Fokus der Untersuchungen liegt dabei auf der Prozessanalyse im System Boden-Pflanze-Atmosphäre. Als charakteristischer Vertreter der Phreatophyten stellt die untersuchte Weidenvegetation (*Salix spp.*) ein direktes Bindeglied in diesem System dar, da Sättigungsdefizite in der Luft über die Verdunstung der Vegetation direkt an den Bodenwasserhaushalt weitergegeben werden. Die daraus resultierenden und am Standort beobachteten starken täglichen Grundwasserstandsschwankungen wurden zur Berechnung der Verdunstung herangezogen. Die Berechnungen zeigen maximale tägliche Verdunstungswerte von $7,6 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$. In Verbindung mit einer Grundwasserbilanzierung ergibt sich an der untersuchten Weide eine maximale tägliche Wasserbilanz von $-1,9 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$. Da es sich hierbei um eine erhöhte, lokal begrenzte Wasseraufnahme handelt, kann mit dieser negativen Bilanz der beobachtete Grundwasserabsenktrichter unterhalb der Weide erklärt werden. Des Weiteren können Aussagen zur Interzeptionsspeicherkapazität und zum Einfluss des sogenannten Wäscheleineneffektes (engl.: «clothesline effect») der Vegetation gemacht werden.

Résumé :

Cette étude a pour but une meilleure compréhension des processus hydrologiques dans une tourbière de vallée typique du nord-est de l'Allemagne. Le point principal de ce travail consiste en l'analyse des processus en cours dans le système formé par le sol, la plante et l'atmosphère. En tant que représentante typique des phreatophytes, la saulaie (*Salix spp.*) étudiée joue un rôle de lien direct dans ce système, puisqu'un déficit de saturation de l'air en eau se transmet directement au système hydrologique du sol, du fait de l'évapotranspiration de la végétation. Les fluctuations quotidiennes de la nappe phréatique qui en résultent, observées sur ce site, ont été utilisées pour le calcul de l'évapotranspiration. Ces calculs montrent des valeurs maximales de $7,6$

$\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$. Associés au bilan de la nappe phréatique ils donnent, pour la saulaie étudiée, un bilan hydrologique quotidien d'une valeur maximale de $-1,9\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$. S'agissant ici d'une absorption d'eau élevée, mais localement limitée, la baisse du niveau de la nappe phréatique, en forme d'entonnoir, au-dessous de la saulaie, peut être expliqué par ce bilan négatif. En outre, on peut ainsi avoir des indications sur la capacité de stockage de l'eau interceptée et des données sur l'influence de l'effet «corde à linge» («clothline effect» en anglais) de la végétation.

Summary :

The aim of the investigation presented here is to provide a better understanding of the hydrological processes which take place in a typical north-east German riverine fen. The focus of the investigations in this context is on analysis of the processes in the soil-plant-atmosphere system. As a characteristic representative of the Phreatophytes, the willow vegetation (*Salix spp.*) represents a direct link in this system, since saturation deficits in the air via evaporation from the vegetation are passed on directly into the ground water balance. The daily ground water fluctuations which result from this, found to be substantial at the location in question, were drawn on for the calculation of the evaporation. The calculations show maximum daily evaporation values of $7.6\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$. In conjunction with the establishment of a ground water balance, the willow site examined provided a maximum daily water balance of $-1.9\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$. Since this is an elevated and locally delimited water absorption, the ground water draw-down funnel effect observed beneath the willow growth can be explained by this negative balance. Moreover, comments can be made regarding the interception storage capacity and the influence of what is referred to as the clothesline effect on the vegetation.

Keywords : *Salix spp.*, wetland hydrology, phreatophytes, diurnal groundwater fluctuations.

1. Einleitung

Bei Weidengewächsen (*Salix spp.*) handelt es sich um typische Vertreter von Bäumen oder Sträuchern auf Moorflächen. Charakteristische Arten für die nordostdeutschen Moore sind dabei die Grauweide (*S. cinerea*), Lorbeerweide (*S. pentandra*), Ohrweide (*S. aurita*) sowie die Korbweide (*S. viminalis*), wobei häufig Hybriden der einzelnen Arten anzutreffen sind. Weiden sind der Gruppe der Phreatophyten zuzuordnen, d.h. sie beziehen das von ihnen benötigte Wasser direkt aus dem Grundwasser oder aus dem darüber liegendem Kapillarsaum (ROBINSON, 1958). Somit stellen Weiden ein direktes Bindeglied im System Boden-Pflanze-Atmosphäre dar. Änderungen im Wasserhaushalt der Pflanze werden direkt an den Bodenwasserhaushalt weitergeleitet. In

Verbindung mit einer starken Verdunstungsleistung kann diese direkte Kopplung zu ausgeprägten Tagesgängen des Grundwasserstandes unterhalb der Weidenvegetation führen, wie sie auch am untersuchten Weidenstandort zu beobachten sind (Abbildung 1). Weiden können somit einen nicht unwesentlichen Einfluss auf den Wasserhaushalt eines Moorstandortes haben. Zur Beschreibung als auch zur Quantifizierung dieses Zusammenhangs bestehen derzeit erhebliche Wissensdefizite. Das gilt insbesondere für den Prozess der Verdunstung und die daraus resultierenden Wirkungen auf den Moorwasserhaushalt.

Die hier vorgestellte Untersuchung setzt an diesen Punkten an. Basierend auf einem umfangreichen Messprogramm in den Jahren 2003 und 2004 wurde der Wasserhaushalt eines natürlichen Weidenbestandes im Flusstalmoor der Warnow untersucht. Neben den zeitlich hochaufgelösten 15-minütigen Messungen zum Grundwasserstand, Bodenwasserhaushalt (Tension und Bodenwassergehalt), zur Interzeption sowie zu meteorologischen Parametern, wurde der Blattflächenindex der Weide im 2-wöchigen Rhythmus erfasst.

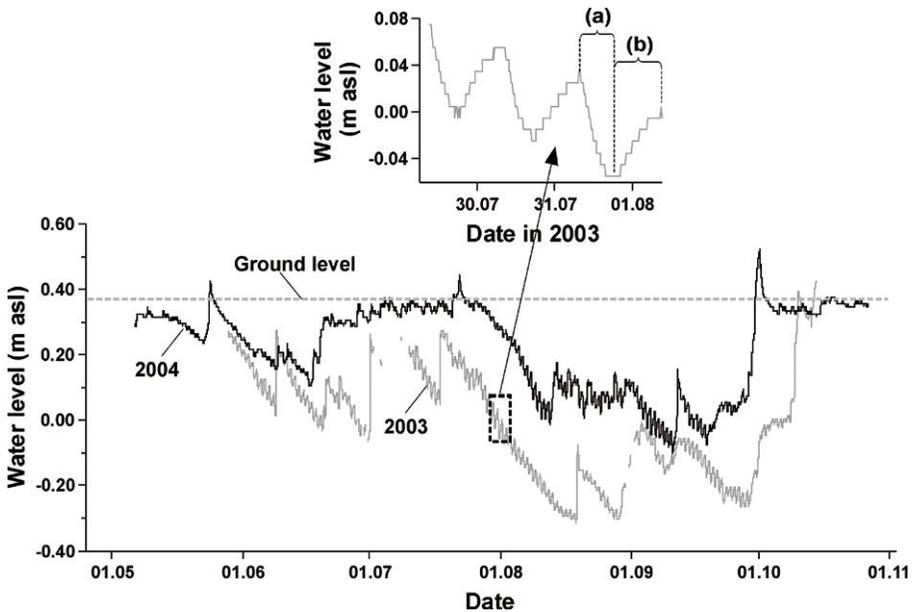


Abb. 1 : Representative observed diurnal groundwater table fluctuation, showing (a) daily loss through transpiration activity of the researched willow shrub and (b) night time recovery through hydrological transfer within steady downward trend through the growing seasons of 2003 and 2004.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind bei FRAHM (2007) veröffentlicht und gliedern sich in eine Reihe von aktuellen Arbeiten des Instituts für Umweltingenieurwesen der Universität Rostock ein, die sich mit dem Wasserhaushalt ausgedehnter norddeutscher Flusstalmoore beschäftigen.

In der folgenden Präsentation sollen einige wesentliche Ergebnisse der Arbeit präsentiert werden indem auf die Quantifizierung verschiedener Größen des Wasserhaushaltes eingegangen wird. So wird ein einfaches Verfahren zur Verdunstungsberechnung erläutert, die Bestimmung der Interzeptionsspeicherkapazität der Weidenvegetation sowie die Grundwasserbilanzierung beschrieben. Abschließend wird kurz auf den beobachteten *clothesline effect* eingegangen.

2. Material und Methoden

Standort

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Nordosten Deutschlands, etwa 5 km südlich der Stadt Rostock ($54^{\circ} 03'$ nördliche Breite, $12^{\circ} 10'$ östliche Länge) in den westlichen Warnowmoorwiesen nahe der Ortschaft Gragetopshof. Das Untersuchungsgebiet liegt in einem für das norddeutsche Tiefland typischen Flusstalmoor nach SUCCOW & JOOSTEN (2001) und seinen Vergesellschaftungsformen. Der ausgedehnte Talmoorkomplex erstreckt sich beidseitig entlang des Flusses Warnow (Abbildung 2). Die jahrzehntelange Absenkung des Grundwasserstandes hat eine starke Degradierung des oberen Moorbodens zur Folge. Der an der Geländeoberkante stark vererdete amorphe Torf sowie der sich unmittelbar daran anschließende Feinseggentorf weisen einen Zersetzungsgrad von 7 auf (bis zu einer Tiefe von 0,6 m uGOK). Nach bodenkundlicher Klassifizierung handelt es sich bei dem Standort um ein basenreiches Erdniedermoor.

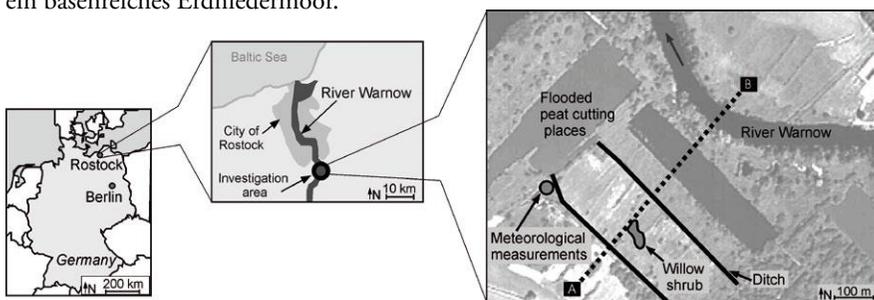


Abb. 2 : Location of the investigation area and line A-B for geological cross section along line A-B in Figure 3.

Der geologische Schnitt in Abbildung 3 zeigt einen grundsätzlichen Aufbau von bis zu 4 m mächtigem Torf an der Geländeunterkante, der unterlagert ist von einer bis 9 m mächtigen Muddeschicht. Die Basis des Moores bildet ein am Moorrand angeschnittener sandig-kiesiger Grundwasserleiter, der teilweise mit schluffigen Substraten durchsetzt ist.

Das Gebietsklima wird maßgeblich durch die etwa 15 km entfernt liegende Ostsee bestimmt. Dieses Ostseeküstenklima ist geprägt durch einen ausgeglichenen Jahresverlauf der Temperatur, mit einer niedrigen Jahrestemperatur und kleiner Jahresschwankung. Der langjährige mittlere Jahresniederschlag liegt in der Region bei 618 mm, die Jahresmitteltemperatur bei 7,7 °C.

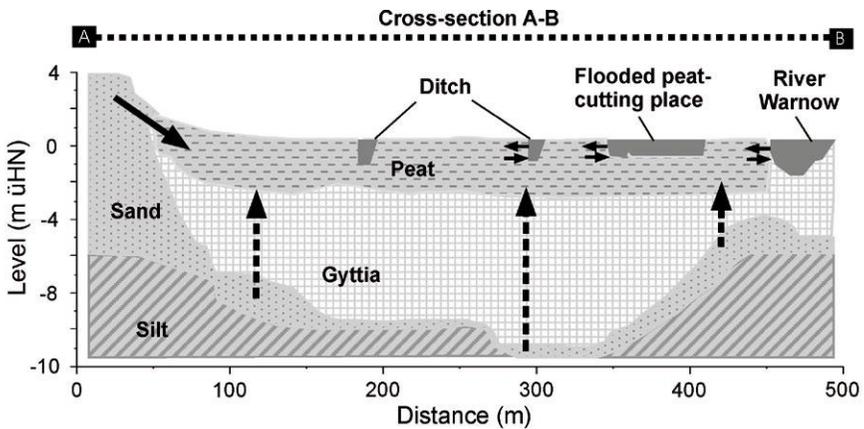


Abb. 3: Geological cross-section along line A-B of Figure 2 through the observed riverine fen. Additionally, the main inflow pathways of groundwater are presented – continuous arrows: lateral groundwater inflow from mineral environment and lateral interaction between open water bodies and peat; broken arrows: vertical inflow of groundwater into the peat layer from sandy artesian aquifer.

Die Vegetation im Untersuchungsgebiet ist typisch für die Moorvergesellschaftungsform eines Durchströmungsmoores im nordostdeutschen Raum. Die Verteilung der Niedermoorvegetation folgt den vorhandenen hydrologischen Bedingungen, den Degradierungsgraden des Moorbodens und der Nährstoffversorgung: Queckengrasland im extensiv genutzten Hangbereich, Kalkbinsenriede im quellwasserbeeinflussten Unterhangbereich, daran anschließend im überflutungsbeeinflussten Bereich Mädesüß-Hochstaudenflur, gefolgt von Mädesüß-Hochstaudenfluren mit sekundärem Landröhricht im nassen bzw. wechselfeuchten Bereich (HANSCHKE, 1998). Die Torfstiche sind stark

umsäumt von Grauweidengebüschen. Direkt an der Warnow befindet sich ein teilweiser starker Gürtel von Erlenbruchwald. Die zentralen Bereiche des Untersuchungsgebietes sind durch große Flächen mit Offenlandcharakter gekennzeichnet. Die das Gelände durchziehenden, z.T. bereits verlandeten Gräben sind gesäumt von Weidengebüschen. Auftretende Weidearten sind die Grauweide (*Salix cinerea*), Lorbeerweide (*Salix pentandra*), Ohrweide (*Salix aurita*) und die Korbweide (*Salix viminalis*). Ausgehend von den Gräben zeigt sich eine zunehmende Verbuschung der Offenlandschaft (HANSCHKE, 1998). Bei der hier untersuchten Vegetation handelt es sich um ein Weidengebüsch der Art *Salix cinerea* bzw. einen Hybrid *Salix cinerea* x *Salix viminalis* (FRAHM, 2007).

Die Hydrologie im untersuchten Moor wird maßgeblich von zwei Teilprozessen bestimmt (siehe auch geologischer Schnitt in Abbildung 3). Zum Einen wird das Moor von dem seitlich angeschnittenen Grundwasserleiter versorgt, d.h. die seitlichen Hangbereiche von Hangdruckwasser, der zentrale Moorbereich durch artesisches Wasser. Die Druckhöhe des artesischen Grundwassers liegt ganzjährig im Mittel etwa 0,80 m über der Geländeoberkante (z. B. Abbildung 8). Zum Anderen sind die Flächen der Niederung abhängig vom Wasserstand der Warnow, d.h. vom Stauregime am Mühlendammwehr der Warnow in Rostock, wodurch es zeitweise zu Überschwemmung der gesamten Niederung kommen kann. Die Rückstauwirkung des Wehres, das ca. 5 km flussaufwärts gelegen ist, geht weit über den Bereich des Untersuchungsstandortes hinaus. Aufgrund der noch sehr gut funktionierenden oberirdischen hydraulischen Verbindung zwischen der Warnow, den Torfstichen und den tiefen Fanggräben im Gelände werden Wasserstandsänderungen der Warnow unmittelbar an den Oberflächenwasserstand und zum Teil auch an den Grundwasserstand weitergegeben. Somit unterliegt das Moor über das Jahr hinweg, je nach Warnowwasserstand und Niederschlagsereignissen, schnell wechselnden Be- und Entwässerungsverhältnissen. Maßgeblich werden die Entwässerungsverhältnisse durch verdunstungsbedingte Zehrvorgänge verstärkt. Durch diese teilweise starken Wasserverluste und die zusätzliche Entwässerungswirkung der Gräben kommt es im Sommer zu für diesen Standort unnatürlich tiefen Grundwasserständen, mit einem Grundwasserflurabstand von über 0,90 m (Abbildung 1). Typisch ist für derartige Trockenperioden, neben der abfallenden Tendenz der Grundwasseroberfläche, die Ausbildung von ausgeprägten Tageschwankungen der Grundwasserganglinie (Abbildung 1).

3. Bestimmung von Wasserhaushaltsgrößen

Berechnung der realen Verdunstung

Die Berechnung der realen Verdunstung ET_a erfolgt mit dem Verfahren nach HAYS (2003), das für die vorgestellte Anwendung modifiziert wurde (FRAHM, 2007). Dieses Verfahren beruht auf der Auswertung täglicher Grundwasserstandsschwankungen (Abbildung 4 und Gleichung 1) in niederschlagsfreien Phasen. Bei der Methode handelt es sich um einen anerkannten Ansatz zur Berechnung der Verdunstung auf Feuchtgebietsstandorten (u.a. MOULD & FRAHM, 2010, LAUTZ, 2008). Ein Tageswert der Verdunstung ergibt sich aus der Flächeninterpolation der Einzelverdunstungsergebnisse aller Grundwasserrohre für den beobachteten Tag.

$$ET_a = \left[(H_1 - L) + \frac{(H_2 - L)}{T_1} \cdot T_2 \right] \cdot 1000 \cdot S_a \quad (\text{Gl.1})$$

In dieser modifizierten Gleichung steht ET_a für die zu berechnenden Tageswerte der realen Verdunstung ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$), H_1 ist der maximale Grundwasserstand am untersuchten Tag (m), H_2 ist der maximale Grundwasserstand am nächsten Tag (m), L ist das Minimum der täglichen Grundwasserstandsganglinie (m), T_2 steht für die Zeit zwischen H_2 und L (h), T_1 ist die Zeit zwischen H_1 und L (h) und S_a ist der vom Grundwasserflurabstand abhängige reale Bodenspeicherkoeffizient (-).

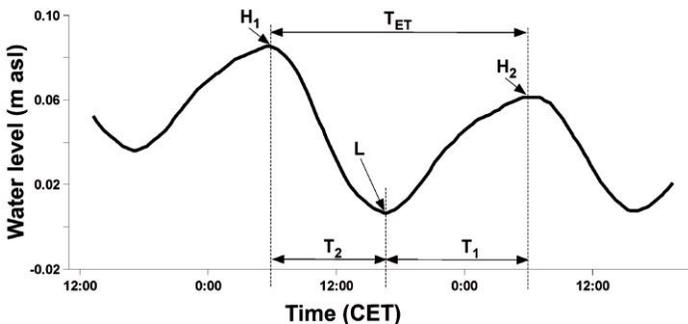


Abb. 4: Example of an characteristic diurnal groundwater fluctuation with the component inputs to Equations 1 shown; additionally: T_{ET} – target day of ET calculation.

Eine wichtige Voraussetzung zur Anwendung der Methode ist eine zuverlässige Kenntnis des realen Bodenspeicherkoeffizienten S_a . Für die durchgeführten Berechnungen wurde eine speziell für den Standort entwickelte variable Bodenspeicherkoeffizienten-

funktion $S_a = f(\text{Grundwasserflurabstand})$ nach TRÜBGER (2006) angewendet. Diese Bodenspeicherkoeffizientenfunktion ist tiefenabhängig, wobei S_a minimale Werte an der Geländeoberkante annimmt und auf maximale Werte von 0,12 in einer Tiefe von 1,20 m ansteigt. Neben der ausschließlichen Anwendung von niederschlagsfreien Tagen muss als weitere Voraussetzung zur Verwendung von Gleichung 1 gewährleistet sein, dass das Grundwasser nicht über Geländeniveau ansteigt.

Zur Vergleichbarkeit der berechneten Verdunstungsergebnisse wurde parallel eine Berechnung der Grasreferenzverdunstung nach FAO-Standard durchgeführt (ALLEN, 1998), das auf dem Ansatz von Penman-Monteith (MONTEITH, 1965) beruht.

Die für die Berechnung nach Gleichung 1 notwendigen Grundwasserstandsdaten wurden mittels automatischer Datenlogger (DIVER, Eijkelkamp) am Standort Weide an 7 Grundwasserpegeln gemessen. Die Anordnung der Grundwasserpegel ist in Abbildung 5 dargestellt. Die notwendigen meteorologischen Daten zur Berechnung der Grasreferenzverdunstung wurden mittels einer automatischen Wetterstation direkt im Untersuchungsgebiet, ca. 200 m vom Standort Weide entfernt gemessen (Abbildung 2). Alle untersuchten Größen konzentrieren sich auf einen Teilweidenstrauch innerhalb des gesamten Weidengebüsches (Abbildung 5). In diesem Teilbereich wurden neben den Grundwasserstandsmessungen auch die Interzeptionsmessungen durchgeführt.

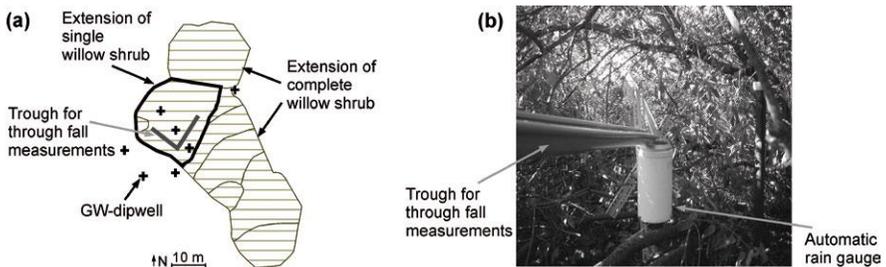


Abb. 5: (a) Side map of researched willow shrub - places of groundwater (GW) and trough fall measurements and (b) view within the researched single willow shrub with used troughs and automatic rain gauges for measurements of through fall.

Bestimmung der Interzeptionsspeicherkapazität

Für den Untersuchungsstandort mußte eine Abschätzung des realen Bodenspeicherkoeffizienten S_a vorgenommen werden, indem das plötzliche Ansteigen des Grundwasser-

spiegels als Reaktion auf ein Starkniederschlagsereignis ausgewertet wurde (FRAHM, 2007). Für dieses Verfahren war es notwendig, den Effektivniederschlag und damit auch die Interzeptionsspeicherkapazität der untersuchten Weidenvegetation zu quantifizieren. Der dabei zugrunde liegende Zusammenhang geht aus Gleichung 2 hervor.

$$P_{korr} = P_{direkt} + P_{stamm} + P_{int} \quad (Gl.2)$$

Hier steht P_{korr} für den gemessenen und anschließend korrigierten Freilandniederschlag (mm), P_{direkt} ist der mittels Auffangrinnen gemessene Kronendurchlass (mm), P_{stamm} ist der mit 13 % von P_{korr} abgeschätzte Stammabfluss (mm), P_{int} steht für den Interzeptionsspeicher (mm). Für die Korrektur der gemessenen Freilandniederschlagsereignisse in einer zeitlichen Auflösung von < 1 d ermöglicht (FRAHM, 2007).

Abschätzen der Grundwasserströmungsbilanz

Die zur Berechnung der realen täglichen Verdunstung aus Tagesschwankungen des Grundwassers angewandte Gleichung 1 impliziert die Berechnung der Grundwasserströmungsbilanz. Dabei kann Gleichung 1 nach unterschiedlichen Bilanzen, eine für die Absinkphase am Tag und die andere für die Grundwasserwiederanstiegsphase in der Nacht, unter Annahme gleicher Grundwasserzuströmraten über den gesamten Tageszyklus hinweg, aufgetrennt werden. Wird Gleichung 1 in diese beiden Teilprozesse aufgeteilt, dann ergeben sich die Gleichungen 3 bis 5 zur Berechnung der Grundwasserströmungsbilanz wie folgt:

$$Q_{GW,nacht} = (H_2 - L) \cdot 1000 \cdot S_a \quad (Gl.3)$$

$$Q_{GW,tag} = \left[(H_2 - L) \cdot \frac{T_2}{T_1} \right] \cdot 1000 \cdot S_a \quad (Gl.4)$$

$$Q_{GW} = Q_{GW,nacht} + Q_{GW,tag} \quad (Gl.5)$$

Neben denen zu Gleichung 1 erläuterten Größen stehen hier $Q_{GW,nacht}$ für die Grundwasserbilanz in der Nacht ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ bzw. $\text{l} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$), $Q_{GW,tag}$ für die Grundwasserbilanz am Tag ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ bzw. $\text{l} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) und Q_{GW} für die Grundwasserbilanz eines kompletten Tagesganges ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ bzw. $\text{l} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$).

Analog zur Verdunstungsberechnung werden auch hier für die Bildung von Tageswerten der Grundwasserbilanz, die Ergebnisse der einzelnen Grundwasserpegel in einer Flächeninterpolation zusammengefasst.

4. Ergebnisse

4.1 Bestimmung von Wasserhaushaltsgrößen

Berechnung der realen Verdunstung

Eine Auswertung der täglichen Grundwasserstandsschwankungen hat gezeigt, dass die beobachteten täglichen Amplituden eindeutig auf die Verdunstung der Weidenvegetation zurückzuführen sind. Ein direkter Zusammenhang lässt sich anhand der zeitlichen Korrelation zwischen der Grundwasserganglinie und den Tagesgängen der für die Verdunstung entscheidenden meteorologischen Faktoren Strahlung, Lufttemperatur und Sättigungsdefizit ableiten (FRAHM, 2007).

In Abbildung 6 ist für einen Beispielzeitraum im Jahr 2004 der zeitliche Verlauf der berechneten Weidenverdunstung (ET_a) der Grasreferenzverdunstung (ET_0) gegenübergestellt. In der Auswertung von den beobachteten Jahren 2003 und 2004 ergeben sich maximale tägliche Verdunstungswerte von $7,6 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, im Vergleich zur Grasreferenzverdunstung wurden maximale Verhältniswerte für ET_a / ET_0 von 2,48 berechnet. Bezogen auf den in Abbildung 6 dargestellten intensiv untersuchten Teilbereich des Weidengebüsches mit einer Flächenausdehnung von etwa 150 m^2 ergibt sich somit eine maximale Wasseraufnahme aus dem Grundwasser von 1140 Liter am Tag. Interessant ist an dieser Stelle die unterschiedliche Verteilung der Wasseraufnahme unterhalb der Weidenvegetation. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Weidenstrauch in seinem Zentrum mehr Wasser aus dem Boden aufnimmt als im Randbereich.

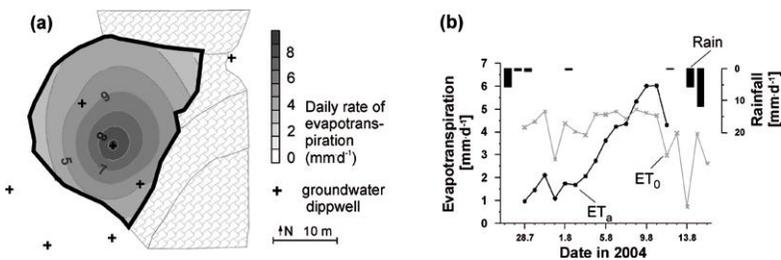


Abb. 6: (a) Daily distribution of water uptake thought the willow shrub caused by evapotranspiration and (b) results of the real evapotranspiration ET_a and reference evapotranspiration ET_0 during an example period in 2004, additionally daily sum of rainfall is added.

Berechnung der Interzeptionsspeicherkapazität

Die Messergebnisse des Kronendurchlasses in Verbindung mit denen in Gleichung 2 dargestellten Größen ergab für den untersuchten Weidenbestand eine mittlere Interzeptionsspeicherkapazität von 3,2 mm. Von besonderem Interesse ist jedoch der Effekt, dass bei Werten des korrigierten Freilandniederschlägen von $P_{\text{korr}} > 2,0$ mm die Interzeptionsspeicherkapazität P_{int} zwei unterschiedlichen Trendlinien folgt (Abbildung 7).

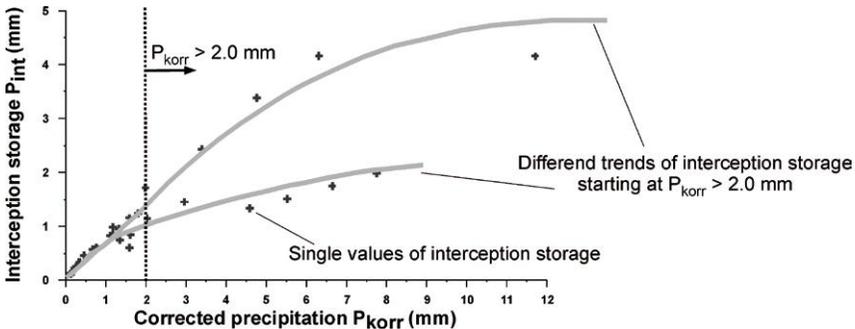


Abb. 7: Interception storage P_{int} in relation to corrected precipitation P_{korr} . The diagram shows a divergence of two trends for interception storage starting at $P_{\text{korr}} > 2,0$ mm.

Nähere Untersuchungen lassen *ansatzweise* erkennen, dass bei Freilandniederschlagssummen von $P_{\text{korr}} > 2,0$ mm ein Zusammenhang zwischen niedrigen Interzeptionsspeicherkapazitäten und hohen Niederschlagsintensitäten besteht. Nach Abbildung 7 stellt sich bei einer Freilandniederschlagssumme von $P_{\text{korr}} > 2,0$ mm und einer hohen Niederschlagsintensität der maximale Interzeptionsspeicher bei ca. 2,0 mm ein, bei einer niedrigen Freilandniederschlagsintensität kann der maximale Speicher auf bis 4,0 mm ansteigen.

4.2 Abschätzen der Grundwasserströmungsbilanz

Die Grundwasserströmungsbilanz Q_{GW} wurde nach den Gleichungen 3 bis 5 berechnet. Werden die Tageswerte von Q_{GW} denen der berechneten Verdunstung ET_a gegenübergestellt und wird zusätzlich die Differenz zwischen beiden gebildet, so ergeben sich in verdunstungsintensiven Phasen durchgängig negative Wasserbilanzen für den untersuchten Weidenstandort (Abbildung 8). Im Vergleich aller ausgewerteten Tage in den Jahren 2003 und 2004 ergibt sich ein maximaler Tageswert für eine negative Wasserbilanz von $-1,9 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, was einem Wasserdefizit von 285 l am Tag für die Fläche des beobachteten Teilweidenstrauches in Abbildung 8 entspricht. Bemerkens-

wert ist, dass durch die angewandte Methode der Flächeninterpolation, Aussagen über die räumliche Verteilung der Grundwasserbilanz gemacht werden können. So zeigt sich in Abbildung 8 in so fern eine typisches Bild, dass dem Zentrum der Weide mehr Wasser zuströmt, als deren Randbereich.

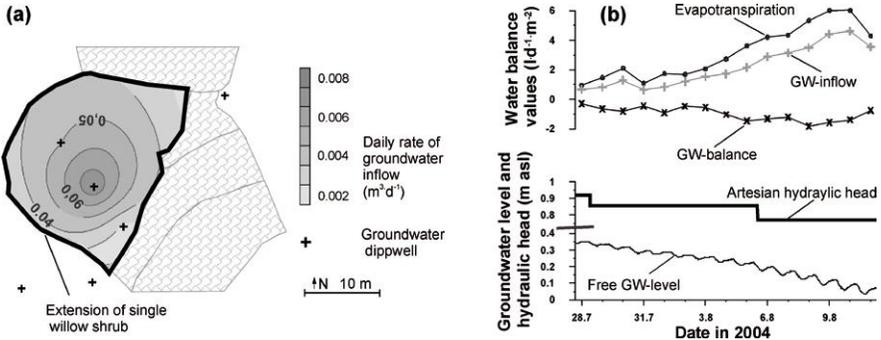


Abb. 8 : Results of quantifying groundwater balance of the researched single willow shrub: (a) daily rate of groundwater inflow on an example day in 2004 – spatial distribution and (b) example period with high rates of evapotranspiration - hydraulic head of artesian aquifer compared to free groundwater level in the middle of the willow shrub and different values of water balance during the same time period.

5. Diskussion

Im Zentrum der vorgestellten Arbeit stand die Quantifizierung der realen täglichen Verdunstung für ein typisches Weidengebüsch in einem wiedervernässten nordost-deutschen Flusstalmoor. Bei der hier angewandten Methode, der Anwendung von täglichen Grundwasserstandsschwankungen, handelt es sich um ein gerade auch auf Feuchtgebietsstandorten etabliertes international anerkanntes Verfahren zur Berechnung der Verdunstung von Phreatophyten (MOULD & FRAHM, 2009). Neben der Einfachheit des methodischen Ansatzes liegt der Vorteil in der Möglichkeit der Verdunstungsberechnung für kleinräumig-heterogene Pflanzenbestände sowie der einfachen experimentellen Instrumentierung. Als Nachteile der Methode haben sich auch in der vorliegenden Untersuchung die anzustellenden Randbedingungen wie niederschlags- und überstaufreie Zeiträume herausgestellt. So konnten für die gesamte Messperiode in den Jahren 2003 und 2004 insgesamt lediglich 50 Tage ausgewertet werden. Die berechneten maximalen Verdunstungswerte liegen im Bereich von vergleichbaren Literaturwerten (FRAHM, 2007), gleiches gilt für die maximalen Verhältniswerte von ET_a / ET_0 .

Im Gegensatz dazu können einzelne Tageswerte der berechneten Verdunstung zum Teil erheblich mit bis zu 90 % von der ET_0 abweichen. Bei FRAHM *et al.* (2009) wird diese Diskrepanz in den Verdunstungsergebnissen auf ein bisher nicht ausreichend erklärtes Phänomen, dem Anstieg des Bodenspeicherkoeffizienten direkt unterhalb der Geländeoberkante, zurückgeführt. D.h. die Qualität der berechneten Verdunstungswerte verringert sich mit kleiner werdendem Grundwasserflurabstand ab einer Tiefe von 0,25 m in Richtung der Geländeoberkante, gleiches gilt für die durchgeführten Grundwasserbilanzrechnungen nach den Gleichungen 3 bis 5.

Die im nordostdeutschen Raum erstmals unter natürlichen Bedingungen durchgeführten Messungen zur Interzeption von Weidenbeständen lieferten ebenfalls plausible Ergebnisse (FRAHM, 2007) und konnten somit in die Berechnung des Bodenspeicherkoeffizienten einfließen. Weitere Untersuchungen sind an dieser Stelle zur Abhängigkeit der Interzeptionsspeicherfüllung von der Freilandniederschlagsintensität notwendig.

Die Berechnungen zur Grundwasserströmungsbilanz zeigen, dass mit der vorgestellten Methode eine Abschätzung der Bilanz möglich ist. Die Größenordnung der negativen Wasserbilanz am untersuchten Weidenstandort von maximal $-1,9 \text{ l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ macht deutlich, dass bezogen auf eine größere Fläche, Weide und deren Verdunstung eine nicht zu vernachlässigende Zehrgröße im Wasserhaushalt eines Moores darstellen kann. Diese Feststellung lässt sich anhand der beobachteten Wasserspiegel im Moor bestätigen. Wie eingangs erläutert, handelt es sich bei der untersuchten Weide um einen typischen Vertreter der Phreatophyten. Ein wesentliches Charakteristikum dieser Pflanzengruppe ist, dass sie aufgrund ihrer starken Verdunstungsleistung tägliche Grundwasserstandschwankungen auslösen können. Des Weiteren können diese auch als «Brunnenpflanzen» bezeichneten Bäume oder Sträucher eine lokale Absenkung des Grundwassers verursachen (ROBINSON, 1958). D.h. in diesem Fall nehmen die Weiden mehr Grundwasser auf als die sie umgebene Vegetation. Daraufhin kann es zur Ausbildung eines lokalen Grundwasserabsenktrichters kommen. Dieser Effekt konnte auch unterhalb des untersuchten Weidengebüsches beobachtet werden. So stellte sich infolge unterschiedlicher Verdunstungsleistung der Vegetation (Weide, umgeben von einer Seggengesellschaft) eine lokale Grundwasserabsenkung ein. Im Maximum erreicht die Höhendifferenz des Grundwasserstandes am Ende einer verdunstungsintensiven Periode 0,15 m, bezogen auf die Entfernung von 10 m vom Rand der Weide bis zu deren Zentrum. Die gleichzeitig am selben Moorstandort durchgeführten Messungen unterhalb einer ausgedehnten Schilfvegetation zeigten nicht diesen Effekt. In Abbildung 9 ist ein Beispiel für den beobachteten Absenktrichter dargestellt.

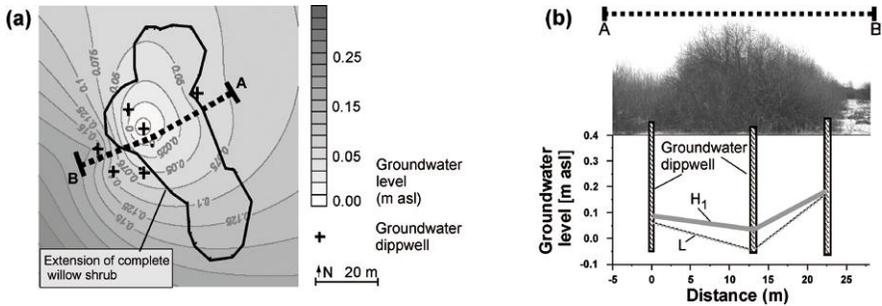


Abb. 9: Illustration of the effect of high local water uptake by the researched willow shrub - (a) Map of interpolated groundwater levels on 05.09.2004 - characteristic cone of depression in groundwater beneath the willow with a maximum difference of 0,15 m in groundwater level along cross section A-B, and (b) groundwater level along cross section A-B on the same day – according to figure 4 and equation 1, H₁ is the first high of groundwater level in early morning and L represents the lowest water level on the same day.

Die im Vergleich zu ihrer Umgebung starke Verdunstungsleistung der Weidenvegetation lässt sich u.a. auf den sogenannten Wäscheleineneffekt (engl. *clothesline effect*) zurückführen (FRAHM, 2007). So kann der *clothesline effect* an Vegetationseinheiten mit geringer Flächenausdehnung auftreten, die im Vergleich zur umgebenen Vegetation eine wesentlich größere Vegetationshöhe und damit eine höhere Rauigkeit aufweisen (ALLEN, 1999). Das untersuchte Weidengebüsch hat eine maximale Höhe von 5,5 m und eine maximale Breite von 20,0 m. Die umgebene Vegetation wird dominiert von der Kammsegge (*Carex disticha*) mit einer maximalen Höhe von 1,0 m bzw. von Schilf (*Phragmites australis*) mit einer maximalen Höhe von 2,3 m. Damit stellt der untersuchte Weidenstrauch eine wie zuvor beschriebene Einzelvegetation dar. Die Messergebnisse deuten darauf hin, dass in Phasen hoher Verdunstungsleistung der Moorvegetation und gleichzeitig vorhandenen stärkeren Winden ein *clothesline effect* am Standort Weide auftritt und somit die Verdunstung der Weide begünstigt wird. Es bleibt weiterhin festzuhalten, dass dieser *clothesline effect* nur mit der Methode nach HAYS (2003) und Gleichung 1 nachzuweisen ist, nicht aber mit dem herkömmlichen Penman-Monteith-Ansatz (FRAHM, 2007).

Literatur

- ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D. & SMITH M. 1998. Irrigation and Drainage paper. N° 56 "Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements". Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 300 p.
- FRAHM E. 2007. Bestimmung der realen Evapotranspiration für Weide (*Salix spp.*) und Schilf (*Phragmites australis*) in einem nordostdeutschen Flusstalmoor). PhD Thesis. Universität Rostock. 202 p.
- FRAHM E., SALZMANN TH. & MIEGEL K. 2009. Neue Erkenntnisse bei der Anwendung von bodenhydrologischen Daten zur Berechnung der Verdunstung auf einem Feuchtgebietsstandort. Tag der Hydrologie 2009, Kiel. Proceedings (in press).
- HANSCHKE T. 1998. Warnow, Warnowtalmoor und mineralische Umgebung. In: ECKSTÄDT H.: Siedlungswasserwirtschaft - Wissenschaftliche Beiträge des Instituts. Institut für Kulturtechnik und Siedlungswasserwirtschaft. Universität Rostock, pp. 78-92.
- HAYS K. B. 2003. Water use by saltcedar and associated vegetation on the Canadian, Colorado and Pecos Rivers in Texas. PhD Thesis. Texas A & M University. 116 p.
- LAUTZ K.L. 2008. Estimating groundwater evaporation rates using diurnal water-table fluctuations in semi-arid riparian zone. *Hydrogeology Journal* 16 : 483-497.
- MONTEITH J.L. 1965. Evaporation and Environment : 19th Symposium of the Society of Experimental Biology. University Press, Cambridge, 19 : 205-234.
- MOULD D.J, FRAHM E., SALZMANN T., MIEGEL K. & ACREMAN, M.C. 2010. Evaluating the use of diurnal groundwater fluctuations for estimating evapotranspiration in wetland environments: case studies in southeast England and northeast Germany. *Ecohydrology*, 3 : 294-305.
- ROBINSON T.W. 1958. Phreatophytes. Geological Survey Water-Supply Paper 1423, U.S. Government printing office, Washington.
- SUCCOW M. & JOOSTEN H. 2001. Landschaftsökologische Moorkunde. Schweizerbart'sche Buchhandlung, Stuttgart. 622p.
- TRÜBGER E.-R. 2006. Entwicklung eines Ansatzes zur Berücksichtigung der ungesättigten Zone bei der Grundwassersimulation von Feuchtgebieten. PhD Thesis. Universität Rostock. 221 p.

Capacité de stockage de l'eau et rôle des tourbières basses minérotrophes dans le fonctionnement des têtes de bassin versant

Jérôme PORTERET

Université de St-Etienne, UMR 5600 CNRS EVS
6 rue Basses des Rives, 42023 ST ETIENNE

Résumé :

Parmi les fonctions hydrologiques attribuées aux tourbières, le stockage de l'eau constitue un élément clé qui détermine leur rôle hydrologique dans le fonctionnement des bassins versants et assoit les politiques de gestion /conservation de ces milieux humides dont l'une des finalités est de contribuer à la préservation de la ressource en eau, tant en terme de quantité que de qualité (CUBIZOLLE *et al.*, 2004a, 2006 et 2007). Ainsi, l'étude du stockage de l'eau dans les tourbières veut répondre à plusieurs questions : Quelle quantité d'eau stockent les tourbières ? Les tourbières qui sont des milieux gorgés d'eau peuvent-elles stocker de l'eau supplémentaire ? Et enfin, cette eau stockée est-elle disponible pour l'écoulement ? Première mesure symbolique de la prise en charge du volet hydrologique de la gestion des tourbières, l'installation de piézomètres sur de nombreux sites contribue à collecter des données déficientes jusque là, pour étudier la question du stockage de l'eau dans les tourbières. L'expérience des suivis des tourbières menés dans le Nord-Est du Massif Central depuis 2002, nous permet aujourd'hui de présenter les principaux résultats pour les tourbières basses minérotrophes peu étudiées dans la littérature scientifique française et internationale.

Zusammenfassung :

Unter den hydrologischen Funktionen, die man den Mooren zuspricht, stellt die Wasserspeicherkapazität ein Schlüsselement dar. Diese bestimmt ihre hydrologische Rolle hinsichtlich des Zustandes des Wassereinzugsgebietes und legt die Betriebspolitik/Erhaltung der Feuchtgebiete fest, die unter anderem den Zweck verfolgt, zur Erhaltung der Wasservorrates sowohl qualitativ als auch quantitativ beizutragen (CUBIZOLLE *et al.*, 2004a, 2006 und 2007). Demnach soll die Untersuchung der Wasserspeicherkapazität in den Mooren mehrere Fragen beantworten: Welche Wassermenge speichern Moore? Können bereits wasserdurchtränkte Moore noch mehr Wasser speichern? Und könnte dieses gespeicherte Wasser auch abfließen? Als erste Handlung, die das Interesse für den hydrologischen Abschnitt der Moorbetreuung bezeugt, trägt die Anbringung von Piezometern an zahlreichen Stellen dazu bei, bis jetzt fehlende Daten zu sammeln, um die Frage der Speicherkapazität in den Mooren

zu untersuchen.

Die Erfahrung der im Massif Central seit 2002 durchgeführten Folgestudien erlaubt uns heute, die wichtigsten Ergebnisse für die, bislang in der französischen und internationalen wissenschaftlichen Literatur wenig beachteten, minerotropen Moore vorzustellen.

Summary :

Among the hydrological functions attributable to mires, the storage of water is an element which determines their hydrological role in the functioning of hillside basins and serves as a guide for the policies of management and conservation of these wetland environments, one of the aims of which is to contribute to the preservation of water as a resource, both in terms of quantity as well as quality (Cubizolle *et al.*, 2004a, 2006, and 2007). Accordingly, the study of water storage in mires seeks to answer a number of questions: What quantity of water do the mires actually store? Can the mires which are already heavily engorged with water store any additional volumes? And finally, can this stored water be made available for discharge? The first symbolic measure of taking charge of the hydrological capacity in terms of mires management, the installation of piezometers on a considerable number of sites, is a contribution towards gathering the data which has been missing up to now in order to study the question of water storage in mires. The experience gained from the monitoring of mires conducted in the north-east region of the Massif Central since 2002 allows us today to present the initial results for low minerotrophic mires which have received little attention in French and international scientific literature.

Mots clés : Tourbières, hydrologie, stockage de l'eau, dynamique, Massif Central.

Introduction

Dès le XVIII^e siècle et les premières descriptions encyclopédiques de la tourbe, gorgée d'eau, le matériau a été comparé à l'éponge (DE LUC, 1779 ; ROZIER *et al.*, 1793). Les tourbières furent donc rapidement présentées comme des réservoirs capables d'absorber l'eau (THILORIER, 1815). Ainsi, au milieu du XIX^e, les premières réflexions concernant le fonctionnement hydrologique des bassins versants tourbeux apparaissent.

Les recherches géographiques arriveront tôt ou tard à démontrer, j'en ai la conviction, que les dépôts tourbeux sont dans les montagnes peu élevées ce que les glaciers sont dans les Alpes, qu'ils prennent à l'atmosphère l'eau qu'ils gardent dans leur sein et

qu'ils distillent goutte à goutte pour en arroser les prairies et les vallées inférieures. Comme d'immenses éponges, ils recueillent les eaux des orages, celles des neiges qui s'entassent à leur surface et sur les pentes voisines, et ils en règlent la distribution. (LESQUEREUX, 1844)

Le rôle régulateur des tourbières est également mis en avant par Germain de Saint Pierre (1856) dans un exposé à la société botanique de France.

«Dira-t-on que les tourbières étant saturées d'eau, (...), l'eau qui peut accidentellement leur arriver en excès ne saurait y trouver place, et s'écoule au-delà, comme si ces réceptacles n'existaient pas ?»

Germain de Saint Pierre, 25 juillet 1856, Bulletin de la Société botanique de France

Si ces réflexions posent clairement la problématique de l'efficacité du stockage pour établir le rôle hydrologique des tourbières, en France, elles n'ont, semble-t-il, pas été suivies d'études scientifiques qui auraient permis de mieux comprendre et de quantifier les relations entre les tourbières et les écoulements. Seule la comparaison des tourbières avec des éponges va s'ancrer durablement dans les esprits et reste aujourd'hui très présente dans les discours (PORTERET, 2008).

Dans la littérature internationale, anglo-saxonne et russe notamment, la question est beaucoup plus largement traitée. Jusqu'à la fin du XX^{ème} siècle, les problématiques d'amélioration des dispositifs de drainage mobilisent les scientifiques (IVANOV, 1981 ; INGRAM, 1983), dans les régions couvertes par de très vastes superficies de tourbières, comme c'est le cas pour l'Irlande (13 000 km²) ou l'Ecosse (8 000 km²) par exemple. Les études portent sur la quantification des paramètres hydrologiques du bilan de l'eau des tourbières (TINBERGEN, 1940 ; NOVIKOV, 1963 ; HEIKURAINEN, 1963 ; EGGELSMANN, 1964 ; HEIKURAINEN, 1964 ; BADEN & EGGELSMANN, 1968), la circulation de l'eau (IVANOV, 1953) ou la capacité de stockage de la tourbe (VOROB'EV, 1969). L'apogée de cette thématique est marquée par le symposium de Minsk en 1972 (IASH, 1975). Comme le rappelle WASTIAUX (2008) pour les Hautes-Fagnes dans les Ardennes belges, ces différentes recherches ont généralement abouti à la conclusion suivante : « *les tourbières intactes ne sont pas des réservoirs d'eau* » (UHDEN, 1965). Cette position va donc à l'encontre de l'idée communément admise d'un rôle des tourbières dans le stockage de l'eau (ADAMUS, 1983 ; BARNAUD, 1996 ; FUSTEC, 1996 ; FUSTEC & LEFEUVRE, 2000 ; SACCA, 2009).

Toutefois, les travaux menés dans le Massif Central français (CUBIZOLLE, 2005 et 2007), nous ont amené à nous interroger sur le rôle hydrologique de tourbières qui, situées aux marges méridionales de leur aire optimale de développement dans l'hémisphère nord (LAPPALAINEN, 1996), correspondent, notamment pour les petites tourbières basses de fond de vallon, à des contextes climatiques et géomorphologiques très différents des sites étudiés dans la littérature anglo-saxonne. Si certains éléments de réponse ont été proposés dans les conclusions du Programme National de Recherche sur les Zones Humides, qui s'est achevé en 2001 (DZIKOWSKI & LAPLACE-DOLONDE, 2001), les données hydrologiques des tourbières sont encore rares en France (LAPLACE-DOLONDE, 2001 ; MARTIN, 2002 ; MARTIN & DIDON-LESCOT, 2007). En effet, comme le faisait remarquer BENDJOUDI & MARSILLY (2000), « *le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique des zones humides est un domaine qui est encore peu exploré, particulièrement en France. Les études très ponctuelles, (...), fournissent en général peu d'informations et peuvent même conduire à des conclusions erronées* ».

Ce travail de recherche s'appuie donc sur un dispositif de mesures permettant le suivi à moyen et long terme du fonctionnement hydrologique des tourbières et de leur bassin versant. Cette démarche repose sur une connaissance très précise des sites garantie par un important travail de terrain (instrumentation et collecte de données) et l'utilisation de méthodes et d'outils de différentes disciplines comme l'analyse spatiale, la modélisation ou la chimie. Il s'agit donc ici d'étudier pour les sites du Nord-Est du Massif Central, la masse d'eau contenue dans la tourbe, ce qui nous amène à nous intéresser :

- à l'estimation du volume d'eau contenu dans la tourbe. La tourbe est un matériel organique qui contient plus de 90 % d'eau et dont la porosité intrinsèque peut faire des tourbières de formidables réservoirs d'eau. Il faut néanmoins étudier la question de manière dynamique tant dans le temps, en s'intéressant aux variations du niveau de saturation des tourbières, que dans l'espace en étudiant les relations entre les niveaux de nappe en différents points de la tourbière.
- à la capacité d'emménagement supplémentaire de l'eau lors d'épisodes pluvieux, mais également à la disponibilité de l'eau de la nappe pour l'écoulement. Cela revient à mieux comprendre comment l'eau circule au sein de la masse tourbeuse pour appréhender l'impact de la présence de tourbières dans le fonctionnement des bassins versants.

1. Dispositif de recherche

Couverts par de nombreuses tourbières, les bassins versants de la moyenne montagne granitique du Nord-Est du Massif Central français constituent, au dessus de 800 m d'altitude, un terrain d'étude privilégié. Le massif du Forez a été relativement préservé des destructions (drainage et extraction de tourbe) qu'ont subies les zones humides françaises depuis le début du XIX^{ème} siècle (CUBIZOLLE *et al.*, 2004b). Il s'agit de tourbières acides qui se sont mises en place sur les formations d'arènes remaniées lors des dernières périodes froides, par des processus glaciaires et/ou périglaciaires (ETLICHNER, 2005) et issues du substrat granitique.

Parmi les cinq sites équipés pour le suivi environnemental des tourbières dans le Nord-Est du Massif Central, nous nous intéressons ici plus particulièrement à la tourbière basse minérotrophe de la Prenarde, qui constitue, au regard de la littérature existante, un cas peu étudié. L'équipement hydro-climatologique a été installé dans le cadre de différents programmes de recherche, dont le Programme d'Étude des Tourbières Rhône-Alpines, et bénéficie du soutien financier du Conseil Général de la Loire, du conseil Régional Rhône Alpes, de l'Agence de l'eau Loire Bretagne et de la zone atelier Loire du CNRS. Le dispositif permet de quantifier les différents paramètres du bilan de l'eau (fig. 1) (PORTERET, 2008). Il est composé d'une station climatologique complète suivant les normes utilisées par Météo France. La mise en route de la station a été effectuée le 1^{er} juillet 2002. Elle enregistre les précipitations, les températures, l'hygrométrie, la vitesse du vent, la radiation solaire et l'insolation. Toutes ces données permettent le calcul de l'évapotranspiration suivant la formule de Penman-Montheit. Les niveaux de nappe sont mesurés manuellement dans 23 piézomètres en PVC de 50 mm de diamètre et dans deux piézomètres de 120 mm de diamètre équipés de codeurs piézométriques à flotteur permettant d'enregistrer des données horaires (Thalimède, OTT). Les débits à l'exutoire sont mesurés par des stations hydrométriques qui enregistrent les hauteurs d'eau avec des limnigraphes à flotteur couplés à des codeurs limnimétriques (Thalimède, OTT).

Le site de la Prenarde constitue la principale (2,6 ha - 2 m maximum de tourbe) des sept tourbières installées dans la tête de bassin versant forestière du haut bassin versant du Chantereine (85,4 ha). Largement ouvert à l'Est, elle se positionne au niveau d'un élargissement de la vallée du Chantereine (180 m) où convergent les écoulements de trois vallons venant de l'ouest. Elle est en grande partie boisée par les bouleaux (*Betula pubescens*) et les pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) et les surfaces ouvertes représentent

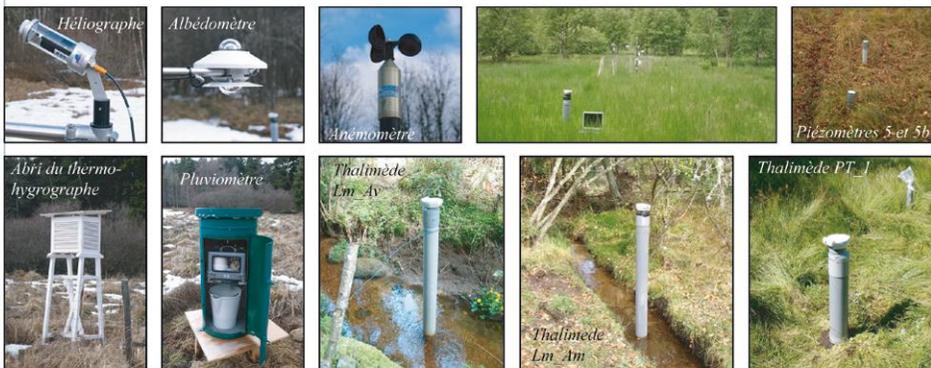
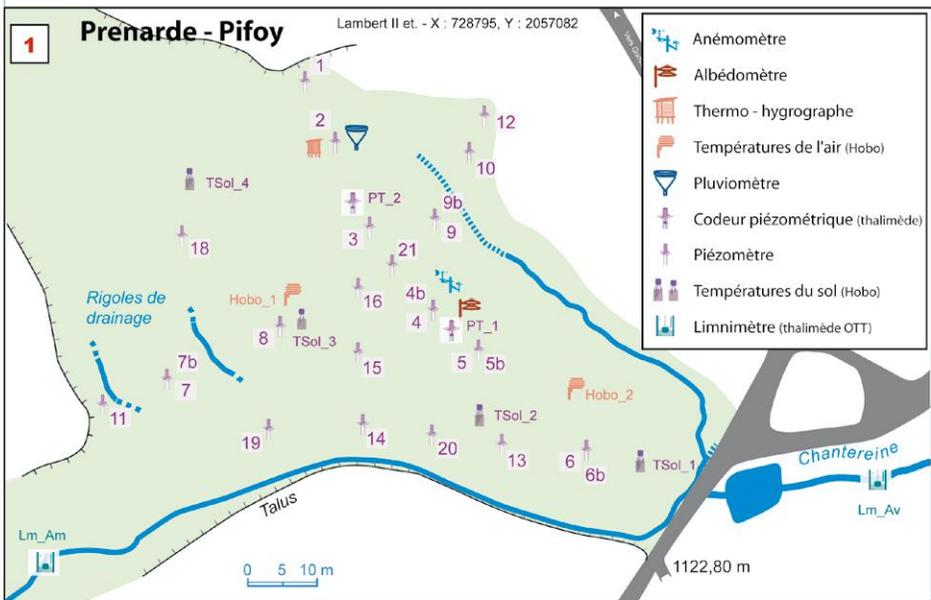
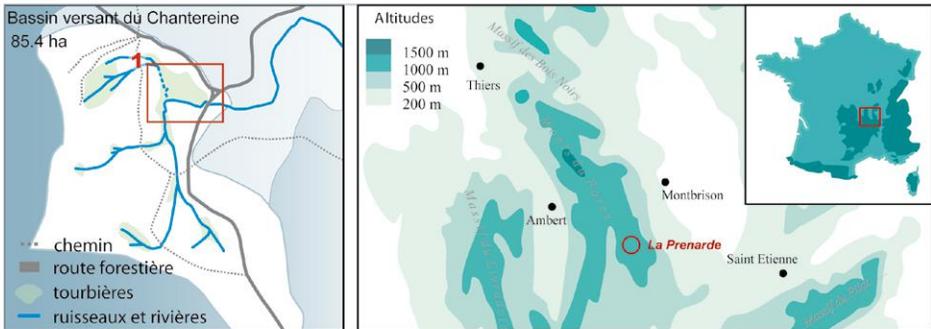


Figure 1

aujourd'hui moins de 0,5 hectare. Deux niveaux de tourbe se succèdent, fibrique en surface (cinquante premiers centimètres) et mésique en profondeur, puis un faciès organo-minéral sablo-limoneux (inférieur à 50 cm d'épaisseur) fait la transition avec les faciès d'arènes sous-jacents (CUBIZOLLE, 2005). Les datations radiocarbone de la mise en place de cette tourbière s'étalent entre 3500 av. JC et 690 ap. JC.

2. Un fonctionnement piézométrique complexe

L'étude du fonctionnement de la nappe repose sur l'analyse des 160 relevés effectués, entre septembre 2002 et fin août 2007, dans les 23 piézomètres répartis dans la tourbière et sur son pourtour (PORTERET, 2008). Il est rapidement apparu que le fonctionnement de la nappe d'eau dans le mésotope est beaucoup plus complexe qu'aurait pu le laisser penser la modeste superficie du site. En s'intéressant aux valeurs d'amplitude des variations piézométriques à différents pas de temps (annuel, saisonnier et mensuel) et en étudiant les fréquences des différents niveaux de nappe, nous avons ainsi identifié trois types de dynamique au sein de la tourbière (PORTERET, 2005 et 2008), regroupé les piézomètres dont les niveaux sont bien corrélés et établi une carte des différents comportements piézométriques de la tourbière (fig. 2).

Dans la majeure partie de la tourbière (type 1), le niveau de la nappe est marqué par une forte variabilité interannuelle qui traduit en fait l'influence des paramètres climatiques sur ses variations. Les niveaux s'abaissent profondément dans la tourbe lors des périodes sèches (-71 cm, le 29 août et le 4 septembre 2005), alors qu'ils atteignent la surface de la tourbière en période humide. Toutefois, la nappe reste proche de la surface, dans les dix premiers centimètres de tourbe, pour 70 % des relevés. *A contrario*, elle atteint la base de l'acrotelm (< -25 cm) pour moins de 5 % des relevés effectués. Dans la partie centrale (type 2), la saturation est permanente ; l'eau y est toujours proche de la surface, dans les 15 premiers centimètres de la tourbière et ce quel que soit le contexte climatique (faible variabilité interannuelle). Il apparaît que cette zone concentre les flux d'eau s'écoulant dans la tourbe et en surface. Ainsi, ces apports d'eau atténuent l'importance des fluctuations de la nappe qui se situe au dessus de -5 centimètres de profondeur pour 95 % des relevés. Enfin, dans la partie nord-ouest (type 3), la nappe fluctue entre 20 et 60 centimètres de profondeur, ce qui explique la minéralisation de la tourbe en surface. Elle est moins sensible aux variations interannuelles des conditions climatiques en raison d'apport d'eau du versant ouest. Toutefois, il apparaît que cette alimentation par

le ruissellement de surface ne fonctionne qu'en hiver et au printemps, ce qui rend la nappe très sensible aux conditions sèches de fin d'été et début d'automne.

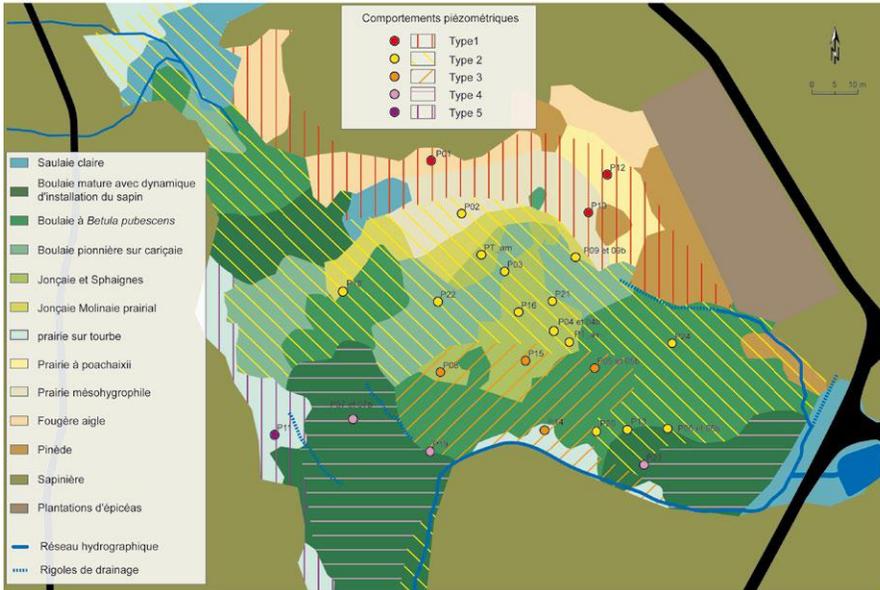


Figure 2

Il est intéressant de noter que dans la tourbière, la présence ou non de ligneux n'a pas d'incidence sur la dynamique des niveaux de la nappe. Mais l'analyse des relations entre la végétation de surface (espèces et habitats) et les comportements piézométriques doit encore être menée. Par ailleurs, il nous semble que la pédologie serait également un excellent indicateur pour traduire les différents comportements de la nappe.

En termes de gestion, ces résultats traduisent la nécessité d'avoir une vision dynamique du fonctionnement piézométrique de ce type de tourbière basse, en observant les variations spatiales des niveaux de la nappe et en traitant les données à différentes échelles de temps. Ils suggèrent également de mieux connaître l'accumulation tourbeuse d'un point de vue pédologique.

3. Propriétés hydrauliques de la tourbe

La capacité de stockage de l'eau qui dépend du niveau de saturation, est également liée aux caractéristiques physiques de la tourbe. A la Prenarde, il s'agit d'une tourbe relativement compacte, de type fibrique à mixte (PORTERET, 2002 et 2008) suivant

la méthode de granulométrie des fibres (GOBAT, 1991). La masse volumique apparente (rapport entre la masse sèche et le volume total de l'échantillon ; bulk density) varie entre 0,05 et 0,17 g.cm⁻³. Ces valeurs sont conformes aux valeurs généralement observées dans la littérature (BOELTER, 1968 ; PAYETTE & ROCHEFORT, 2001 ; RYDIN & JEGLUM, 2006). Dans l'acrotelm, la tourbe contient 82 à 83 % d'eau, soit 456 à 500 % de sa masse sèche. Toutefois, la part de l'eau libre dans l'acrotelm diminue rapidement avec la profondeur, suivant la notion de profil d'humidité entre la surface et la zone saturée, illustrée par le graphique de la figure 3 (CLYMO, 1983). Près de la surface, à saturation totale, c'est-à-dire lorsque l'eau a pris la place de l'air, le volume d'eau utile maximum représente 65,4% du volume de tourbe. Plus en profondeur, il n'est plus que de 40,3 %. Ainsi, pour les échantillons analysés, nous avons pu évaluer la quantité d'eau nécessaire pour totalement saturer la tourbe à 28,2 mm entre 10,5 et 25 centimètres de profondeur et 13,3 mm entre 25 et 36 de centimètres, valeurs qui s'approchent de celles proposées par WASTIAUX (2000) et correspondent respectivement à des coefficients de stockage de 0,19 et 0,12.

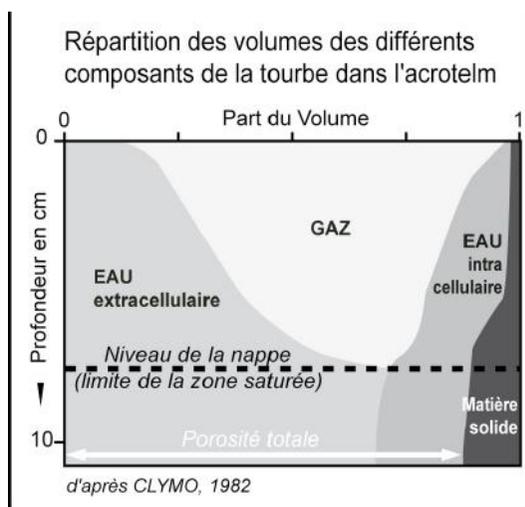


Figure 3

Pour le mésotope de la Prenarde, nous n'avons pas observé de phénomènes d'écoulement dans des conduits souterrains, l'ensemble des écoulements dans la tourbière s'effectuant par le réseau de macropores de la matrice tourbeuse. Les résultats des mesures de conductivité hydraulique réalisées dans l'acrotelm et dans le catotelm font également apparaître des vitesses de circulation de l'eau conformes aux valeurs proposées dans la littérature scientifique (BOELTER, 1965 ; DAI, 1973 ; EGGELSMANN ,

1975b ; ROMANOV *et al.*, 1975 ; CHASON, 1986 ; LOXHAM & BURGHARDT, 1986 ; BAIRD, 1997 ; RICE, 2000 ; HOLDEN & BURT, 2003 ; CLYMO, 2004). Dans le catotelm, elles sont de l'ordre de $3,5 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ ou 3 cm.j^{-1} , ce qui représente plus d'un mois (33,9 jours) pour que la nappe parcourt 1 mètre. Dans l'acrotelm, elles varient de $1,5 \cdot 10^{-5}$ à $2,8 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ lors des tests effectués, puisque le contexte hydro-climatique, et donc le degré de saturation en eau de l'acrotelm lors des mesures, influe sur la dynamique des écoulements.

4. La capacité de stockage

A partir des données piézométriques et des caractéristiques hydrauliques de la tourbe, nous pouvons estimer la capacité de stockage de la tourbière (tab. 1) (PORTERET, 2008). Le mésotope, qui occupe 2,4 hectares, représente un volume de $20\,194 \text{ m}^3$ de tourbe. Il comprend :

- une partie centrale (comportements piézométriques de type 1 à 3) de $18\,661 \text{ m}^3$ à structure diplotelmique classique des tourbières à sphaignes avec une zone saturée en permanence, le catotelm, et une zone qui connaît des fluctuations de la nappe, l'acrotelm,
- des zones de transition hydromorphes paratourbeuses (type 4 et 5) où il n'y a pas de catotelm, la nappe pouvant même s'abaisser sous les niveaux de tourbe ($1\,533 \text{ m}^3$).

Le volume de l'acrotelm est de $13\,396 \text{ m}^3$ et celui du catotelm $6\,903 \text{ m}^3$ (tab. 2). Nous pouvons d'ores et déjà constater que le volume de l'acrotelm est ici deux fois supérieur à celui du catotelm, ce qui confère à ce type de tourbière minérotrophe un rôle plus important que ne le laisse penser le modeste volume de tourbe. Les coefficients de stockage établis à partir de l'analyse des échantillons de tourbe de la Prenarde, permettent d'évaluer la capacité maximale de stockage à $2\,556 \text{ m}^3$ d'eau. Cette capacité maximale étant rarement atteinte, il est plus parlant de s'intéresser au volume d'eau qui peut être stocké pour une position médiane de la nappe (tab. 3). Il s'élève à $1\,547 \text{ m}^3$ d'eau, soit $64,5 \text{ l.m}^{-2}$. Ainsi, pendant la moitié de l'année, et si toute l'eau précipitée s'infiltrait sans ruisseler, la tourbière disposerait d'une capacité de stockage correspondant à une lame d'eau de 64,5 mm.

Dans le premier cas, toute la capacité de stockage de l'acrotelm, liée à la position de la nappe au moment de l'averse, est efficace.

Type de comportement piézométrique	Superficie en hectares	Épaisseur moyenne en m	Volume de tourbe en m ³
Tourbière	1.01	0.93	18661
type1	1.27	0.87	10942
type2	0.28	1.28	3631
type3	0.46	0.90	4048
Zone de transition hydromorphe	0.41	0.39	1533
Mesotope de la Prenarde	2.42	0.83	20194

tableaux 1

Type de comportement piézométrique	Niveau minimum de la nappe	Volume du catotlem en m ³	Volume de l'acrotelm en m ³
Tourbière	0.60	6798	11863
type1	0.65	2680	8263
type2	0.11	3319	312
type3	0.72	799	3288
Zone de transition hydromorphe	< 0.39	106	1427
Mesotope de la Prenarde	0.60	6903	13396

tableaux 2

Capacité de stockage	Niveau minimum de la nappe	Volume d'eau stocké en m ³	Niveau médian de la nappe	Volume d'eau stocké en m ³
Tourbière	0.60	2073	0.18	1051
type1	0.65	1367	0.13	594
type2	0.11	184	0.03	34
type3	0.72	523	0.40	522
Zone de transition hydromorphe	< 0.39	496	< 0.39	496
Mesotope de la Prenarde	0.60	2569	0.25	1547

tableaux 3

Dans le second cas, le ruissellement se déclenche parce que l'intensité des précipitations est supérieure à la capacité d'infiltration. Les mesures réalisées par la méthode de l'infiltromètre à double anneau sont, ici encore, conformes aux valeurs que nous avons pu trouver dans la littérature scientifique (KEANE & DOOGE, 1975 ; HOLDEN *et al.*, 2001 ; HOLDEN & BURT, 2002). La capacité d'infiltration décroît rapidement d'une dizaine de mm.h⁻¹ en début d'expérience, pour se stabiliser vers 4 mm.h⁻¹, à saturation, lorsque se met en place le régime permanent (fig. 4). Ainsi, par exemple, lors d'épisodes pluvieux comme celui du 1^{er} au 3 décembre 2003, au cours duquel l'intensité des précipitations a atteint 9 mm.h⁻¹ dans les premières heures, le ruissellement a pu se déclencher avant la saturation totale de l'acrotelm.

Nous pouvons donc conclure que la tourbe est un matériel gorgé d'eau qui constitue d'un point de vue statique un stock d'eau important en volume. D'un point de vue dynamique, si la porosité et le niveau de saturation de l'acrotelm peuvent conférer aux tourbières un rôle important dans le stockage supplémentaire de l'eau, ces propriétés ne sont véritablement efficaces que de manière ponctuelle et aléatoire au cours de l'année hydrologique. En effet, la position de la nappe n'est pas le seul élément déterminant. Les importants épisodes pluvieux ne se produisent pas de manière synchrone avec les périodes de bas niveaux de la nappe. En période humide, par exemple en hiver ou au début du printemps, les niveaux de la nappe étant proches de la surface, la capacité d'emmagasinement est très limitée. Pour qu'elle soit effective, il faut que les précipitations se produisent après une période sèche où la nappe s'est abaissée, comme ce peut être le cas durant l'été. Or, durant les mois chauds au cours desquels les orages sont plus fréquents, l'intensité des précipitations peut devenir un facteur limitant du rôle hydrologique des tourbières, parce que le ruissellement se déclenche par dépassement du seuil d'infiltration de la tourbe avant que l'acrotelm soit totalement saturé.

Si, comme le suggèrent de nombreux auteurs, dont Wastiaux pour les Hautes-Fagnes (2008), ces conclusions nous amènent à relativiser le rôle hydrologique des tourbières basses minérotrophes, de la même manière que pour les tourbières hautes ombrotrophes, il n'en demeure pas moins que la question du rôle hydrologique de la tourbière de la Prenarde doit être envisagée à une autre échelle d'analyse, en nous plaçant à l'échelle des bassins versants, non plus à travers les caractéristiques intrinsèques de la tourbe, mais en raison de l'influence de la tourbière sur les nappes et les écoulements des versants.

À l'échelle du bassin versant il s'agit d'établir quelles sont les relations verticales entre la tourbe et le substrat sous-jacent et quelles sont les relations horizontales avec les nappes contenues dans les formations minérales en amont de la tourbière.

De par sa position topographique dans le bassin versant du Chantereine et ses caractéristiques hydrauliques, la tourbière de la Prenarde n'est pas neutre dans la dynamique des écoulements. Les essais de pompage ont montré les faibles relations entre la nappe d'eau contenue dans les formations minérales sous la tourbe et la nappe d'eau de la tourbière. Il s'agit de pomper à débit constant dans un puits et de mesurer dans ce puits et dans un ou plusieurs piézomètres d'observation situés à proximité, le rabattement de la nappe (drawdown) ou la récupération du niveau d'eau après l'arrêt du pompage (recovery).

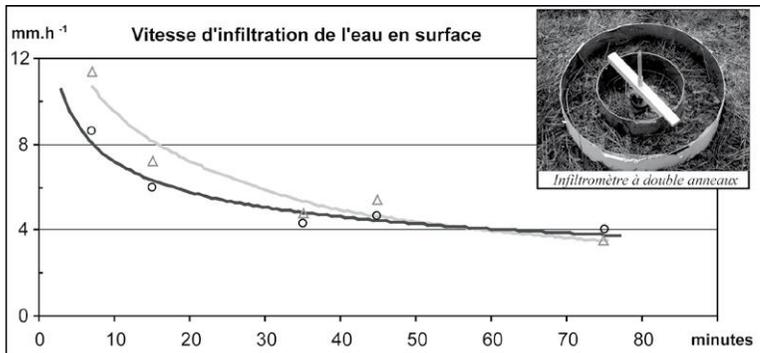


Figure 4

Si dans les formations d'arène granitique remaniée, l'eau circule plus vite que dans la tourbe ($3,7 \text{ E-}06 \text{ m.s}^{-1}$), ces formations minérales sablo-graveleuses, dont la proportion de fines (argiles et limons) ne dépasse pas 30 % (CUBIZOLLE, 2005), restent moyennement à peu perméables en raison des phénomènes de compaction hérités des périodes froides qui ont affecté leur tranche supérieure (ETLICHER, 1986 ; VAN VLIET-LANOË, 1988). Les relations hydrauliques entre la nappe de la tourbière et celle des formations sous-jacentes sont de ce fait très faibles, comme le traduisent les faibles vitesses d'écoulement. Les analyses de la chimie de l'eau effectuées par J. Barbe (Laboratoire Diagnose des Systèmes Aquatiques - CEMAGREF Lyon) confirment ce constat en traduisant l'absence d'influence de la tourbière sur l'évolution de la qualité de l'eau du Chantereine à l'exutoire. Ainsi, l'ensemble des mesures effectuées montre que l'eau contenue dans la tourbière et celle circulant dans le bassin versant ont des caractéristiques isotopiques et physico-chimiques très différentes qui impliquent de faibles relations hydrauliques entre les nappes de versant, le réseau hydrographique et le mésotope de la Prenarde.

5. L'impact de la présence de tourbières sur la vidange des nappes de versant

En bas de versant, le fonctionnement de la nappe des zones de transition, traduit l'influence du contexte topographique, géomorphologique et de la position de la tourbière. Ainsi, nous observons un premier cas au nord (type 4) où le versant s'étend sur quelques dizaines de mètres en amont de la tourbière. La nappe est très sensible à l'ambiance climatique. Elle reste en profondeur et n'atteint jamais la surface. A l'inverse, au contact entre le versant ouest et la tourbière (type 5), aux différents pas de temps choisis, le niveau de la nappe reste stable quelles que soient les conditions climatiques, très

humides (juillet 2004 ou mai 2007) ou très sèches (août 2003 ou septembre 2005). Il existe donc à la base du versant une alimentation pérenne de la nappe, indépendante des conditions climatiques, qu'il s'agisse de l'apport des précipitations, mais également des pertes par évapotranspiration ou écoulement. La présence de la tourbière, par les très faibles vitesses d'écoulement dans la tourbe, limite le débit de la nappe à la base du versant Ouest (450 m de long avec une pente moyenne supérieure à 15 %), suivant le modèle théorique proposé par CESAME (pour la restauration de la fonctionnalité hydrologique des zones humides des bassins versants de la Borne et du Lignon. 2006 - Garantie, Conseil Général de la Haute-Loire, 119 p.). En période de crue, la tourbière constitue une zone tampon en raison de sa capacité intrinsèque de stockage, même si elle est faible, et de sa position dans une dépression topographique qui provoque une diminution de la vitesse d'écoulement des eaux. L'eau est ralentie, voire stockée, d'autant que la rugosité de la végétation de surface accentue le phénomène (PORTERET, 2008). En période d'étiage, elle tamponne, en plus de son propre débit, celui provenant des nappes de versant.

6. Impact de la tourbière sur les écoulements

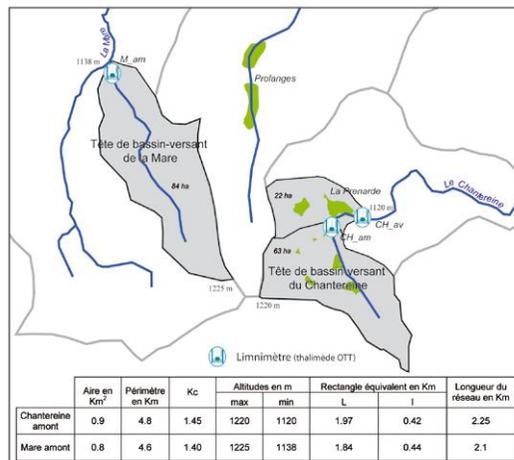


Figure 5

En comparant les débits entre l'amont et l'aval de la tourbière, nous constatons qu'elle peut influencer sur 1/3 à 2/3 des volumes d'eau qui s'écoulent à l'exutoire (fig. 5). La mise en relation des débits à l'amont et à l'aval de la tourbière avec les variations piézométriques permettent d'observer par exemple, à la fin du printemps et au début de l'été

2007, que 31 % des averses n'entraînent aucune augmentation du débit à l'exutoire, alors qu'elles entraînent une hausse du niveau de la nappe dans la tourbière. Il s'agit d'averses de faible intensité ($\leq 3 \text{ mm.h}^{-1}$) qui représentent des cumuls modestes de précipitations ($< 7 \text{ mm}$). Dans le bassin versant de la Mare amont, aux caractéristiques géométriques et biogéographiques comparables mais sans tourbière, (fig. 5) la sensibilité aux petits épisodes pluvieux est beaucoup plus forte puisque, sur la même période, 9 % seulement des averses n'entraînent pas d'augmentation du débit. Il semble également que le mésotope de la Prenarde influence la restitution des volumes d'eau précipitée en période sèche. En effet, aux mois de septembre et d'octobre 2005, en période sèche, après chaque crue, le temps de retour à son niveau initial du débit du Chantereine mesuré à l'aval est beaucoup plus long que celui mesuré sur le Chantereine à l'amont ou sur la Mare amont. Ce constat peut être mis en relation avec le rôle de la tourbière sur le ralentissement des écoulements et la vidange des nappes de versants situées à l'amont. Les analyses corrélatoires des débits du Chantereine et de la Mare confirment ce point. Ces méthodes ont pour but de traduire l'effet mémoire du système que l'on peut relier à la notion de réserve pour les systèmes hydrologiques (MANGIN, 1982). Nous observons d'une part que l'effet mémoire augmente entre l'amont et l'aval de la tourbière et qu'il est supérieur pour le bassin versant du Chantereine que pour celui de la Mare amont sans tourbière (fig. 6).

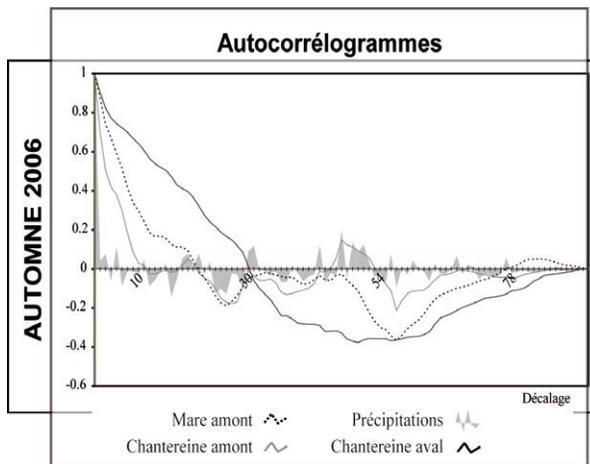


Figure 6

Le rôle hydrologique de la tourbière peut être synthétisé à partir de l'épisode du 5 et 6 septembre 2005 (fig. 7). Lorsque les premières précipitations se produisent, l'eau qui n'est pas interceptée par les arbres commence à saturer les sols et à ruisseler. Une

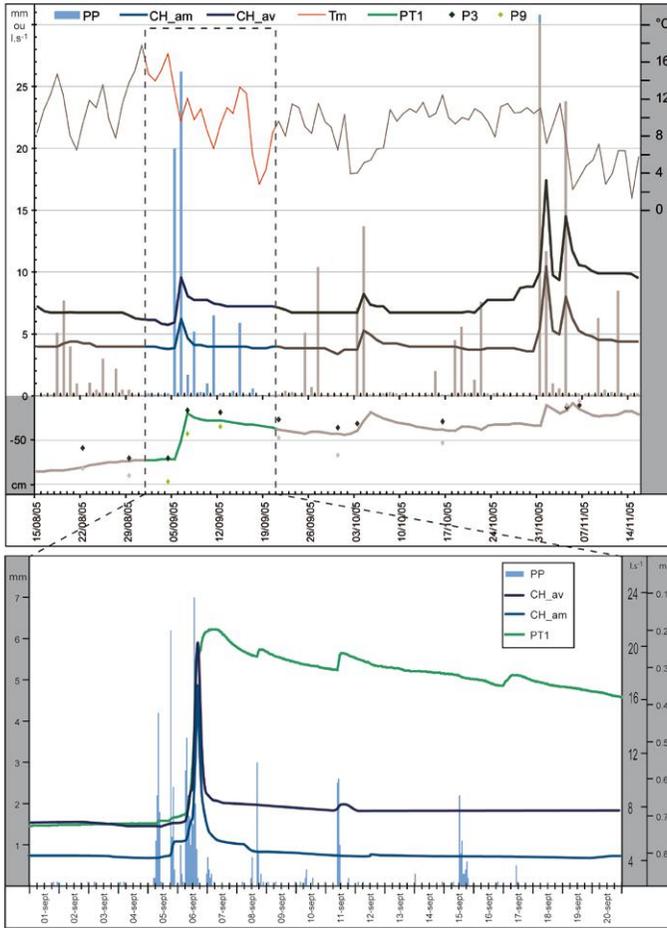


Figure 7

grande partie de cette eau permet une réhydratation des sols dans lesquels la nappe est basse. Les hausses du débit du Chantereine à l'amont de la nappe de la tourbière sont très légères. Lorsque se produit une averse de plus forte intensité (6 mm.h^{-1}), les débits à l'amont augmentent, mais une grande partie de l'eau précipitée alimente encore le stockage dans la tourbière (PT1). La crue du Chantereine se déclenche véritablement le 6 septembre (6,5 mm de précipitations) et correspond à la saturation rapide de la nappe de tourbière. L'onde de crue arrive à l'exutoire avec une heure de retard par rapport à l'amont de la tourbière (effet tampon sur la partie nord-ouest du bassin

versant - 22 hectares). Après l'épisode pluvieux en phase de tarissement de la crue, le niveau est maintenu à un niveau supérieur au niveau initial, parce qu'elle contribue au ralentissement de la vidange des nappes de versant.

Si la complexité des situations ne permet pas de conclure de manière définitive au rôle de la tourbière sur l'écrêtement des crues ou le soutien des étiages, le bilan de l'analyse des séquences hydro-météorologiques nous permet de montrer que la présence d'une tourbière basse minérotrophe comme celle de la Prenarde dans les têtes de bassin versant a une incidence sur les écoulements.

Conclusion

Si les tourbières basses minérotrophes semblent de prime abord jouer un rôle réduit à l'échelle des bassins versants, elles peuvent, au-delà de leur capacité de stockage intrinsèque, qui dépend de leur géométrie (forme, taille, épaisseur), et en raison de leur position, influencer sur la dynamique hydrologique des bassins versants. La position des 2 hectares du mésotope de la Prenarde à l'exutoire de la tête de bassin est à ce titre significative. Il s'agit d'un secteur où la largeur du vallon qui concentre les écoulements de surface se réduit. En effet, les conditions topographiques et géomorphologiques de fond d'alvéole qui ont permis la mise en place de cette tourbière, lui confèrent un rôle spécifique par rapport aux nappes des formations d'arène granitique remaniée situées à l'amont.

Il apparaît ainsi que la présence de tourbières basses contribue à absorber les précipitations lorsque la nappe de l'acrotelm s'abaisse. Ainsi, elles prélèvent une part de l'eau qui n'atteint pas le réseau hydrographique, mais cette capacité de réduction des volumes d'eau écoulés dépend des conditions hydrologiques qui précèdent l'épisode. Elles ralentissent les écoulements par leur microtopographie de surface et par les faibles vitesses d'écoulement dans l'acrotelm, ce qui peut entraîner un retard du pic de crue. Enfin, la position du mésotope de la Prenarde à l'aval de l'alvéole, là où s'amorce la gorge de raccordement, contribue à limiter la vitesse de vidange des nappes de versant, permettant ainsi durant la phase de tarissement des crues un soutien aux débits du Chantereine. Toutefois, les effets observés pour le bassin versant du Chantereine ne peuvent être transposés sans précaution à d'autres sites, tant ils sont liés au contexte géomorphologique. Ainsi, les travaux sur l'impact des tourbières sur les écoulements menés pour le Mont-Lozère (MARTIN & DIDON-LESCOT, 2007 ; MARTIN *et al.*, 2008) montrent que d'un site à l'autre en fonction de la physionomie et de l'état

de surface des sites les résultats sont sensiblement différents (Tourbière des Sagnes et de la Plaine de la Sénégrière).

En terme de gestion de la ressource en eau, les résultats de cette étude nous permettent d'affirmer la nécessité d'une prise en compte globale des milieux tourbeux à l'échelle des bassins versants (PORTERET, 2008). En effet, à l'échelle du site, les effets bénéfiques des tourbières pour les sociétés en terme hydrologique sont souvent très modestes et peuvent même parfois aller à l'encontre de ceux souhaités. Pour la gestion de la ressource en eau, il faut donc envisager l'effet cumulé de la présence des tourbières à l'échelle des massifs comme c'est le cas pour le massif du Forez.

L'influence de ces milieux humides devrait aussi être évaluée à l'aune de celle d'autres écosystèmes comme les forêts, dont le rôle dans l'hydro-climatologie des bassins versants a largement été mis en avant (AUSSENAC, 1968 et 1975 ; COSANDEY, 1995 ; COSANDEY *et al.*, 2003). Mais les comparaisons restent difficiles et la démarche présente de nombreux écueils comme l'a bien montré l'ensemble des réflexions sur les bassins versants expérimentaux (BVRE). Il n'en demeure pas moins que c'est dans cette direction que les recherches peuvent se poursuivre à la Prenarde, pour établir les rôles hydrologiques respectifs des tourbières et de la sapinière.

La mise en place d'un dispositif expérimental de suivi des tourbières dans le Nord-Est du Massif Central, rendu possible pour le soutien financier des collectivités (Conseil général de la Loire, Région Rhône-Alpes, Agence de l'Eau Loire Bretagne, Direction Régionale de l'Environnement Auvergne, Association pour la création du Parc Naturel des Monts de la Madeleine) a permis l'acquisition de données inédites qui éclairent la question du fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant tourbeuses. Les premiers bilans sont désormais possibles après la phase d'installation et de paramétrage des appareils de mesure. Toutefois, la dynamique des milieux tourbeux qui doit être envisagée sur de plus longues périodes, comme le suggère leur histoire depuis leur mise en place au début de l'Holocène, doit poser la question aux gestionnaires de la maintenance et de la pérennité de ces dispositifs à moyen et long terme.

Bibliographie

- AUSSENAC G. 1968. Interception des précipitations par le couvert forestier. *Annales des Sciences Forestières* 25 : 115-156.
- AUSSENAC G. 1975. Couverts forestiers et facteurs du climat : leurs interactions, conséquences écophysologiques chez quelques résineux. Thèse d'État. Université de Nancy I. 227 p.
- BADEN W. & EGGLESMANN R. 1968. The hydrologic budget of the highbogs in the atlantic region. *In*. Proceedings of the Third International Peat Congress, Quebec, Canada, August 18-23, 1968, p 260-311.
- BAIRD A. J. 1997. Field estimation of macropore functioning and surface hydraulic conductivity in a fen peat. *Hydrological Processes* 11 : 287-295.
- BARNAUD G. 1996. Fonctions et rôles des zones humides. *In* : L'eau, l'homme et la nature. Paris, France, 18 et 20 septembre 1996, p 307-316.
- BENDJOUDI H. et MARSILLY G., 2000. Le fonctionnement hydrologique des zones humides. *In*. Fonctions et valeurs des zones humides, Paris, p 61-81.
- BOELTER D. H. 1965. Hydraulic conductivity of peats. *Soil Science* 100 : 227-231.
- BOELTER D. H. 1968. Important physical properties of peat materials. *In*. Proceedings of third international peat congress, Quebec, Canada, August 18-23, 1968, p 150-154.
- CHASON D. B. 1986. Hydraulic conductivity and related physical properties of peat, lost river peatland, northern Minnesota. *Soil Science* 142 : 91-99.
- CLYMO R. S. 1983. Peat. *In* : GORE A. J. P. Mires, swamp, bog, fen and moor. Elsevier Scientific Amsterdam, p 159-224.
- CLYMO R. S. 2004. Hydraulic conductivity of peat at ellergower moss. *Hydrological Processes* 18 (2) : 261-274.
- DAI T. S. 1973. Measurement of hydraulic conductivity of peats. *Canadian Journal Soil Science* 53 : 21-26.
- COSANDEY C. 1995. La forêt réduit-elle l'écoulement annuel? *Annales de géographie* n° 581 : 7-25.
- COSANDEY C., ANDREASSIAN V., MARTIN C., DIDON-LESCOT J.F., LAVABRE J., FOLTON N., MATHIS N. & RICHARD D. 2003. Rôle joué par la forêt sur l'hydrologie des régions méditerranéennes : synthèse des recherches menées en France.

Rapport quadriennal (1999-2002) du Comité National Français de Géodésie et de Géophysique. JP Bariot Ed., Toulouse, p 239-250.

CUBIZOLLE H., 2005. Paléoenvironnement et turfigenèse, l'apport de l'étude des tourbières à la connaissance de l'évolution holocène des milieux montagnards du Massif Central oriental granitique. Habilitation à diriger les Recherches. Université de Limoges, Limoges. 750 p.

CUBIZOLLE H. 2007. Les facteurs de la répartition géographique de tourbières : Une combinaison de facteurs physiques et humains. L'exemple des tourbières du Massif Central oriental. *In*. Origines, fonctionnement et conservation des tourbières. Actes du colloque de Goutelas, 5-7 octobre 2005, Saint-Étienne, p 17-44.

CUBIZOLLE H., PORTERET J., ETLICHER B. & SACCA C. 2007. Le développement de la collaboration entre scientifiques et gestionnaires pour la mise en place du suivi scientifique des tourbières de France. *In*. , fonctionnement et conservation des tourbières. Actes du colloque de Goutelas, 5-7 octobre 2005, Saint-Étienne, p 365-381.

CUBIZOLLE H., PORTERET J., SACCA C. & ETLICHER B. 2006. Recherche scientifique et gestion conservatoire des tourbières : L'exemple rhône-alpin. *In*. Colloque L'eau en montagne, 20, 21, 22 septembre 2006, Megève, France.

CUBIZOLLE H., RUSSIAS L. & PORTERET J. 2004a. Le fonctionnement hydrique des tourbières. *In*. Vers une stratégie de préservation des tourbières, Quatrième journée d'échanges techniques entre gestionnaires d'espaces naturels de Rhône Alpes - Conservatoire Régional des Espaces Naturels. Vourles, p.20-24

CUBIZOLLE H., TOURMAN A., SACCA C., PORTERET J. & THEBAUD G. 2004b. Les tourbières du haut bassin versant de la Loire (Massif Central oriental): Intérêts paléoenvironnemental et phytocénotique, enjeux socio-économiques. *Norvirois* 192 (3) : 95-115.

DE LUC J. A. 1779. Lettres physiques et morales sur l'histoire de la terre et de l'homme adressées à la reine de la Grande-Bretagne. Paris, La Haye, p 29-271.

DZIKOWSKI M. & LAPLACE-DOLONDE A. 2001. Fonctionnement hydrologique des tourbières, du bassin versant à l'histosol. Programme National de Recherches sur les Zones Humides (PNRZH) Projet n°16 -tourbières de France, Lyon, 104 p.

EGGELSMANN R. 1964. Verlauf der grundwasserströmung in entwässertenn mooren. *Deutch Bodenkdl. Ges.* (2) : 129-139.

EGGELSMANN R. 1975. The water balance of lowland areas in north-western regions of F.R.G. *In*. I.A.S.H. Hydrology of marsh-ridden area. Proceedings of the

Minsk symposium, Paris, p 137-147.

ETLICHER B. 1986. Les massifs du Forez, du Pilat et du Vivarais : Régionalisation et dynamique des héritages glaciaires et périen moyenne montagne cristalline. Thèse d'État. Université de Lyon II. 687 p.

ETLICHER B. 2005. Physical geography of western Europe : chap. 13. French and Belgian Uplands. Ed., Oxford University Press. 45 p.

FUSTEC E. 1996. Les fonctions et valeurs des zones humides. Agence de l'eau Seine-Normandie, Dijon. 134 p.

FUSTEC E. & LEFEUVRE J.-C. 2000. Fonctions et valeurs des zones humides. Dunod, Paris. 426 p.

GERMAIN DE SAINT PIERRE J. N. E. 1856. De l'influence du déboisement des montagnes et du dessèchement des tourbières, des lacs et des étangs, sur les débordements des torrents et des fleuves. *Bulletin de la société botanique de France* Tome III : 462-469.

HEIKURAINEN L. 1963. On using ground water table fluctuations for measuring evapotranspiration. *Acta Forestalia Fennica* 75 (5) : 1-15.

HOLDEN J. & BURT T. P. 2002. Infiltration, runoff and sediment production in a blanket peat catchments : Implications of field rainfall simulation experiments. *Hydrological Processes* 15 : 2537-2557.

HOLDEN J. & BURT T. P. 2003. Runoff production in blanket peat covered catchments. *Water Resources Research* 39 (7) : 1191-1200

HOLDEN J., BURT T. P. et COX N. J., 2001. Macroporosity and infiltration in blanket peat : The implications of tension disc infiltrometer measurement. *Hydrological Processes* 15 : 289-303.

I.A.S.H. 1975. Hydrology of marsh-ridden area. Proceedings of the Minsk symposium, UNESCO Press, Paris. 564 p.

INGRAM H. A. P. 1983. Hydrology. In : GORE A. J. P. Mires : Swamp, bog, fen and moor, Amsterdam, p 67-158.

IVANOV K. E. 1953. Gidrologia bolot. In Gidrometeoizdat. Leningrad, 300 p.

IVANOV K. E. 1981. Water movement in mirelands. Academic Press. London. 276 p.

KEANE R. & DOOGE J. 1975. The effect of initial moisture on infiltration into peat. In. I.A.S.H. Hydrology of marsh-ridden area. Proceedings of the Minsk symposium, p 273-279.

- LAPLACE-DOLONDE A. 2001. Fonctionnement hydrologique et diversité typologique ; approche écologiques et socio-économiques ; applications pour une stratégie de conservation et de gestion. Programme National de Recherche sur les Zones Humides, Ministère de l'Environnement, Agences de l'Eau, GIP Hydrosystèmes, BRGM, Université Lyon 2, p 12-34.
- LAPPALAINEN E. 1996. Global peat resources. Lappalainen Edition, International Peat Society, Finlande, 358 p.
- LESQUEREUX L. 1844. Quelques recherches sur les marais tourbeux en général. Neuchâtel. 138 p.
- LOXHAM M. & BURGHARDT W. 1986. Saturated and unsaturated permeabilities of north german peats. *In*: FUCHSMAN C.H. Peat and water, London, p 37-59.
- MANGIN A. 1984. Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale. *Journal of Hydrology*67 (1-4) : 25-43.
- MARTIN C. 2002. Etude du fonctionnement hydrologique des zones humides du Mont-Lozère : L'exemple de la tourbière des Sagnes. *Etudes de géographie physique*29 : 15-43.
- MARTIN C. & DIDON-LESCOT J.-F. 2007. d'une tourbière de moyenne montagne sur les écoulements : le cas de la tourbière des Sagnes sur le Mont-Lozère. *Etudes de géographie physique*34 : 27-41.
- MARTIN C., DUGUEPEROUX F. & DIDON-LESCOT J.-F. 2008. Fonctionnement hydrologique d'une tourbière drainée: la plaine de la Sénégrière (Lozère). *Etudes de géographie physique*35 : 3-23.
- NOVIKOV S. M. 1963. Raschety vodnogo rezhima i vodnogo balansa nizinykh bolot i ryamov yuzhnoy chasti zapadno-ssibirskoy nizmennosti (computations of the water regime and the water balance of the fens and mosses mires of the southern part of the west siberian lowlands). *Trudy gos. gridol. inst.*105 : 5-44.
- PAYETTE S. & ROCHEFORT L. 2001. L'écologie des tourbières du Québec-Labrador. Presse Universitaires de Laval. Laval. 621 p.
- PORTERET J. 2002. Le rôle des paléocendres dans la mise en place et le développement des tourbières du nord-est du Massif Central. Mémoire de DEA Interface Nature Société. Université Jean Monnet. Saint-Étienne. 140 p.
- PORTERET J. 2007. Etude du fonctionnement hydrologique d'une tourbière basse du nord-est du Massif Central français : la Prenarde dans les Monts du Forez. *In*: Ori-

gines, fonctionnement et conservation des tourbières. Actes du colloque de Goutelas, 5-7 octobre 2005, Saint-Étienne, 2007, p 81-107.

PORTERET J. 2008. Fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant tourbeuses du Nord-Est du Massif Central. Thèse de doctorat Interface Nature Société. Université Jean Monnet. Saint-Étienne. 414 p.

PRICE J. S. 2001. L'hydrologie. In S. PAYETTE et L. ROCHEFORT, *L'écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Presses Universitaires de Laval. 621 p.

ROMANOV V. V., PAVLOVA K. K., KALYUZHNY I. L. & VOROBIEV P. K. 1975. Hydrophysical investigations of bogs in the ussr. *In*. I.A.S.H. Hydrology of marsh-ridden area. of the Minsk symposium, p 77-83.

ROZIER A., MONGEZ A. J. & DELAMETHERIE J. C. 1793. De la tourbe. *Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts* Tome XLII : 446-447.

RYDIN H. & JEGLUM J. 2006. The biology of peatlands. Oxford university press. New York. 343 p.

THILORIER J. C. 1815. Système universel ou de l'univers et de ses phénomènes considérés comme les effets d'une cause unique. Paris, p 333-338.

TINBERGEN L. 1940. Observations sur l'évaporation de la végétation d'une tourbière dans les Hautes-Fagnes de Belgique. *Mémoires de la Société Royale des Sciences de Liège* : 21-76.

UHDEN O. 1965. Die ungestörten Hochmoore sind keine Wasserspeicher. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen*, Jg. 10, H, 1 :17-21.

VAN VLIET-LANOË B. 1988. rôle de la glace de ségrégation dans les formations superficielles de l'Europe de l'Ouest : Processus et héritages. Thèse d'Etat. Université de Paris I, Sorbonne. 854 p.

WASTIAUX C. 2000. Facteurs hydrologiques de la dégradation des tourbières hautes à sphaignes des Hautes-Fagnes. Université de Liège. 223 p.

WASTIAUX C. 2008. Les tourbières sont-elles des éponges régularisant l'écoulement. *Bulletin de la Société géographique de Liège* 50 : 57-66.

Hydrogenetische und hydromorphologische Grundlagen der Bewertung von Moor - und Moorwald - Lebensräumen zur Umsetzung der FFH-Richtlinie der EU – Erfahrungen aus dem Erzgebirge

Frank EDOM (1), Ingo DITTRICH (2) & Karin KESSLER (2)

1 HYDROTELM - Dresden, Naundorfer Str. 18, D-01139 Dresden

2 Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH, Gerlinger Str. 4, D-01728 Bannewitz

Einführung :

Nachdem im Jahre 1992 die EU die «Richtlinie 92/43... zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wild lebenden Tiere und Pflanzen» (FFH-Richtlinie) beschlossen hat, haben in den Folgejahren die Mitgliedsländer mehr oder weniger schnell mögliche Schutzgebiete gemeldet. Ziel ist nach Artikel 3 die Errichtung eines kohärenten europäischen ökologischen Netzes besonderer Schutzgebiete mit der Bezeichnung «Natura 2000». Bestandteil ist die Erhaltung und Entwicklung sogenannter Lebensraumtypen (LRT), die auch unterschiedliche Habitats der Moore und Moorwälder beinhalten. Damit bekommt der nationale und auch regionale Moorschutz neue Impulse und wird im europäischen Rahmen verbindlicher.

Aus den gemeldeten FFH-Gebieten (SCI) ergibt sich häufig ein beträchtlich höherer Flächenumfang als in den bestehenden Schutzgebieten nach bisherigem nationalen Recht. Das schließt ein, dass auch für weniger gut erhaltene oder gar zerstörte Moor- und Moorwald- Lebensräume Erhaltungs- und Entwicklungsziele definiert werden. Nach Anhang 3 der Richtlinie soll auch die «Wiederherstellungsmöglichkeit» der Lebensräume beurteilt werden. Aus diesen Gründen fordern WOLEJKO *et al.* (2005) «gründliche Erhebungen» und «(hydro-) ökologische Untersuchungen». Dabei bedarf es einer wissenschaftlichen Strategie der Zielfindung, die hydrologisches, moorkundliches und geobotanisches Wissen in sich vereinigt. Solches Wissen wäre in die Ausweisung, Bewertung und das Management von Moor- und Moorwald-Lebensräumen einzubeziehen.

Die Autoren haben im Rahmen von ergänzenden Gutachten zu FFH- Managementplänen im sächsischen Erzgebirge Analyse- und Planungsmethoden weiterentwickelt, die nunmehr für eine überregionale Anwendung zur Diskussion gestellt werden können.

Résumé :

La directive Habitats de l'Union Européenne, stipule dans son article 1, que les facteurs abiotiques des habitats doivent être considérés de la même façon que les facteurs biotiques. En général, ceci n'est pas fait de façon satisfaisante. Pour les tourbières et les forêts tourbeuses, les caractères abiotiques reposent en général sur les propriétés hydrologiques et sur les propriétés de la tourbe en tant que substrat, ainsi que sur les interactions spatiales des habitats dans la tourbière et dans tout le bassin versant, interactions conditionnées par l'hydromorphologie. Les propriétés abiotiques peuvent être appréhendées par une analyse hydromorphologique et hydrogénétique. A cette fin, nous proposons les termes «type d'habitat génétique», «type d'habitat phytosociologique» et «type d'habitat hydromorphologique». De nombreuses études de cas de montagnes métallifères montrent, comment l'évaluation abiotique (hydrologie des tourbières) et biotique (phytosociologie) des habitats peut conduire à une considération différenciée des buts et méthodes de gestion de la directive habitat. Des recommandations générales sont données pour une approche de l'utilisation des données sur le type d'habitat génétique et les propriétés hydromorphologiques générées par la tourbière, en vue de la mise en œuvre de directive Habitats.

Summary :

The EU Habitats directive claims in article 1 an equal consideration of « abiotic and biotic features » of the habitats. Mostly this is done inadequate. For the habitats of mires, bogs and bog woodlands abiotic features include hydrologic and peat-substrate properties of the sites and their spatial interaction in the peatland as well as in the hydrologic catchment. A combined hydromorphological-hydrogenetical analyse of the abiotic features leads to a better knowledge of the development process of mires. Beyond this the potential zoning of vegetation can be predicted. The authors propose the terms «genetic habitat type», «phytocenologic habitat type» and «hydromorphologic habitat type». Examples from the «Erzgebirge» (Ore mountains) illustrate, how the abiotic and biotic valuation of habitats can be used in a more distinguished view to the aims and methods of NATURA 2000 management. The authors give recommendations to include the genetic and hydromorphologic features of mire - and peatland - habitats in the NATURA 2000 procedures.

Schlüsselwörter : NATURA 2000, FFH-Richtlinie, Moore, Moorwälder, Moorhydrologie, Moorstratigraphie, Moor-Lebensräume, Revitalisierung von Mooren und Moorwäldern.

1. Probleme der Definition moor- und moorwaldspezifischer Lebensraumtypen

Im Anhang 1 der FFH-Richtlinie (appendix 1 of the EU-habitat-directive) sind die EU-weit zu schützenden Habitats (Lebensraumtypen = LRT, *habitat types* = HT) genannt, wobei sogenannte prioritäre Lebensräume mit gekennzeichnet sind. Dabei werden einige LRT in manchen Regionen der EU noch einmal unterteilt, so z.B. die Moorwälder 91D0* in einigen Bundesländern Deutschlands. Tabelle 1 zeigt die nach unserer Erfahrung im Erzgebirge (Krušné hory, Ore mountains) vorkommenden Moor- und Moorwald-Lebensraumtypen. In der letzten Zeile sind einige Moor- und Moorwald-LRT genannt, welche (noch) nicht durch die FFH-Richtlinie geschützt sind.

EUROPEAN COMMISSION (2007), SSMYMANEK *et al.* (1998) sowie auch die Kartier- und Bewertungsschlüssel der deutschen Bundesländer (z.B. LfUG 2007a, b) geben für die einzelnen Moor- und Moorwald-LRT detaillierte vegetationskundliche Beschreibungen und floristische Merkmale an. Abiotische Eigenschaften und Strukturen werden meist nur verbal, qualitativ oder halbquantitativ genannt. Während bei der Erfassung und Bewertung der auszuweisenden Lebensräume detaillierte vegetationskundliche Methoden zur Anwendung kommen, entspricht die Erfassung und Bewertung abiotischer Merkmale gewöhnlich nicht dem aktuellen Stand der von der Moorwissenschaft vorgeschlagenen praktischen Methoden (z.B. SUCCOW & JOOSTEN 2001).

Im Gegensatz dazu definiert der Artikel 1 der FFH-Richtlinie den «Natürlichen Lebensraum» als «durch geographische, **abiotische und biotische** Merkmale gekennzeichnete völlig natürliche oder naturnahe terrestrische oder aquatische Gebiete. «Im weiteren ist das «Habitat einer Art» definiert als ein «durch spezifische **abiotische und biotische** Faktoren bestimmter *Lebensraum*, in dem diese Art in einem der Stadien ihres Lebenskreislaufes vorkommt.»

Saure Moore mit <i>Sphagnum</i> (<i>Sphagnum acid bogs</i>)	7110* Lebende Hochmoore	7120 Regenerierbare Hochmoore	7140 Übergangs- und Schwingrasen-Moore	7150 Torfmoor-Schlenken
Moorwälder 91D0* (bog woodland)	91D1* Birken-Moorwälder	91D2* Waldkiefern-Moorwälder (Westerzgebirge)	91D3* Bergkiefern-Moorwälder	91D4* Fichten-Moorwälder
Andere LRT, die auf oder im Moor sein können (other habitats which can be in or on peatlands)	3160 Dystrophe Stillgewässer	9410 Montane bodensaure Fichtenwälder	6410 Pfeifengras-Wiesen	6520 Berg-Mähwiesen
(Noch) nicht in der FFH-RL (mire and peatland habitats which are not protected (yet) by the habitat directive)	Niedermoore ohne Kalkzeiger und ohne <i>Sphagnum</i> (z.B. Großseggenrieder und Schilf) (non-calcerous fens and peatlands without <i>Sphagnum</i>)		Moorwälder ohne <i>Sphagnum</i> (peatland-forests without <i>Sphagnum</i>)	Erlenbruch-Wälder (alder fens)

Tabelle 1: Moorrelevante FFH-Lebensraumtypen mit Bezug zum Erzgebirge.

Demnach ist durch die EU die **gleichberechtigte Betrachtung abiotischer und biotischer Merkmale** der Lebensräume vorgesehen. Abiotische Merkmale von Moorstandorten sind vor allem Eigenschaften der Torfe bzw. Moorböden sowie hydrologische Merkmale. Die qualifizierte Erfassung solcher Eigenschaften fehlt aber in Sachsen sowie vielen anderen Regionen der EU bis auf seltene Ausnahmen in der FFH-Bewertung und -planung. Daraus ergeben sich aus naturschutzfachlicher Sicht folgende Nachteile:

- Die abiotisch bedingten Potenziale von Moorwald- und Moor-Standorten können nicht erkannt werden bzw. werden auch durch die vegetationskundliche Bewertung überschätzt. So werden z.B. häufig Fichten-Moorwälder (LRT 91D4*) auf entwässerten und degradierten Moorstandorten kartiert. Man weiß aber nicht, welcher Moorlebensraum dort natürlich vor den anthropogenen Eingriffen war und was dort regenerierbar ist.
- Räumliche Zusammenhänge zwischen Lebensräumen sowie auch unterschiedlichen Mooren, welche durch fließendes Wasser bedingt sind, können nicht hinreichend beurteilt werden. Räumliche Zusammenhänge werden meist nur aus Sicht des Artenschutzes (Biotopverbund) beurteilt. Dies führt dazu, dass Maßnahmenvor-

schläge meist nur für räumlich begrenzte LRT-Flächen getroffen werden.

- Eine prozessbezogene Betrachtungsweise mit sich ändernden hydrologischen oder klimatischen Bedingungen ist bei alleiniger biotischer Betrachtung nicht möglich.

Die geschilderten Probleme werden in Abbildung 1 veranschaulicht. In einem zu bewertenden Moorkörper werden vegetationskundlich bestimmte FFH-LRT **biotisch** festgestellt. Naturnahe Moorökosysteme existieren im Erzgebirge oft nur noch auf einem Teil des Moorkörpers. Verwendet man hydrogenetische (torfkundliche) oder hydrologische, d.h. **abiotische** Methoden, ergeben sich unter Umständen räumlich abweichende Verteilungsmuster der potenziellen LRT. Biotisch und abiotisch ausgewiesene Lebensräume können im «Überlappungsbereich» auch übereinstimmen. Was bedeutet es, wenn abiotische sowie biotische Betrachtung unterschiedliche Raummuster und Ausprägungseigenschaften der Moor- und Moorwald-Lebensräume festsetzen? Wie ist damit naturschutzfachlich umzugehen? Gibt es eine Methodik, welche biotische und abiotische Betrachtungsweise zusammenführt?

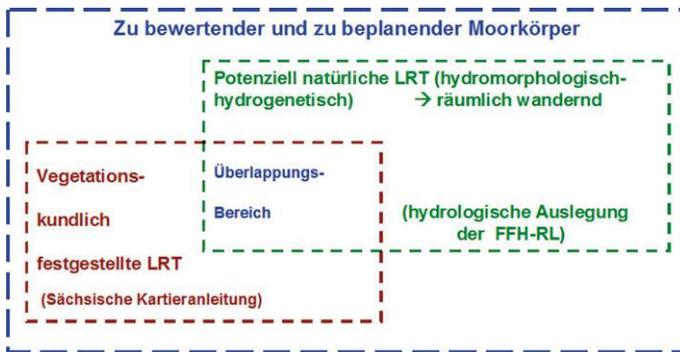


Abb. 1: Mögliche räumliche Unterschiede methodisch unterschiedlich (biotisch bzw. abiotisch) ausgewiesener FFH-Lebensräume.

2. Definition von Betrachtungsräumen sowie präziserer Begriffe für Lebensräume

Um die in Kapitel 3 genannten Probleme zu lösen, muss der Betrachtungsraum räumlich über die biotisch festgestellten Lebensräume hinaus erweitert werden. Es sind zuerst die gesamten (ehemaligen, vorhandenen oder potenziellen) Torfkörper auszuweisen (Blau begrenzter Raum in Abb. 1). Um die aktuelle, ehemalige und potenzielle

Wasserspeisung eines Moores richtig zu beurteilen, sind als nächstes die ober- und unterirdischen hydrologischen Einzugsgebiete der Torfkörper auszuweisen (EDOM, 2001a ; ZINKE & EDOM, 2006). Torfkörper und hydrologische Einzugsgebiete wären der **hydrologisch relevante Mindest-Betrachtungsraum**. Zu einem **erweiterten hydrologischen Betrachtungsraum**, der im späteren Verlauf der Planung auszuweisen ist, gehören außerdem:

- Das Gebiet, das durch Moorentwicklung, Moorregeneration bzw. Wiedervernässung hydrologisch beeinflusst wird, z.B. durch Anstieg des Grundwasserspiegels in einem relevanten Bereich.
- Das Gebiet, durch welches das Moor bzw. die Moorlebensraumflächen geländeklimatisch beeinflusst werden, festzusetzen als klimatische Schutzzonen (s. EDOM 1999, 2001a, b).

Nun erfolgt die Feststellung und Bewertung der Moor- und Moorwald-Lebensräume anhand biotischer und abiotischer Merkmale (s. Artikel 1 FFH-Richtlinie). Wesentliche abiotische Eigenschaften der Torfkörper und ihrer Vegetation ergeben sich aus den Torfen sowie den hydromorphologischen Eigenschaften. Deswegen schlagen wir vor, **erweiterte Begriffe** zu definieren:

- **gLRT**: (moor-)genetischer (= entwicklungsgeschichtlicher) LRT (*genetic habitat type gHT*) – repräsentiert die **Vergangenheit**: Dies ist der Lebensraumtyp am Standort, der das anthropogen unbeeinflusste **Entwicklungsstadium** des Moores am Ort repräsentiert. Der gLRT ist zu ermitteln anhand der oberflächennahen Torfe bzw. der Torfe unterhalb der degradierten Bodenhorizonte.
- **vLRT**: vegetationskundlicher LRT (*phytocenological habitat type vHT*) – repräsentiert die **Gegenwart**: Dies ist der nach vegetationskundlichen Kriterien ausgewiesene Lebensraum, der meist nach landestypischen Kartier- und Bewertungsschlüsseln, z.B. im Bundesland Sachsen nach LfUG (2007a, b) festgelegt wird.
- **hLRT**: hydromorphologischer (potenzieller) LRT (*hydromorphological (potential) habitat type hHT*) – repräsentiert die **Zukunft** (nach einer Moorregeneration): Dies sind die aus einer hydromorphologischen Analyse und Modellierung abzuleitenden **Entwicklungspotenziale** (EDOM & GOLUBCOV, 1996a, b ; EDOM, 2001a ; ZINKE & EDOM, 2006 ; EDOM *et al.*, 2007a, b, c).

Die abiotischen Begriffe gLRT und hLRT sollen im folgenden näher veranschaulicht werden.

3. Methodik und Fallbeispiele gLRT

In der Moorkunde ist es üblich, Moorkörper durch stratigraphische Schnitte darzustellen, die anhand von Bohrungen interpoliert werden (s. z.B. OVERBECK 1975, SUCCOW 1988, KUZMIN 1993, SUCCOW & JOOSTEN 2001). Durch Analyse der floristischen Zusammensetzung der Torfe genügender Schichtmächtigkeit lassen sich Rückschlüsse über die ehemals torfbildenden Pflanzengesellschaften ziehen. So lassen sich z.B. Wollgras- und die meisten Torfmoos-Torfe als (ehemaliger) gLRT 7110*, Feinseggen- und Seggen-Torfmoos- sowie auch einige Laubmoos-Torfe (*Drepanocladus*, *Calliergon*) als gLRT 7140 charakterisieren. Reste von Moorgehölzen in den Torfen geben Hinweise auf das ehemalige Vorkommen der gLRT 91D1*, 91D2*, 91D3* sowie 91D4*.

Abbildung 2 zeigt einen Profilschnitt (EDOM & WENDEL, 1998 ; SUCCOW & EDOM, 2001) eines soli-ombrogenen Moores (Hang-Regenmoor) des mittleren Erzgebirges. Zu den Torfarten der einzelnen Schichten wurden die gLRT zugeordnet, außerdem die an der heutigen Vegetation kartierten vLRT. Unmittelbar unter der Mooroberfläche befindet sich häufig eine degradierte Torfschicht, welche durch den Einfluss anthropogen bedingter Austrocknung entstanden ist. Darunter befinden sich in den meisten Fällen *Sphagnum*- und *Eriophorum*-Torfe (gLRT 7110*) sowie in Teilabschnitten *Sphagnum-Carex*- und *Eriophorum-Carex*-Torfe (gLRT 7140). Folglich ist das Moor im Bereich des Profilschnittes vor der anthropogenen Einflussnahme hauptsächlich lebendes Hochmoor (7110*) und teilweise Zwischenmoor (7140) gewesen. Heute ist aber der vLRT 7110* (gehölzfreies, lebendes Hochmoor) nur noch auf einer kleinen Fläche vertreten, während die meisten Standorte vLRT 91D3* (Latschen- und Spirken-Moorwälder) sowie 91D4* (Fichten-Moorwälder) sind.

Zum anderen ist die jahrtausendelange standörtliche Entwicklungsgeschichte abzulesen, die anhand der Torfarten und der gLRT zu rekonstruieren ist. Dabei ist zu erkennen, dass das Moor in den zentralen Bereichen dieses Profilschnittes eine andere Entwicklung als in den Randbereichen nahm. Die «klassische» Entwicklung von *Carex*-Torfen über *Carex-Sphagnum*-Torfe (7140) zu *Sphagnum-Eriophorum*-Torfen (7110*) unterschiedlicher Zusammensetzung ist im Moorzentrum sichtbar. Etwa 400 m vom linken Profilrand ist eine interessante, eher «unregelmäßige» Entwicklung zu verfolgen. Nach *Carex-Phragmites*-Torfen (kein LRT) folgt eine (standörtlich) mehr trockene Phase mit (nicht eindeutig zuordbaren) Kiefern-Resten (91D2* oder 91D3*), gefolgt von einer Phase mit *Sphagnum*-Torfen (7110*) und dann erst einer

Zwischenmoor-Phase mit *Carex*-Torfen (7140). Vermutlich hat dort das Zusammenwachsen zweier ombrotropher Moorkerne (7110*) einen schnellen Wasseranstieg mit Zwischenmoor-Vegetation (7140) ausgelöst. Dementsprechend müssen FFH-relevante Bewertungsverfahren solche «unregelmäßigen» Entwicklungspfade innerhalb eines dynamischen Gesamtkonzeptes beinhalten.

Am deutlich niederschlagsreicheren Kamm des West-Erzgebirges verlief die Moorentwicklung undifferenzierter (Abb. 3). Es überwiegen über den gesamten Profilschnitt bis zum Beginn der anthropogen bedingten Austrocknung (degradierter Moorboden) *Sphagnum*-Torfe (gLRT 7110*) mit unterschiedlich starken Beimischungen von *Eriophorum* (Trockenphasen) bzw. *Scheuchzeria* (Naßphasen). In dem heute als «noch naturnah» geltenden Teil der Großen Säure dominieren heute Moorkiefern-Gehölze (vLRT 91D3*), die aber schon stark durch Fichten-Jungwuchs (vLRT 91D4*) durchdrungen werden.

Beide Profile (Abb. 2 und 3) machen deutlich, dass die heute vorgefundenen Lebensräume vLRT nicht mit denen des ursprünglichen Moores (gLRT) übereinstimmen müssen, wenn es zwischenzeitlich zu anthropogen verursachten Eingriffen kam. Nun ergibt sich die Frage, welche Lebensräume Schutzziel der FFH-Richtlinie sind: Die ursprünglichen, genetisch bedingten gLRT oder die gegenwärtig vorhandenen vLRT?

Doch bevor diese Frage beantwortet wird, muss kurz der massivere Eingriff in den Torfkörper durch Torfabbau erwähnt werden. Durch Abtragen von Torfschichten gelangten Torfschichten an oder nahe an die Oberfläche, welche schon einige Jahrtausende alt sind. Die Senkenlage vieler dieser Abbauflächen bedingt aber oft, dass sich dort besonders nasse Bedingungen ausbilden und Pflanzengesellschaften ansiedeln, die den seltenen geschützten FFH-Lebensräumen entsprechen. Dabei kann, etwa durch das Anschneiden einer hydro-geochemisch anderen Schicht oder einer besonders wasserleitenden Schicht, eine trophisch andere Situation herbeigeführt worden sein. Gemäß dem methodisch orientierten Hinweis in der Definition der gLRT in Kapitel 3 wäre auch hier die unterliegende Torfschicht, auf die letztlich abgetorft wurde, heranzuziehen. Ein Beispiel zeigt Abbildung 4: Das Gebiet wurde bis auf den Südwesten und den Norden, wo sich noch mächtige Resttorfkörper befinden, abgetorft. Der östliche und zentrale Teil weist nur noch geringe Torfmächtigkeiten auf. Deswegen wurden *Eriophorum*-, *Sphagnum*- und *Scheuchzeria*-Torfe als reine Hochmoortorfe (gLRT 7110*) nur noch wenig gefunden. Der Bereich, der die ombrotrophe Entwicklungsphase erreicht hatte, wurde überwiegend abgetorft. Oberflächennah über-

wiegen Zwischenmoor-Torfe (7140) und holzhaltige Bildungen (91D0*), wobei sich innerhalb einer Strömungsrinne Birkenreste (91D1*) fanden. Damit repräsentieren die gLRT in abgetorften Bereichen genetisch frühere Phasen der Moorentwicklung.

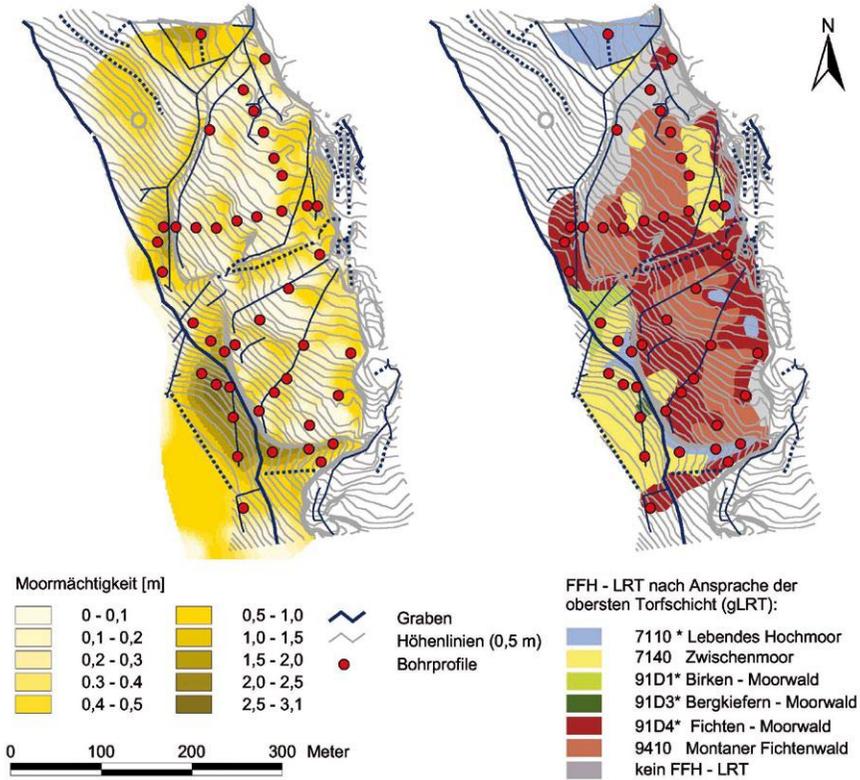


Abb. 4 : Moormächtigkeiten und gLRT der Große-Brauckmann-Haide (West-Erzgebirge). Die roten Punkte sind die Bohrungen, an denen auch der gLRT angesprochen wurde.

4. Methodik und Fallbeispiele hLRT

Durch anthropogene Eingriffe, vor allem durch Torfabbau und entwässerungsbedingten Höhenverlust, wurde häufig eine Reliefveränderung des Moorkörpers verursacht. Das führt auch bei Wiedervernässung und Regeneration des Moores dazu, dass gegenüber dem ursprünglichen Moor die Wasser- und Nährstoffströme anders räumlich verteilt sind. Deswegen wird zur Abschätzung der hLRT zunächst eine hydromorphologische Analyse (EDOM et al. 2007a, b c) durchgeführt. Dabei werden für den Fall, dass alle Ent-

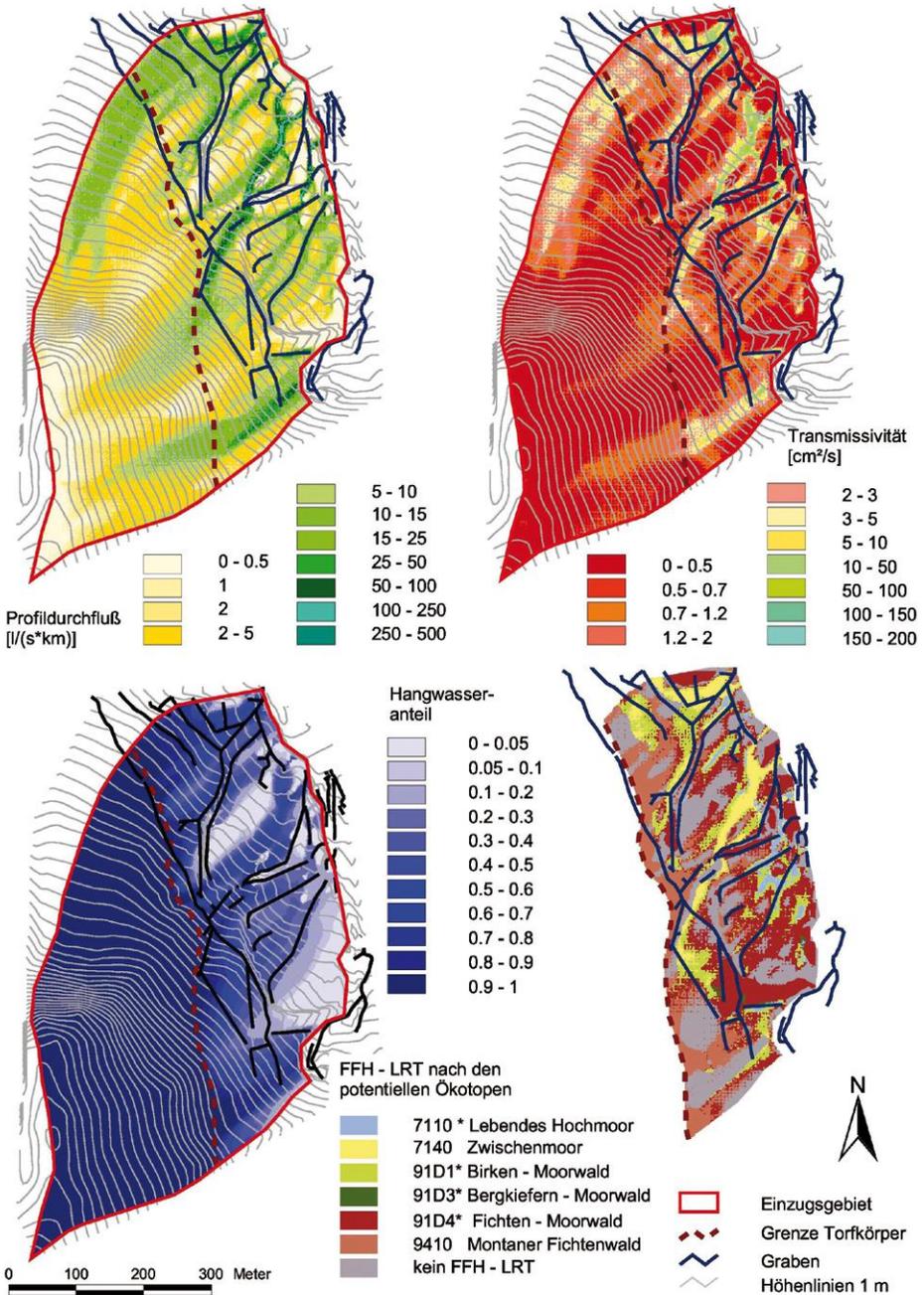


Abb. 5 : Spezifische Profildurchflüsse, potenzielle Transmissivitäten und trophisch wirksame Hangwasseranteile der Große-Brauckmann-Haide (West-Erzgebirge).

wässerungsgräben beseitigt sind, der spezifische Profildurchfluss (*specific profil-flow*), die potenzielle und durchströmte Transmissivität (*potential transmissivity*) sowie der trophisch wirksame Hangwasseranteil (*minerotrophy-quotient*) als langjährig mittlere Werte und flächendifferenziert berechnet. Dabei zeigt sich z.B. in der oben schon genannten Große-Brauckmann-Haide (Abb. 5), dass entsprechend des heute vorliegenden Reliefs eine Konzentration der Profildurchflüsse in «Strömungsrinnen» stattfindet und durch die weitgehende Abtorfung die ombrotrophen Bereiche (weiß und hellblau) räumlich stark begrenzt sind. Dabei ist zu beachten, dass die berechneten Karten sowie die daraus abgeleiteten hLRT nur unter der Voraussetzung hydrologischer Durchgängigkeit im Moor und gesamten hydrologischen Einzugsgebiet gelten.

Für die Ableitung resultierender Ökotoptypen, die ein standörtlich mögliches Spektrum an Vegetationstypen ergeben, wurde eine Matrix aus Klassen der Torfmächtigkeit, der Transmissivität und der trophisch wirksamen Hangwasseranteile erstellt. Grundlage sind eine Parallelisierung russischer und erzgebirgischer Vegetationstypen (IVANOV, 1975 ; EDOM & GOLUBCOV, 1996a, b ; EDOM, 2001a ; ZINKE & EDOM, 2006), Ökogramme und Sukzessionsschemata (KÄSTNER & FLÖSSNER 1933 ; SUCCOW, 1988) sowie die kontinuierliche Rücksprache mit geobotanischen Erfahrungsträgern (EDOM & WENDEL, 1998). Es ergeben sich Karten der potentiellen Ökotopezonierung von regenerierten Mooren unter aktuellen Relief- und Wasserhaushaltsbedingungen, die zu **Karten der hydromorphologisch potenziellen Lebensraumtypen** (hLRT) zusammengefasst werden können. Diese prognostische LRT-Zonierung zeigt die Entwicklungsrichtung der Sukzession regenerierender Moore bzw. im Falle zu planender Naturschutzmaßnahmen ein realistisch anzustrebendes (und nicht durch Wunschvorstellungen überzogenes) **Leitbild**.

So zeigt sich am Beispiel der schon vorn betrachteten Große-Brauckmann-Haide (Abb. 5, unten rechts) im Vergleich zu den in Abb. 4 (rechts) dargestellten gLRT: Aufgrund des anthropogen veränderten Reliefs ist nicht das ursprüngliche und auch nicht das den gLRT entsprechende Moor regenerierbar. So ist z.B. das ehemalige Hochmoor im Norden (gLRT 7110*) zu stark aufgewölbt, wodurch das Potenzial nur noch zu Fichten-Moorwäldern (hLRT 91D4*) reicht. Das Hauptpotenzial gehölzfreier Moore liegt in nassen Rinnen und Säumen, die zum Zwischenmoor (7140) entwickelbar sind. Vereinzelt sind inselartige (und zum Teil heute schon erkennbare) Hochmoor-Initialen (7110*) möglich, die teilweise von Birken-Beständen (91D1*) gesäumt werden. Die Sukzession muss mit dem vorerst dominanten Zwischenmoor-Stadium von neuem beginnen, ehe erst nach längeren Entwicklungsprozessen großflächige Hochmoore

wieder möglich sein werden. Sowohl gehölzfreie Zwischenmoore als auch Moorwald-Lebensräume sind damit unumgängliche Stadien der weiteren Moorentwicklung.

5. Vergleich gLRT, vLRT, hLRT : Fallbeispiele

Abbildung 6 zeigt links die durch K. LANDGRAF kartierten vLRT für das soliombrogene Moor Kriegswiese, rechts für dasselbe Moor die von ZINKE & EDOM (2006) berechneten hLRT. Bemerkenswert sind die durchaus ähnlichen Muster, die sich teilweise auch durch Ungenauigkeit der Kartierung oder Berechnung, z.B. aufgrund der begrenzten Auflösung der Geländevermessung, erklären lassen. Bemerkenswert ist auch die Kartierung des vLRT 7120 (regenerierbares Hochmoor, rosa) etwa an der Stelle, wo ein hLRT 7110* (blau) berechnet wurde. Die Auflichtung der derzeit dort stockenden Moorkiefern-Gehölze ist im Gelände bereits erkennbar. Der Hauptteil der Bergkiefern-Moorwälder (vLRT 91D3*) wird als weitgehend stabil eingeschätzt, die Moorregeneration gilt als weitgehend fortgeschritten (ZINKE & EDOM 2006). Offenbar ist es so, dass **bei weitgehend abgeschlossener Moorregeneration sowie bei gänzlich natürlichen Mooren die vLRT und hLRT übereinstimmen.**

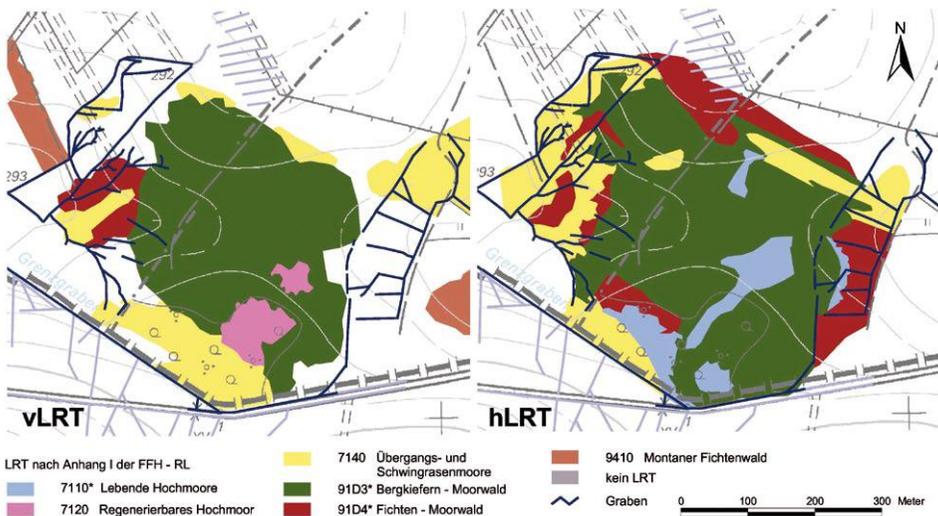


Abb. 6 : Vergleich von vLRT und hLRT für die Kriegswiese (Mittleres Erzgebirge).

Im Falle des Moores Meierhaide (Abb. 7) gibt es offenbar überhaupt keine Übereinstimmung zwischen vLRT und hLRT. Die gegenwärtig vorhandenen Birkenbestände (vLRT 91D1*), kartiert durch T. GLASER, sind größtenteils instabil und es finden sich im Jungwuchs bereits Fichten, was als hLRT 91D4* auch berechnet wurde. Was durch die Vegetationskartierung

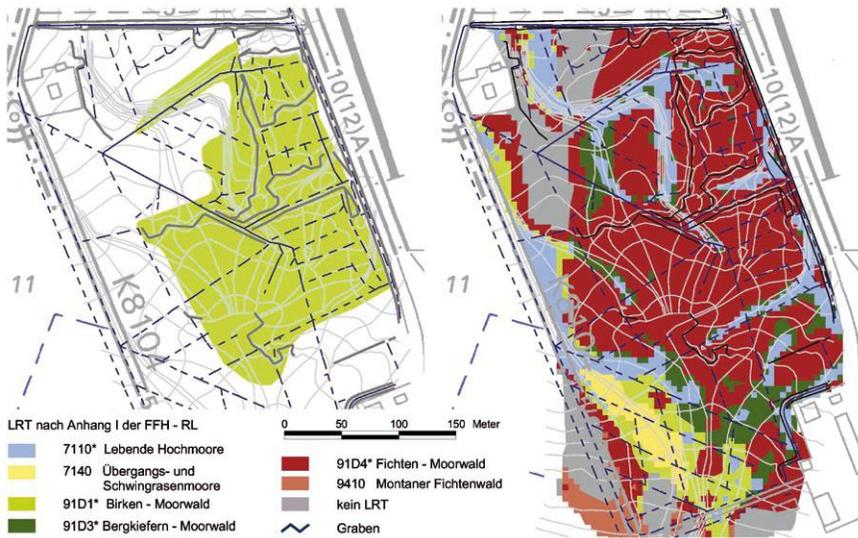


Abb. 7: Vergleich von vLRT (links) und hLRT (rechts) für die Meierhaide (Mittleres Erzgebirge).

nicht erkannt wird, ist das Potenzial zu kleinflächig lebenden Hochmooren (hLRT 7110*) in den Rinnen und Senken, die ehemalige Handtorfstiche darstellen. Im weiteren wurde nicht erkannt das großflächige Potenzial zu offenen Hoch- und Zwischenmooren sowie Birken-Moorwäldern (hLRT 7110*, 7140, 91D1*) im Südteil des Gebietes. Während die im Nordteil kartierten Birken-Moorwälder (91D1*) hydrologisch instabil sind, können diese im Südteil stabil entwickelt werden. Dieses Beispiel zeigt, dass naturschutzfachlich eine vegetationskundliche Kartierung und Bewertung von vLRT nicht ausreichend sein muss und ohne Beachtung abiotischer Grundlagen sogar in die Irre führen kann.

Das bisher einzige uns vorliegende Beispiel, in dem gLRT, vLRT und hLRT in einem Objekt ermittelt wurden, ist die Große Säure im West-Erzgebirge (Abb. 8). Dabei wurden die gLRT nur für den östlichen Teil des Moores ermittelt. Es ist folgendes erkennbar:

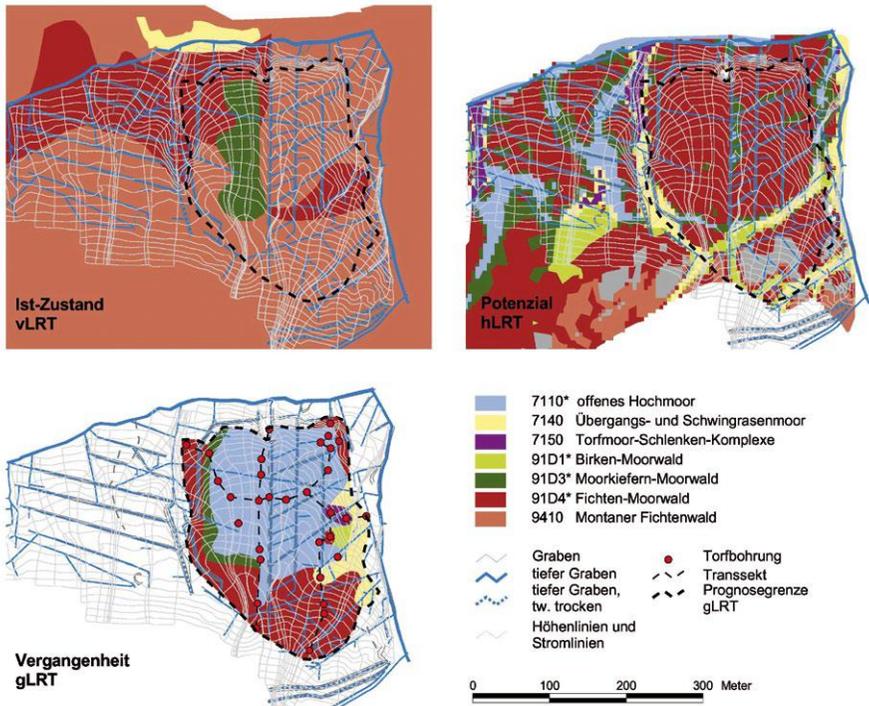


Abb. 8 : Vergleich von gLRT, vLRT und hLRT für die Große Säure (West-Erzgebirge).

- Die **gLRT** zeigen eine **klassische Zonierung**, wie sie aus dem Erzgebirge bekannt ist (KÄSTNER & FLÖSSNER, 1933). Das «lebende Hochmoor» (7110*) war relativ groß und wurde von Bergkiefern- und Fichten-Moorwäldern (91D3*, 91D4*) gesäumt. Strukturell gab es auch mesotrophe Bereiche (7140) zum Teil mit Birken (91D1*) sowie besonders nasse Bereiche mit *Scheuchzeria* (7110*, 7150).
- Die aktuell vorhandenen **vLRT**, von RENTSCH & ZITZEWITZ (2005) im Rahmen eines «üblichen» FFH-Managementplanes ermittelt, **stimmen** bis auf Teile der Fichten-Moorwälder (91D4*) überhaupt **nicht** mit den ursprünglichen Lebensräumen (gLRT) **überein**. Die Fichten-Moorwälder (91D4*) sowie montanen Fichtenwälder (9410) befinden sich vor allem aufgrund des dichten Entwässerungsgraben-Netzes auf den Torfstandorten. Als naturnähester Teil gelten die Bergkiefern-Moorwälder (91D3*), welche - wie in Abb. 3 bereits gezeigt - von *Sphagnen*-Torfen (gLRT 7110*) unterlagert werden.

- Die langjährige Moorentwässerung hat durch seine differenzierten Schrumpfungsprozesse zu einer verstärkten Aufwölbung des Moorkörpers im Ostteil geführt. Deswegen wird auch durch Moorregeneration die ursprüngliche Zonierung (gLRT) nicht wieder entstehen. Die hLRT zeigen, dass das Entwicklungspotenzial in markanten Rinnen und weniger aufgewölbten Flächen liegt, wo auch lebende Hochmoore (7110*), Zwischenmoore (7140) sowie die besonders nassen *Scheuchzeria*-Ökotope (violett, 7110* bzw. 7150) regenerierbar sind. Damit wäre die im Erzgebirge fast ausgestorbene Art *Scheuchzeria palustris* aus hydrologischen Gründen auf Flächen, welche mit dieser Methodik auszuweisen sind, prinzipiell zu stabilisieren. Der Vergleich von hLRT und vLRT zeigt, dass es auch beim Verschluss aller Entwässerungsgräben sowohl Flächen gibt, die gegenüber dem heutigen Zustand weiter austrocknen (91D3* zu 91D4*), als auch Flächen, die nasser werden.

Diese differenzierten Fallbeispiele zeigen, dass für ein qualifiziertes FFH-Management eine gekoppelte abiotische und biotische Betrachtung sinnvoll ist.

6. Szenarien der hLRT-Entwicklung

Wenn sich die hLRT als realistisch erscheinende Perspektive berechnen lassen, so muss auch die Modellierung unterschiedlicher Szenarien möglich sein. Dazu sei das Beispiel der Mothhäuser Haide, eines Moorgebietes aus dem Mittleren Erzgebirge, aufgeführt (Abb. 9). Das als Naturschutzgebiet geschützte Moor wird von einem befestigten Waldweg, der sogenannten «Görkauer Straße» (graue Linie), durchschnitten (EDOM & GOLUBCOV, 1996a, b ; EDOM & WENDEL, 1998). Der Wasserstrom kommt von Süden (unten im Bild). Das links dargestellte Szenario zeigt die hLRT-Zonierung, wenn der Wasserstrom den Weg nicht überqueren kann, ein Teil des Wassers also im zentralen Teil des Moores nicht ankommt. Das rechte Szenario zeigt die völlige hydrologische Durchgängigkeit des Weges, was durch seinen Rückbau zu erreichen wäre.

Das Moor besteht hauptsächlich aus Bergkiefern-Moorwäldern (91D3*, grün) und Fichten-Moorwäldern (91D4*, rot), offene «lebende Hochmoore» (7110*, blau) nehmen nur einen geringen Teil der Fläche ein. Wird die hydrologische Durchgängigkeit hergestellt (Weg-rückbau), nehmen die blau und dunkelblau dargestellten Flächen (7110* mit dunkelblau: wasserreiche Variante) zu, der gehölzfreie Moorkern dehnt sich aus. Außerdem nehmen die Flächen der Fichten-Moorwälder (91D4*) zugunsten der Bergkiefern-Moorwälder (91D3*) ab. Anhand der dargestellten Stromlinien sowie Wirkungslinien (gestrichelte Linien) lässt sich angeben, in welchen Bereichen die Barrierereöffnung am meisten wirkt.

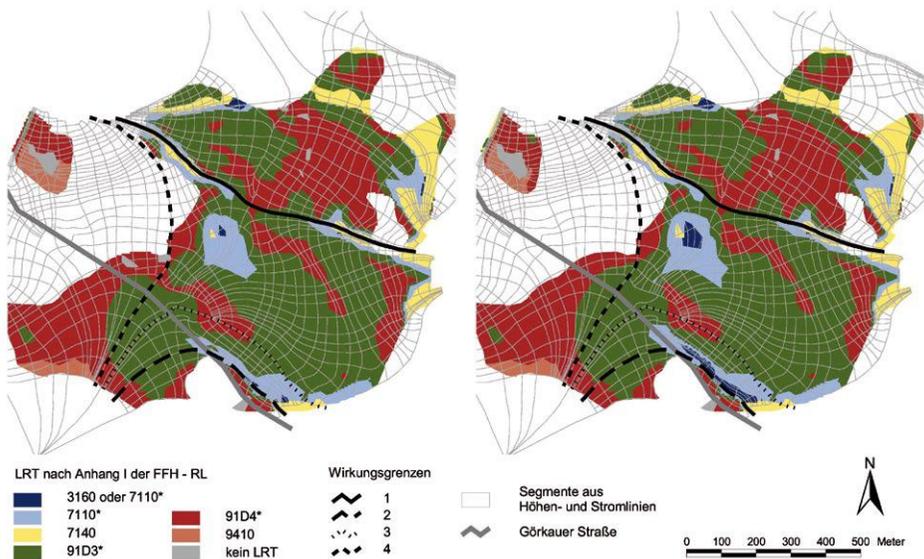


Abb. 9 : Szenarien der hLRT für Barrierewirkung (links) und rückgebaute (rechts) Wegeführung in der Mothhäuser Haide (Mittleres Erzgebirge).

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die **gleichberechtigte Betrachtung abiotischer und biotischer Merkmale** der Lebensräume ist zwar in Artikel 1 der FFH-Richtlinie **gesetzlich gefordert**, wird aber in Sachsen und anderen Regionen der EU oft ungenügend realisiert. Für Moor- und Moorwald-Lebensräume gründen sich diese abiotischen Merkmale vor allem auf **hydrologische und Torfsubstrat-Eigenschaften** der Standorte sowie deren – hydromorphologisch bedingter – **räumlicher Interaktion** im Moor zwischen verschiedenen Standorten sowie im gesamten hydrologischen Einzugsgebiet. Diese Eigenschaften lassen sich mit einer gekoppelten hydromorphologisch-hydrogenetischen Analyse erschließen. Sie müssen dabei regionalspezifisch (biogeographisch) in Beziehung zur Vegetation durch Beschreibung von Ökotopeu gesetzt werden. Dazu schlagen wir die **Begriffe gLRT, vLRT und hLRT** vor.

Die Anwendung dieser Methoden für eine größere Anzahl von Mooren zeigt, dass die meisten (und auch naturnahen) Moore Sachsens in ihrer hydrologischen Durchgängigkeit gestört sind. Werden hydrologisches Einzugsgebiet und Durchgängigkeit

saniert, so ist das **hydromorphologische Entwicklungspotenzial** (hLRT) meist dennoch **gegenüber dem ursprünglichen Moor** (gLRT) **verändert**: Torfabbau oder entwässerungsbedingter Höhenverlust haben zu irreversiblen Reliefänderungen geführt, die auch bei vollständiger Wiedervernässung zu einer anderen Verteilung der Wasser- und Nährstoffströme im Moor führen. Es werden damit oft **andere Räumuster an Lebensräumen** regeneriert als das ursprüngliche Moor aufwies. Gibt es unterschiedliche Sanierungsmöglichkeiten, so können diese durch **Szenarien** (= Modellierung der hLRT) abgewogen werden. Es konnte gezeigt werden, dass ein **Verzicht auf die Betrachtung der abiotischen Faktoren** Hydrogenese (Torfschichtung) und Hydromorphologie (inklusive Wasserhaushalt und Wasserbilanz) **zu falschen Zielvorstellungen** oder zu unpassenden Managementoptionen für die FFH-Lebensräume der Moore und Moorwälder führen kann.

Die EU-Kommission sowie die Mitgliedsstaaten sollten die **FFH-Richtlinie durch Bestimmungen ergänzen**, die abiotische Faktoren der FFH-Richtlinie adäquat berücksichtigen. Im Bundesland Sachsen und anderen Regionen der Europäischen Union sollte dort, wo noch nicht erfolgt, die abiotische Betrachtung der Moor- und Moorwald-Lebensräume nachgeholt werden. Dazu ist eine Forschung zu organisieren, welche in unterschiedlichen biogeographischen Regionen abiotische Parameter für die unterschiedlichsten Ökotope bereitstellt. Wissenschaftsökonomisch lässt sich diese **Parameterforschung** mit aktuellen Untersuchungen zur Rolle der Moore im Wasser-, Stoff- (auch klimarelevante Gase) und Energiehaushalt der Landschaften kombinieren. Dabei sind auch weitgehend **natürliche und ungestörte Moore einzubeziehen**, da nur dort die zu schützenden Habitate in ihrer vollen Funktionalität studiert werden können.

Weiterhin gibt es eine Reihe von Moor- und Moorwald-Lebensräumen, die nicht unter den Schutz der FFH-Richtlinie fallen (Tab. 1). Sowohl aus Gründen des Schutzes der Biodiversität als auch des Gewässer- und Klimaschutzes sollten die EU-Kommission den Schutz weiterer Moor- und Moorwald-Lebensräume in der FFH-Richtlinie verankern.

Danksagung

Für die Finanzierung der Untersuchungen danken wir dem ehemaligen Regierungspräsidium Chemnitz (heute Landesdirektion Chemnitz) sowie dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Katrin LANDGRAF (Dresden) sowie Thomas GLASER (Burkau) danken wir für die Kartierung der Vegetation sowie der sich daraus ergebenden vLRT in der Kriegswiese und der Meierhaide. Für die Mitwirkung bei den Torfbohrungen, der Torfansprache sowie der Erstellung von Profilschnitten in der Großen Säure und der Große-Brauckmann-Haide danken wir Dr. Heike STEGMANN (Schwerin), Dr. Dierk MICHAELIS (Greifswald), Marlen SCHLÖFFEL (Berlin) sowie Steffen KLUPSCH (Jena). Dirk WENDEL (Tharandt) beriet uns immer wieder in vegetationskundlichen Fragen und diskutierte sowie verbesserte oftmals mit uns zusammen unsere Ökoto- und LRT-Zuordnung zu den abiotischen Parametern.

Literatur

EDOM F. 1999. Notwendigkeit des Schutzes und Gefährdungspotentiale für waldumgebene Kleinmoore aus hydrologischer und moorkundlicher Sicht. *In* : Veröf. des Museums der Westlausitz Kamenz, Tagungsband : Waldmoore und Moorwälder in der Radeburger und Laußnitzer Heide : 83-94.

EDOM F. 2001a. Moorlandschaften aus hydrologischer Sicht. Kap. 5 *In* : SUCCOW M. & JOOSTEN H. 2001. Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Aufl., Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung : 185-228.

EDOM F. 2001b. Revitalisierung von Regenmooren an ihrer klimatischen Arealgrenze. Kap. 9.3.8 *In* : SUCCOW M. & JOOSTEN H. 2001. Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Aufl., Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung : 534-543.

EDOM F. & GOLUBCOV A.A. 1996a. Prognose einer potenziell-natürlichen Ökotozonierung für Mittelgebirgsregenmoore durch Berechnung hydrologischer Parameter. *IHI-Schriften 2 Zittau* : 103-111.

EDOM F. & GOLUBCOV A.A. 1996b. Zum Zusammenhang von Akrotelmeigenschaften und einer potenziell natürlichen Ökotozonierung in Mittelgebirgsregenmooren. *Verh. Ges. Ökol.* 26 : 221-228.

EDOM F. & WENDEL D. 1998. Grundlagen zu Schutzkonzepten für Hang-Regenmoore des Erzgebirges. *In* : Ökologie und Schutz der Hochmoore im Erzgebirge. *Sächsische Landesstiftung Natur und Umwelt, Dresden* : 32-77.

EDOM F., DITTRICH I., GOLDACKER S. & KESSLER K. 2007a. Die hydromorphologisch begründete Planung der Moorrevitalisierung im Erzgebirge. *In* : Praktischer Moorschutz im Naturpark Erzgebirge / Vogtland und Beispiele aus anderen Gebirgsregionen. *Sächsische Landesstiftung Natur und Umwelt, Grillenburg* : 19-32.

EDOM F., DITTRICH I., KESSLER K., GOLDACKER S., WAGNER M. & GOLUBCOV A.A. 2007b. Ökohydrologische Modellbildung auf der Grundlage von IVANOV's hydromorphologischer Theorie und Anwendungen im praktischen Naturschutz. *Dresdener Schriften zur Hydrologie* 5 : 90-98.

EDOM F.; GOLUBCOV A. A.; DITTRICH I.; ZINKE P. & SOLBRIG B. 2007c. Using IVANOV's hydromorphological theory in mire-ecology – an introduction. *In*: Wetlands : Monitoring, Modelling, Management. Taylor & Francis, London: 239-247.

EUROPEAN COMMISSION. 2007. Interpretation manual of European Union Habitats (EUR 27). European Commission, DG Environment, July 2007, 142 pp.

FFH-Richtlinie – Richtlinie 92/43 EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wild lebenden Tiere und Pflanzen (Council directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora).

IVANOV K. E. 1975. Vodoobmen v bolotnych landsaftach (Wasseraustausch in Moorlandschaften). Leningrad. 280 pp.

KÄSTNER M. & FLÖßNER W. 1933. Die Pflanzengesellschaften des westsächsischen Berg- und Hügellandes, 2. Teil: Die Pflanzengesellschaften der erzgebirgischen Moore. Dresden. 203 pp.

KUZ'MIN G.F.1993. Bolota i ich ispol'zovanie. (Moore und ihre Nutzung). Vsesojuznyj naučno-issledovatel'skij institut torfjanoj promyšlennosti. Sb. naučnyh trudov 70, St. Peterburg. 139 pp.

LfUG (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie 2007a): Kartier- und Bewertungsschlüssel für Wald-Lebensraumtypen des Anhanges I der Richtlinie 92/43/EWG (FFH-Richtlinie). März 2007.

LfUG (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie 2007b): Kartier- und Bewertungsschlüssel für Offenland-Lebensraumtypen des Anhanges I der Richt-

- linie 92/43/EWG (FFH-Richtlinie). Teil II (Gewässer & Moore). März 2007.
- OVERBECK F. 1975. Botanisch-geologische Moorkunde. Wachholtz-Verlag Münster. 720 pp.
- RENTSCH M. & ZITZEWITZ J. v. 2005. Managementplan SCI 16E «Erzgebirgskamm am Großen Kranichsee». Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Bürogemeinschaft für Forst- und Umweltplanung, Dresden.
- SSYMANK A., HAUKE U., RÜCKRIEM C., SCHRÖDER E. & MESSER D. 1998. Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz* 53 : 558 pp.
- SUCCOW M. 1988. Landschaftsökologische Moorkunde. Gustav Fischer Verlag Jena. 340 pp.
- SUCCOW M. & JOOSTEN H. 2001. Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Aufl., Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 622 pp.
- SUCCOW M. & EDOM F. 2001. Regenmoore (Genese). Kap. 7.8. *In* SUCCOW M. & JOOSTEN H. 2001. Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Aufl., Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung : 391-398.
- WOLEJKO L., HERBICHOWA M. & POTOCKA J. 2005. Typological differentiation and status of Natura 2000 mire habitats in Poland. *In* : STEINER G.M. (ed.). Moore von Sibirien bis Feuerland (Mires from Siberia to Tierra del Fuego). *Stapfia* 85: 175-219.
- ZINKE P. & EDOM F. 2006. Hydraulische und hydrologische Erklärung von Ökotoptstrukturen am Regenmoor Kriegswiese im mittleren Erzgebirge. *Arch. Naturschutz Landschaftsforsch.* 45 (2) : 43–60.

Sédimentation tardiglaciaire dans le Marais de la Maxe et le lac de Sewen (massif des Vosges, France) - premiers résultats -

Anne-Véronique WALTER-SIMONNET¹, Gilles BOSSUET¹, Jean-Pierre SIMONNET¹, Anne-Lise DEVELLE², Carole BÉGEOT¹, Pascale RUFFALDI¹, Bruno RÉGENT¹ & Chantal WACKENHEIM¹

1. UMR CNRS 6249 Chrono-Environnement, Université de Franche-Comté,
16 route de Gray, F-25032 BESANCON CEDEX

2. CEREGE, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, 13545 AIX-EN-PROVENCE

Résumé :

Dans le cadre de l'étude de l'enregistrement des variations du climat ayant régné en Europe de l'Ouest durant les 20 000 dernières années, la sédimentation tardiglaciaire enregistrée dans le Marais de la Maxe et le lac de Sewen a été analysée. Depuis le Dryas Ancien et jusqu'au début du Préboréal, la dynamique de sédimentation y est globalement la même, avec des apports allochtones fins et très magnétiques lors du Dryas Ancien, du Dryas Récent et des divers brefs coups de froid intervenus durant le Bølling-Allerød, période caractérisée par une sédimentation de particules autochtones provenant certainement de l'érosion du bassin versant. Le refroidissement du Dryas Récent y est instable, provoquant une sédimentation alternant dépôts de particules allochtones et érosion des roches du bassin versant. Par ailleurs, nos données permettent de compléter les informations relatives à l'extension géographique des bordures ouest des nuages de dispersion méridionaux du Laacher See Tephra et du Vedde Ash, téphras déjà observés dans d'autres remplissages lacustres de l'Europe de l'Ouest et du Nord. Elles soulignent leur importance pour les études paléo-environnementales dans cette partie de l'Europe puisqu'ils encadrent la limite Allerød – Dryas récent et permettent, pour cet intervalle de temps, de pallier à l'absence de données radiochronologiques.

Zusammenfassung :

Im Rahmen einer Studie zur Erfassung des Klimawandels in Westeuropa in den letzten 20.000 Jahren wurde im Moor der Maxe und dem Sewen-See die tardiglaziale (späteiszeitliche) Ablagerung analysiert. Seit der Älteren Dryaszeit bis zum Beginn des Präboreals ist die Sedimentationsdynamik größtenteils gleich geblieben, nämlich mit allochthonen, feinen und sehr magnetischen Stoffen in der Älteren, Jüngeren Dryas und den verschiedenen kurzen Kältewellen während des Bølling-Allerød - einer durch

die Sedimentation von autochthonen Teilchen charakterisierten Periode, die sicherlich durch Verwitterung der Gesteine des Einzugesbietes entstanden sind. Die Abkühlung in der Jüngerer Dryas ist instabil und bewirkt, abwechselnd mit den Verwitterungsstoffen der Gesteine des Einzugesbietes, eine Sedimentation von allochthonen Stoffen. Außerdem erlauben die Ergebnisse, die Kenntnis über die geographische Ausbreitung der westlichen Ränder der südlichen Dispersionswolke der Laacher See Tephra und der Vedde Asche zu ergänzen. Solche Tephra wurden schon in anderen lakustren Sedimenten in West- und Nordeuropa beobachtet. Sie unterstreichen ihre große Bedeutung für die Untersuchungen der Paläo-Umwelt in diesem Teil Europas, da sie die Grenze von Allerød zu Jüngerer Dryas näher bestimmen und für diesen Zeitabschnitt erlauben, die fehlenden radiochronologischen Angaben zu kompensieren.

Summary :

Within the framework of the study involving the recording of the climate variations which have prevailed in Western Europe during the last 20,000 years, an analysis has been made of the late glacial sedimentation found in the mire of La Maxe and the lake of Sewen. From the Ancient Dryas period and up to the start of the Preboreal, the dynamics of sedimentation are largely the same, with fine and highly magnetic allochthonic fractions during the Oldest Dryas, the Younger Dryas, and the various brief cold periods occurring during the Bølling-Allerød, a period characterised by a sedimentation of autochthonous particles, definitely proving the erosion of the hillside basin. The cooling of the Recent Dryas is unstable in this context, incurring sedimentation with alternating deposits of allochthonic particles and erosion of the rocks of the hillside basin. As well as this, our data allows us to complete the information relating to the geographical extent of the edges west of the meridian dispersion clouds from the Laacher See Tephra and Vedde Ash, tephra which have already been observed in other lake fillings in Western and Northern Europe. Their importance in paleo-environmental studies in this part of Europe is further emphasised since they encompass the Allerød – recent Dryas limit, and allow the absence of radio-chronological data for this interval of time to be somewhat alleviated.

Mots-clés : Tardiglaciaire - sédiments - lac - tourbière - téphras

Introduction

Les sédiments lacustres, composés d'apports allochtones et autochtones, sont directement liés aux conditions climatiques, géologiques et géomorphologiques. Les apports allochtones peuvent être constitués de particules éoliennes ou glaciaires, de produits de l'érosion du bassin versant par ruissellement ou des berges, d'apports par glissement gravitaire, ou de végétaux terrestres. Les matériaux autochtones sont des détritiques organiques, ou des sédiments carbonatés produits par précipitation directe à partir de l'eau du lac, soit par sédimentation biochimique liée aux végétaux littoraux, soit par évaporation.

Le message sédimentaire enregistré dans le fond d'un lac est donc une mémoire des événements qui se sont produits dans son bassin versant mais aussi sur le continent dans son ensemble. A l'échelle locale, les variations de production détritique, biochimique et chimique peuvent faire suite à des modifications intervenant dans le bassin versant (zones mises en érosion, protection de parcelles par végétalisation, ...). Elles peuvent aussi être dues à des modifications du fonctionnement du lac suite à son comblement progressif. A l'échelle continentale, ce sont les changements physico-chimiques de l'atmosphère (température moyenne annuelle, polluants apportés par les aérosols, cendres volcaniques, ...) qui sont enregistrés. Le sédiment lacustre est donc la résultante ultime de toutes les interactions s'exerçant dans et sur le réservoir lui-même.

Sous nos latitudes, de nombreux lacs de moyenne et haute altitude doivent leur existence aux glaciations quaternaires et notamment au dernier retrait glaciaire. Pour beaucoup d'entre eux, le début de la sédimentation remonte donc à environ 15 000 ans et offre un message sédimentaire ayant enregistré les variations climatiques rapides du Tardiglaciaire, le réchauffement de l'Holocène et l'impact de l'installation de l'homme.

Le réchauffement climatique de la planète est à l'origine de nombreuses études visant à fournir des reconstitutions paléoclimatiques et paléo-environnementales de plus en plus fines puisque grâce aux modélisations du climat ancien il sera peut être de possible de comprendre comment évolue le système actuel. De ce point de vue, la période Tardiglaciaire est particulièrement intéressante car elle présente un grand nombre de variations climatiques en un laps de temps très court à l'échelle du Quaternaire. Elle est donc au centre de nombreuses études paléoenvironnementales qui ont pour objectif de caractériser avec précision les événements rapides qui s'y sont produits.

Les nombreuses études paléoenvironnementales menées sur des lacs et tourbières du

Jura et des Alpes ont permis des reconstitutions fines de l'évolution du climat et du paysage durant le Tardiglaciaire débouchant sur la quantification des variations paléoclimatiques intervenues durant cette période (GAILLARD & LEMDAHL, 1994 ; WOHLFARTH *et al.*, 1994 ; AMMANN *et al.*, 2000 ; COOPE & ELIAS, 2000 ; LOTTER *et al.*, 2000 ; MAGNY *et al.*, 2001 ; VANNIÈRE *et al.*, 2004 ; PEYRON *et al.*, 2005 ; MAGNY *et al.*, 2006 ; ORTU *et al.*, 2006).

Le massif vosgien occupe une position géographique intermédiaire entre ces massifs et les plaines où se sont déposés les loess quaternaires (Fossé rhénan, Fagnes Belges, Nord de la France, Pays-Bas, ...) (SOMMÉ, 1990). Pourtant, alors que les témoins d'au moins trois glaciations successives y sont reconnus (KRITTLÉ, 1958 ; TRICART, 1963 ; WOILLARD 1978 ; SERET *et al.*, 1990 ; FLAGEOLLET, 2002 ; ANDREOLI *et al.*, 2006), à l'exception de l'enregistrement de la Grande Pile (WOILLARD, 1978 ; SERET *et al.*, 1990 ; de BEAULIEU & REILLE, 1992) les enregistrements sédimentaires remplissant le fond des lacs et les tourbières du massif vosgien n'ont pour l'instant pas fait l'objet d'études pluridisciplinaires. C'est pourquoi la décision a été prise d'amorcer l'étude de la réponse détritique aux variations climatiques tardiglaciaires dans diverses cuvettes lacustres réparties dans le massif vosgien. Ce travail est en cours dans le cadre de différents programmes pluridisciplinaires menés au sein de l'UMR CNRS 6249 Chrono-Environnement. Nous en présentons ici les premiers résultats.

1. Sites étudiés

Les sites étudiés se répartissent dans le massif des Vosges selon un transect NNE-SSW (figure 1). Les résultats présentés ci-dessous ne concernent que deux d'entre eux, le Marais de la Maxe et le lac de Sewen.

Le lac de Sewen (47°48'42" N, 6°53'50" E) est situé à 500 m d'altitude dans le fond de la vallée glaciaire de Masevaux, au nord de Belfort (Vosges cristallines). Formé après la dernière glaciation, il repose sur un substratum constitué de granite (« granite fondamental ») et de brèches, tufs et roches volcaniques datés du Viséen (THÉOBALD *et al.*, 1973). Il est entouré d'une tourbière et s'insère dans des dépôts glaciaires et fluvioglaciaires du Würm. Son bassin versant topographique couvre environ 8 km².

minérales paramagnétiques (certains oxydes et silicates par exemple). Il est ainsi possible d'estimer l'importance des particules détritiques dans un sédiment (VANNIÈRE *et al.*, 2004 ; WALTER-SIMONNET *et al.*, 2008).

Suite à ces mesures, les sédiments ont été échantillonnés pour les datations radiocarbone, la détection de niveaux de téphras (cendres volcaniques) et les analyses granulométriques. Les datations radiocarbone AMS ont été réalisées au Radiocarbon Laboratory de Poznan (Pologne). La granulométrie de la fraction inférieure à 2 mm des sédiments a été mesurée avec un granulomètre laser LS 230 de Beckman Coulter. A l'exception du Laacher See Tephra dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs mm dans le nord du massif des Vosges, les téphras que nous étudions sont invisibles à l'oeil nu et correspondent au terme « cryptotephra » utilisé par nos collègues anglo-saxons. Leur détection est réalisée soit par le biais de mesures de susceptibilité magnétique le long des carottes de sédiments (la présence d'un téphra modifie le signal magnétique et dans la plupart des cas on observe un pic de susceptibilité magnétique), soit par des prélèvements systématiques tous les centimètres dans lesquels la présence de particules de verre volcanique est vérifiée en frottis. Les niveaux de cendres volcaniques observés dans les sédiments ont été traités selon la méthode développée par DUGMORE *et al.* (1995), TURNEY (1998) et BLOCKLEY *et al.* (2004), légèrement modifiée, pour en extraire les échardes de verre volcanique (WALTER-SIMONNET *et al.*, 2008). L'identification des niveaux de téphras a été complétée par l'analyse de la composition chimique des verres volcaniques réalisée sur les microsondes électroniques Camebax SX50 et SX100 du Centre de Microanalyse CAMPARIS de l'Université P. & M. Curie de Paris, sur sections polies de grains inclus dans une résine.

3. Résultats

3.1 Stratigraphie et chronologie

Dans le lac de Sewen, la stratigraphie établie à l'extrémité sud-est du lac (figure 1) montre une sédimentation tardiglaciaire, et probablement aussi pléniglaciaire, composée d'argiles silteuses grises et roses laminées à la base, puis de silts argileux verdâtres et gris recouverts par des silts bruns à beiges (figure 2). Elles sont surmontées de gytja et de tourbes formées durant l'Holocène. La chronologie de ces dépôts est établie à partir de l'analyse palynologique, de dates radiocarbone et de la présence de deux téphras, le Vedde Ash et le Laacher See Tephra (FIRBAS *et al.*, 1948 ; WALTER-SIMONNET *et al.*, 2008) (figure 2 et tableau I).

Dans le marais de la Maxe, le remplissage tardiglaciaire est constitué de silts argileux parfois sableux beiges à fins lits roses puis gris séparées par un niveau de gyttja (figures 2 et 3). La sédimentation holocène est composée par de la gyttja surmontée de tourbe blonde et brune contenant des niveaux d'argiles brunes jusqu'au sommet. La chronologie de ces dépôts a été établie par l'analyse palynologique, une date radiocarbone et la présence du Vedde Ash et du Laacher See Tephra (FIRBAS *et al.*, 1948 ; WALTER-SIMONNET *et al.*, 2008) (figure 3 et tableau I).

Echantillon	Laacher See Tephra		Vedde Ash	
	Marais de la Maxe	Lac de Sewen	Marais de la Maxe	Lac de Sewen
	MM2 / LST	SW2 / LST	MM1	SW1
SiO ₂	56,75	58,57	68,95	70,08
TiO ₂	0,37	0,52	0,28	0,15
Al ₂ O ₃	19,35	19,74	13,19	13,36
FeO	2,01	2,11	3,74	3,71
MnO	0,27	0,13	0,11	0,16
MgO	0,26	0,26	0,2	0,21
CaO	1,12	1,53	1,29	1,26
Na ₂ O	6,9	6,53	4,55	4,39
K ₂ O	6,27	6,95	3,39	3,4
P ₂ O ₅	-	-	0,03	0,06
Cl	0,35	0,22	0,17	0,15
F	-	-	0,14	0,18
Total	93,65	96,56	96,04	97,11
Nb d'analyses	8	16	21	7

Tableau I : Composition chimique (en % de poids d'oxydes d'éléments majeurs) des verres volcaniques du Laacher See Tephra et du Vedde Ash observés dans le lac de Sewen et le Marais de la Maxe.

Mise à part l'épaisseur des dépôts tardiglaciaires qui varie énormément d'un site à l'autre, la seule différence notable entre ces deux enregistrements est la nature du dépôt Bølling-Allerød : argileux à Sewen, très organique dans le marais de la Maxe. Ceci n'est certainement qu'une conséquence de la grosse différence de taille et de profondeur existant entre les deux réceptacles, la petite taille de la cuvette de la Maxe impliquant une faible épaisseur de la tranche d'eau durant cette période.

Le Laacher See Tephra est observé dans tous les sites de cette étude et y présente les mêmes caractéristiques minéralogiques. Son cortège minéral est typique de celui d'une phonolite avec des phénocristaux de sanidine, plagioclase, jadéite, haüyne et sphène. Les échardes de verre volcanique sont soit incolores, soit brunes et contiennent soit de grosses vacuoles, soit des petites (figure 4). Les analyses chimiques du verre vol-

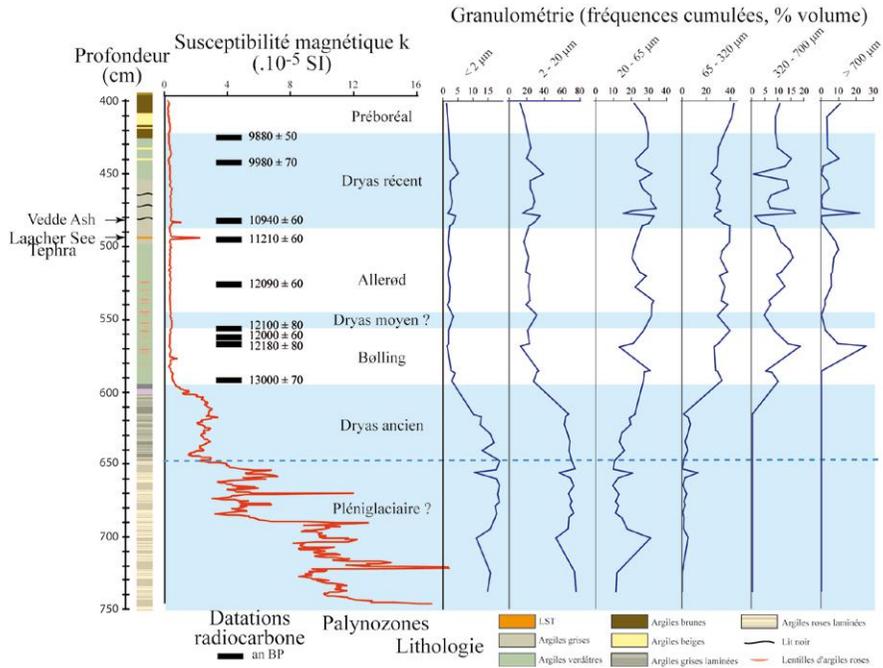


Figure 2 : Lithostratigraphie, susceptibilité magnétique, âges radiocarbone, caractéristiques granulométriques et biozones (obtenues par les assemblages polliniques) des sédiments tardiglaciaires carottés dans le site du lac de Sewen.

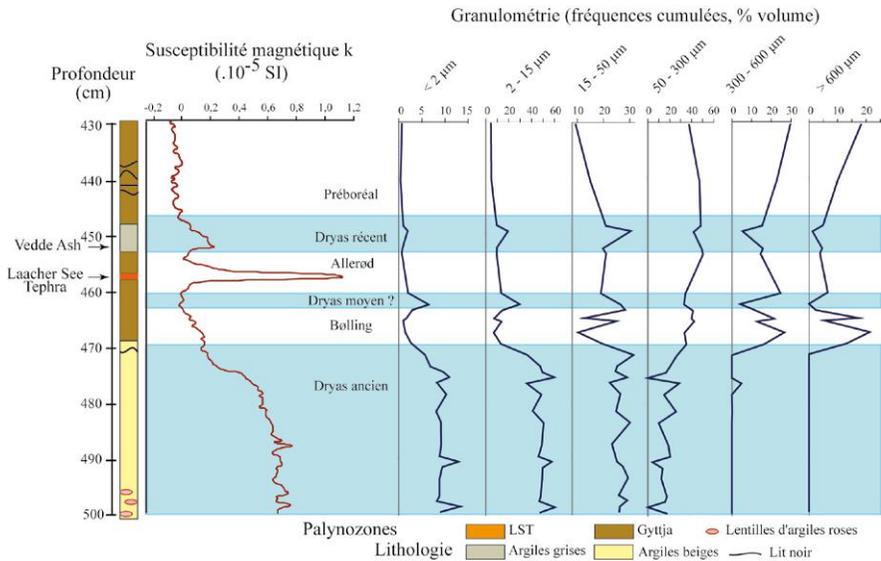


Figure 3 : Lithostratigraphie, susceptibilité magnétique, âge radiocarbone, caractéristiques granulométriques et biozones (obtenues par les assemblages polliniques; Firbas et al., 1948; D. Bressan & J.N. Haas, communication personnelle) des sédiments tardiglaciaires carottés dans le Marais de la Maxe.

canique sont celles d'une phonolite et en accord avec les données antérieures obtenues sur le Laacher See Tephra dans d'autres sites (figure 5) (van den BOOGARD & SCHMINCKE, 1985 ; FRIEDRICH *et al.*, 1999 ; BRAUER *et al.*, 1999).

Dans les deux sites, le Vedde Ash est composé d'échardes de verre volcanique non altéré présentant souvent des formes dites en ailes de papillon (« butterfly wings ») (figure 4) accompagnés de feldspaths aux bords très anguleux. Ces verres ont une composition rhyolitique qui est sans conteste celle du Vedde Ash (figure 5), provenant du volcan Katla (Islande), ce qui est compatible avec l'âge Dryas récent de la palynozone pendant laquelle ce téphra s'est déposé et les âges radiocarbone obtenus sur des macrorestes prélevés dans la carotte du site du Lac de Sewen (tableau I) (WALTER-SIMONNET *et al.*, 2008).

3.2 Variations sédimentaires

Les courbes granulométriques des échantillons analysés sont toutes plurimodales (figure 6). Elles ont été découpées en intervalles en fonction des différents modes observés, puis la proportion de chaque mode a été calculée en sommant les fréquences des diamètres dans chacun de ces intervalles. Ce sont ces valeurs qui sont représentées sur les figures 2 et 3. Dans les deux sites, les dépôts présentent des caractéristiques homogènes qui varient de manière identique selon les changements climatiques. La principale variation s'observe entre les sédiments très fins déposés durant les périodes froides Pléniglaciaire et Dryas ancien, et les dépôts beaucoup plus grossiers qui sédimentent après la fin du Dryas ancien et jusqu'au début du Préboréal (figures 2 et 3).

Plus précisément, les dépôts du Dryas Ancien (et pléniglaciaires probablement dans le lac de Sewen) sont constitués de particules très fines (silty-argileuses) contenant très peu de sables fins. Aucun apport grossier (supérieur à 320 microns) n'y est décelé. En revanche, durant la fin du Dryas Ancien, les particules deviennent progressivement légèrement plus grossières et finalement des sables grossiers se déposent.

Le passage du Dryas Ancien (climat froid) au Bølling-Allerød (climat plus chaud) est net et marqué par des apports grossiers (sables). Leur fréquence et leur importance varie dans la première partie du Bølling-Allerød et deviennent plus réguliers et homogènes durant la seconde. Au sein de cette période plus chaude, une brusque et limitée augmentation de la fraction fine autour d'environ 14 000 ans cal. BP marque probablement l'enregistrement du coup de froid du Dryas moyen. Des analyses palynologiques supplémentaires sont en cours et permettront de préciser si ce coup de

froid a provoqué des changements écologiques importants. Le passage à la période plus froide du Dryas Récent est souligné par une baisse des apports très grossiers et une légère augmentation des argiles, silts et sables fins. Contrairement au Dryas Ancien, essentiellement constitué d'un matériel silto-argileux assez homogène, le Dryas Récent est caractérisé par une succession de sédiments disparates et apparaît comme une période d'apports sédimentaires très variés. Le passage progressif au Préboréal est accompagné par l'augmentation des apports de sables grossiers et une diminution des particules fines.

Les deux enregistrements présentent la même variation du taux de sédimentation au début du Dryas Récent nettement mise en évidence par les datations radiocarbone obtenues dans l'enregistrement sédimentaire du lac de Sewen (figure 7). Cette chute importante du taux de sédimentation est soulignée par la présence des téphras Vedde Ash et Laacher See Tephra qui encadrent la transition Allerød-Dryas Récent (figures 2 et 3). A Sewen, il semble qu'il s'agisse même d'un arrêt de la sédimentation entre 12 700 et 12 200 ans cal.BP, conséquence soit de l'englacement des plans d'eau, soit de la baisse du niveau d'eau (- 480 cm par rapport au niveau actuel de la tourbière) (figure 7). A l'heure actuelle, la seconde hypothèse semble plus plausible. Le carottage étudié à Sewen a été prélevé au bord de la tourbière contrairement au carottage réalisé au centre de la cuvette du marais de la Maxe (figure 1). L'analyse de cette période particulière dans les autres carottages prélevés à Sewen en 2000 par J.L de BEAULIEU (figure 1) et dans des carottages prévus au centre du lac permettra d'estimer la baisse du plan d'eau ou d'éliminer cette hypothèse.

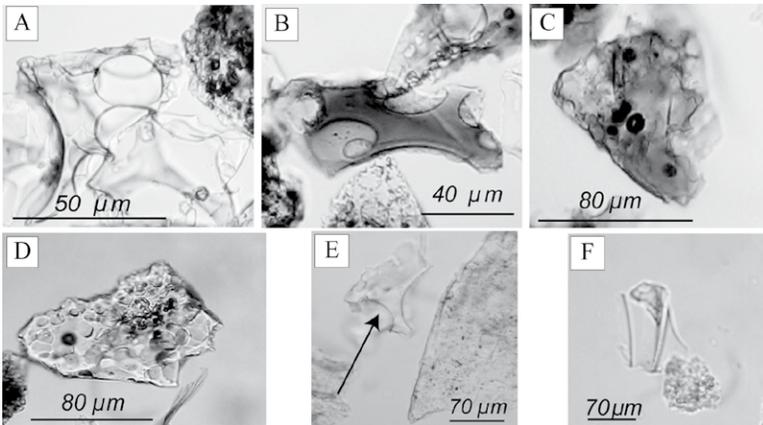


Figure 4 : Photographies d'échardes de verre volcanique réalisées au microscope optique. A à D : Laacher See Tephra, E et F : Vedde Ash.

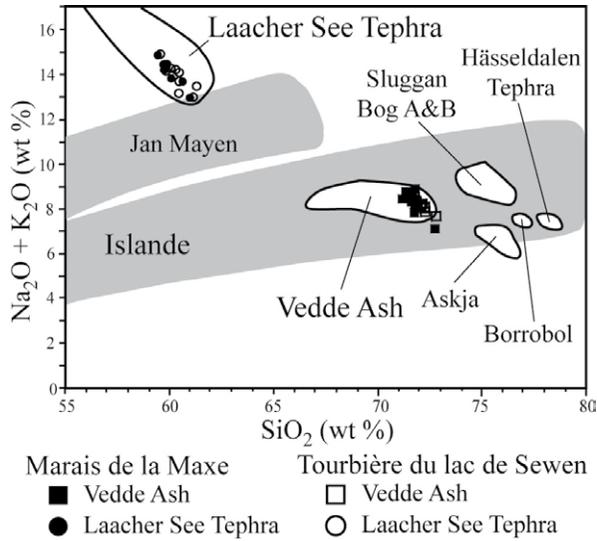


Figure 5 : Représentation de la composition chimique des verres volcaniques (analyses normalisées à 100 %) dans un diagramme $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$. Nos données sont comparées à celles provenant des compilations de DAVIES et al. (2004) et TURNERY et al. (2006).

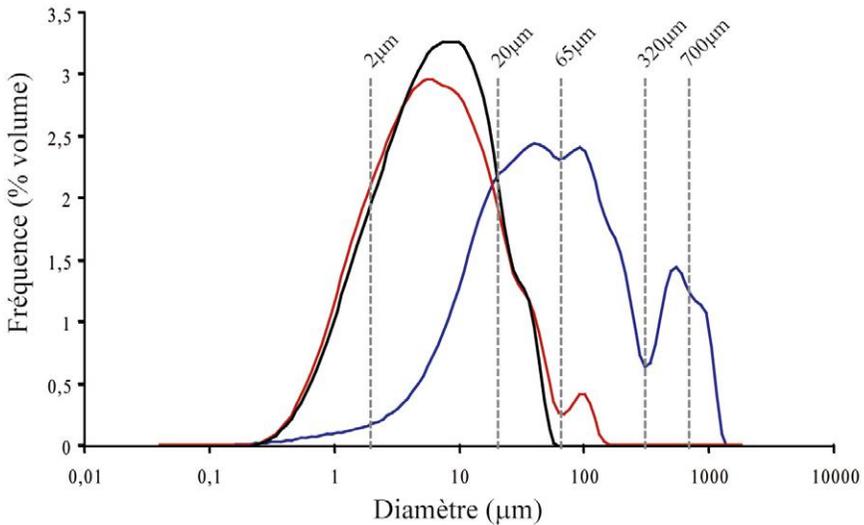


Figure 6 : Exemple de courbes granulométriques obtenues pour trois échantillons de sédiment prélevés à Sewen.

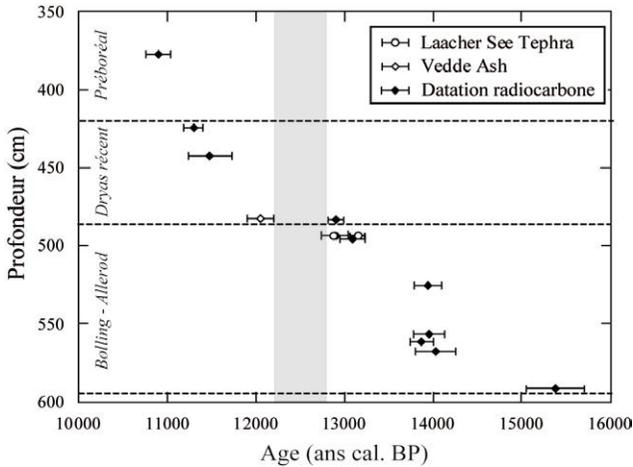


Figure 7 : Courbe âge-profondeur obtenue dans les sédiments tardiglaciaires du lac de Sewen (âges calibrés)

Conclusion

En dépit des tailles, des rapports de surface « bassin versant / cuvette » et des environnements géologiques (grès mésozoïques / roches cristallines et volcaniques paléozoïques) très différents, les particules détritiques constituant les remplissages montrent des caractéristiques granulométriques dont les variations avec le temps sont très proches.

Les dépôts Dryas Ancien ont des caractéristiques sédimentologiques, granulométriques et magnétiques homogènes et identiques d'un site à l'autre. Ces limons argileux constitués de matériaux très réactifs lors de la mesure de susceptibilité magnétique présentent une nature indépendante de celle des roches constituant les bassins versants. Leur répartition est régionale, leur origine allochtone, et le vecteur de leur transport est très certainement éolien, favorisé par une végétation de type steppique.

Le réchauffement du Bølling-Allerød provoque la disparition des dépôts de type Dryas Ancien. Le sédiment devient plus grossier, très organique dans la petite cuvette de la Maxe mais toujours minéral à Sewen, et peu magnétique même dans ce site. Les apports éoliens ont progressivement cessé, le matériel détritique déposé est local, conséquence de l'érosion du bassin versant. Le bref coup de froid du Dryas moyen est souligné par un retour des apports argilo-limoneux alors que l'érosion des roches du bassin versant est toujours active. L'origine de ces particules est donc allochtone. Les dépôts

du Bølling-Allerød sont d'abord très hétérogènes, puis leurs caractéristiques granulométriques se stabilisent tout en devenant progressivement de plus en plus grossières, l'érosion locale devient de plus en plus efficace.

Le refroidissement du Dryas Récent est lui aussi contemporain d'un retour régional des particules fines probablement éoliennes, plus important que lors du Dryas Moyen et, comme observé alors, l'érosion locale ne cesse pas. Le début du Dryas Récent est brutal, marqué par un très important ralentissement (voire un arrêt ?) de la sédimentation. Puis, tout au long de cette période, l'intensité des apports fins et les caractéristiques du sédiment varient énormément soulignant la grande instabilité du climat.

Le réchauffement du Préboréal est contemporain de la disparition des apports fins et d'une augmentation des sables grossiers dans le sédiment. Le matériel détritique est uniquement local.

La situation géographique des Vosges, centrale par rapport à trois des principaux centres éruptifs actifs pendant le Tardiglaciaire, place ce massif à l'intersection des nuages de dispersion du Laacher See Tephra et du Vedde Ash. Les occurrences simultanées du Laacher See Tephra et du Vedde Ash dans le massif vosgien offrent donc un « pont » chronologique supplémentaire entre les séquences sédimentaires nord et centre-européennes et celles situées plus à l'ouest. Elles soulignent l'importance du LST et du Vedde Ash pour les études paléo-environnementales dans cette partie de l'Europe puisqu'elles encadrent la limite Allerød – Dryas récent et permettent, pour cet intervalle de temps, de pallier à l'absence de données radiochronologiques, comme par exemple dans le cas du site du Marais de la Maxe.

Remerciements

Les résultats présentés ici ont été réalisés grâce à des financements de l'Université de Franche-Comté (BQR et PPF). Les auteurs remercient tout particulièrement Michel FIALIN et Frédéric COUFIGNAL du service CAMPARIS (Université P. et M. Curie, Paris) pour leur disponibilité et leur gentillesse.

Bibliographie

AMMANN B., BIRKS H.J.B., BROOKS S.J., EICHER U., VON GRAFENSTEIN U., HOFMAN W., LEMDAHL G., SCHWANDER J., TOBOLSKI K. & WICK L. 2000. Quantification of biotic responses to rapid climatic changes around the Younger Dryas – a synthesis. *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology* 159 : 313-349.

ANDREOLI R., ROSIQUE T., SCHMIDT M. & CAROZZA J.M. 2006. La dernière phase glaciaire du haut bassin de la Fecht (Vosges, France) : dynamique de l'englacement et chronologie relative de la déglaciation. *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 1/2006 : 23-36.

BLOCKLEY S.P.E., PYNE-O'DONNELL S.D.F., LOWE J.J., MATTHEWS I.P., STONE A., POLLARD A.M., TURNEY C.S.M. & MOLYNEUX E.G. 2004. A new and less destructive laboratory procedure for the physical separation of distal glass tephra shards from sediments. *Quaternary Science Review* 24 : 1952-1960.

BRAUER A., ENDRES C. & NEGENDANK J.F.W. 1999. Lateglacial calendar year chronology based on annually laminated sediments from Lake Meerfelder Maar, Germany. *Quaternary International* 61 : 17-25.

COOPE G.R. & ELIAS S.A. 2000. The environment of Upper Palaeolithic (Magdalenian and Azilian) hunters at Hauterive-Champréveyres, Neuchâtel, Switzerland, interpreted from coleopteran remains. *Journal of Quaternary Science* 15 : 157-175.

DAVIES S.M., WOHLFARTH B., WASTEGÅRD S., ANDERSSON M., BLOCKLEY S. & POSSNERT G. 2004. Were there two Borrobol Tephra during the early Lateglacial period: implications for tephrochronology? *Quaternary Science Reviews* 23 : 581-589.

de BEAULIEU J.L. & REILLE M. 1992. The last climatic cycle at La Grande Pile (Vosges, France): a new pollen profile. *Quaternary Science Reviews* 11 : 431-438.

DUGMORE A. J., LARSEN G., & NEWTON A. J. 1995. Seven tephra isochrones in Scotland. *The Holocene* 5 : 257-266.

FIRBAS F., GRÜNIG G., WEISCHEDEL I. & WORZEL G. 1948. Beiträge zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte des Vogesen. *Bibliotheca Botanica* 121 : 37-43.

- FLAGEOLLET J.C. 2002. Sur les traces des glaciers vosgiens. CNRS Editions. 212 p.
- FRIEDRICH M., KROMER B., SPURK M., HOFMAN J. & KAISER K.F. 1999. Paleo-environment and radiocarbon calibration as derived from Lateglacial/Early Holocene tree-ring chronologies. *Quaternary International* 61 : 27-39.
- GAILLARD M.J. & LEMDAHL G. 1994. Lateglacial insect assemblages from Grand-Marais, south-western Switzerland – climatic implications and comparison with pollen and plant macrofossil data. *Dissertationes Botanicae* 234 : 287-308.
- KRITTLÉ C. 1958. Morphologie et depots quaternaires antérieurs au Würm dans la vallée de la Fecht (Haut-Rhin). *Bulletin du Service des Cartes Géologiques d'Alsace-Lorraine* 11 : 15-19.
- LOTTER A.F., BIRKS H.J.B., EICHER U., HOFMAN W., SCHWANDER J. & WICK L. 2000. Younger Dryas and Allerød summer temperatures at Gerzensee (Switzerland) inferred from fossil pollen and cladoceran assemblages. *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology* 159 : 349-362.
- MAGNY M., GUIOT J. & SCHOELLAMMER P. 2001. Quantitative reconstruction of Younger Dryas to mid-Holocene paleoclimates at Le Locle, Swiss Jura, using pollen and lake-level data. *Quaternary Research* 56 : 170-180.
- MAGNY M., AALBERSBERG G., BÉGEOT C., RUFFALDI P., BOSSUET G., DISNAR J.R., HEIRI O., LAGGOUN-DEFARGE F., MAZIER F., MILLET L., PEYRON O., VANNIÈRE B., & WALTER-SIMONNET A.V. 2006. Environmental and climatic changes in the Jura mountains (eastern France) during the Lateglacial–Holocene transition: a multi-proxy record from Lake Lautrey. *Quaternary Science Reviews* 25 : 414–445.
- MÉNILLET F., DURAND M., MAÏAUX C. & LOUGNON J. 1978. Carte et notice géologiques « Cirey-sur-Vezouze ». Editions du BRGM.
- ORTU E., BREWER S. & PEYRON O. 2006. Pollen-inferred palaeoclimate reconstructions in mountain areas: problems and perspectives. *Journal of Quaternary Science* 21 (6) : 615-627.
- PEYRON O., BÉGEOT C., BREWER S., HEIRI O., MAGNY M., MILLET L., RUFFALDI P., VAN CAMPO E. & YU G. 2005. Late-Glacial climatic changes in Eastern France (Lake Lautrey) from pollen, lake-levels, and chironomids. *Quaternary Research* 64 (2) : 197-211.

SCHLOSS S. 1979. Pollenanalytische und stratigraphische Untersuchungen im Sewensee: ein Beitrag zur spat- und postglazialen Vegetationsgeschichte der Südvogesen. *Dissertationes Botanicae* 52 : 1-138.

SERET G., DRICOT E. & WANSARD G. 1990. Evidence for an early glacial maximum in the French Vosges during the last glacial cycle. *Nature* 346 : 453-456.

SOMMÉ J. 1990. Enregistrements-réponses des environnements sédimentaires et stratigraphie du quaternaire. Exemples d'Achenheim (Alsace) et de la Grande Pile (Vosges). *Quaternaire* 1 : 25-32.

THÉOBALD N., THIÉBAUT J. & BERNATZKY M. 1973. Carte et notice géologiques "Giromagny". Editions du BRGM.

TRICART J. 1963. Aspects et problèmes géomorphologiques du massif du Hohneck. In : « Le Hohneck, aspects physiques, biologiques et humains ». Ouvrage collectif pour le centenaire de l'Association Philomatique d'Alsace et de Lorraine, Strasbourg, 43-62.

TURNEY C.S.M. 1998. Extraction of rhyolitic component of Vedde microtephra from minerogenic lake sediments. *Journal of Paleolimnology* 19 : 199-206.

VAN DEN BOGAARD P. & SCHMINCKE H. 1985. Laacher See tephra: A widespread isochronous late Quaternary tephra layer in central and northern Europe. *Geological Society of America Bulletin* 96 : 1554-1571.

VANNIÈRE B., BOSSUET G., WALTER-SIMONNET A.V., RUFFALDI P., ADATTE T., ROSSY M., & MAGNY M. 2004 - High-resolution record of environmental changes and tephrochronological markers of the Last Glacial-Holocene transition at Lake Lautrey (Jura, France). *Journal of Quaternary Science* 19 : 797-808.

WALTER-SIMONNET AV., BOSSUET G., DEVELLE AL, BÉGEOT C., BENOIT-RUFFALDI P., MAGNY M., ADATTE T., SIMONNET J.P., ROSSY M., VANNIÈRE B., THIVET M., MILLET L., RÉGENT B. & WACKENHEIM C. 2008. Chronologie et spatialisation de retombées de cendres volcaniques tardiglaciaires dans les massifs des Vosges et du Jura, et le plateau suisse. *Quaternaire* 19 (2) : 117-132.

WOHLFARTH B., GAILLARD M.J., HAEBERLI W. & KELTS K. 1994. Environment and climate in southwestern Switzerland during the last termination, 15-10 ka BP. *Quaternary Science Reviews* 123 : 361-394.

WOILLARD G.M. 1978. Grande Pile peat bog: a continuous pollen record for the last 140 000 years. *Quaternary Research* 9 : 1-21.

Enregistrement sédimentaire d'une dépression tourbeuse sur les platières gréseuses du Massif de Fontainebleau (77) : corrélation avec l'évolution des paléopaysages et des climats

Médard THIRY(1) & Marie Nieves LIRON(2)

(1) Mines ParisTech, Géosciences, 35 rue St Honoré, 77305 FONTAINEBLEAU

(2) Académie de Créteil, Centre ressource en Education au Développement Durable de Seine-et-Marne, 4 rue Georges Enesco, 94010 CRETEIL

Résumé :

Les mares du Massif de Fontainebleau ont le plus souvent été considérées comme creusées par l'homme pour des usages pastoraux ou cynégétiques. Dans ce cas il convenait d'entretenir les mares en les curant régulièrement. Pour notre part, pensant que les mares tourbeuses étaient des sites exceptionnels en Ile-de-France et de forte naturalité, nous avons voulu le démontrer par la datation de leurs sédiments.

La mare de Belle-Croix s'est révélée remonter au début de l'Holocène (plus de 9500 ans BP). Son remplissage sédimentaire enregistre les clés de la mise en place des paysages au sortir de la dernière période glaciaire. Les datations permettent de préciser les étapes de cette mise en place des paysages : (1) creusement de dépressions entre les grès par déflation éolienne durant la période glaciaire froide ; (2) comblement partiel des dépressions par des sables éoliens, quand un début de végétation s'installe ; (3) arrivée de l'homme avec le réchauffement climatique, activité autour du site ; (4) mise en eau de la mare avec sédimentation de dépôts très riches en matière organique lors de la période chaude de l'Holocène ; (5) très longue période sans dépôt préservé, puis installation d'un milieu tourbeux au cours des derniers siècles.

Mais surtout, les datations ont montré la «naturalité» de ces mares, les gérer c'est préserver cette naturalité... et donc ne pas intervenir ou, du moins, avec beaucoup de prudence !

Zusammenfassung :

Lange war man der Ansicht, dass die Tümpel des Massif de Fontainebleau aus Gründen der Weide- oder Jagdwirtschaft vom Menschen gegraben worden waren. Deshalb wurden sie zur Pflege regelmäßig entschlammt. Wir aber vertraten die Ansicht, dass diese Torftümpel vollkommen natürlichen Ursprungs seien und ganz außergewöhnlich

liche Standorte in der Region Île-de- France darstellten. Dies wollten wir durch die Untersuchung ihrer Sedimente nachweisen.

Es erwies sich, dass sich der Tümpel von Belle-Croix bis zum Beginn des Holozäns (9500 Jahre BP) zurückverfolgen lässt. Seine Ablagerungen liefern den Schlüssel für die Entwicklung der Landschaft am Ende der letzten Eiszeit. Die Datierung erlaubt, die Etappen der Bildung dieser Landschaft zu präzisieren : (1) Aushöhlung der Mulden zwischen den Sandschichten durch Abtragung durch den Wind während der kalten Eiszeit ; (2) teilweise Füllung der Mulden durch angewehrte Sande zu Beginn einer Pflanzenansiedlung ; (3) Ankunft des Menschen mit der Klimaerwärmung, Aktivitäten rund um den Standort ; (4) Auffüllung des Tümpels mit Sedimenten reich an organischen Stoffen in der warmen Periode des Holozäns ; (5) sehr lange Zeit ohne erhaltene Ablagerungen, dann Entstehung eines Torfmooses in den letzten Jahrhunderten. Aber vor allem haben die Datierungen bewiesen, dass diese Tümpel natürlichen Ursprungs sind und dass zu ihrer Erhaltung nicht oder nur sehr vorsichtig eingegriffen werden sollte!

Summary :

The ponds of the Fontainebleau Massif have most often been considered to have been dug out by man for pastoral or cybernetic purposes. In this case it would have been appropriate for the ponds to be maintained by clearing them on a regular basis. For our part, being of the view that the peat bog ponds were exceptional sites in Ile-de-France and largely natural, we have sought to demonstrate this by dating their sediments.

The Belle-Croix pond has revealed itself to date back to the beginning of the Holocene period (more than 9500 years BP). Its sedimentary layering records key events in the emergence of the landscapes since the last glacial period. The datings allowed for the stages of this emergence to be determined with some precision: (1) The hollowing out of depressions between the elevations due to wind scouring erosion during the cold glacial period; (2) partial filling in of the depression by wind-blown sand, when the first signs of vegetation appear; (3) arrival of man as the climate begins to warm up, with activity around the site; (4) water appearing in the pond, with sedimentation of very rich deposits of organic matter during the warm period of the Holocene; (5) a very long period without any deposits being preserved, and then the establishment of the peat bog in the course of the past few centuries.

But, above all, the datings have shown the “natural” character of these ponds, and managing them means preserving this natural status – and that in turn means not interfering, or, at least, only with a great deal of caution.

Mots-clés : mares, Holocène, paléopaysage, paléoenvironnement, gestion, Bassin de Paris, France.

Problématique

Les dalles gréseuses formant les platières de la Forêt de Fontainebleau sont fortement silicifiées, et de ce fait très peu perméables, voire imperméables. Elles supportent des mares permanentes bien circonscrites et des zones humides formées de dépressions plus ou moins temporaires installées sur un fond rocheux irrégulier (LIRON & THIRY, 2005). Les mares correspondent à l'évidement de zones sableuses, non grésifiées, au sein des platières. L'installation de ces mares et leur évolution devaient être repensées en termes de façonnement des paysages pour argumenter les objectifs de gestion de ces sites. C'est dans cette perspective qu'a été entreprise la datation des sédiments des mares tourbeuses du Massif de Fontainebleau. Plusieurs questions se posaient initialement :

1. vérifier ou infirmer l'assertion communément répandue que les mares du massif de Fontainebleau sont essentiellement artificielles, creusées pour abreuver bétail et gibier ;
2. replacer les accumulations tourbeuses dans l'évolution paléoclimatique et paléoenvironnementale du massif ;
3. comprendre l'installation des mares tourbeuses sur les platières gréseuses et par là remonter à l'installation des paysages actuels et à leur datation.

Pour la reconnaissance des sédiments des mares, il convenait, d'une part, d'éviter de sonder des mares susceptibles d'avoir été curées par le passé et, d'autre part, de se donner une chance de recouper des sédiments les plus anciens possibles. Pour cela, la stratégie a été de cibler, parmi les mares de grande richesse spécifique en sphaignes et dont la structure végétale est diversifiée, celles à *Sphagnum magellanicum*. La présence de cette espèce ombrotrophe, relictuelle en plaine, semblait offrir les garanties d'un milieu peu ou non perturbé, résultant d'une longue évolution. Les principaux sites à *Sphagnum magellanicum* inventoriés par LIRON & ROYAUD (2001) ont été sondés. D'autres mares ont également été sondées à titre de reconnaissance, elles n'ont fourni que de faibles épaisseurs de sédiments (souvent inférieur à 50 cm). Ce sont les mares à *Sphagnum magellanicum* qui ont montré les plus fortes accumulations (entre 1 et 3 m de sédiments).

Dans la présente note, nous nous intéresserons à la mare de la Platière de Belle-Croix qui a fourni le remplissage sédimentaire le plus épais et le plus riche lithologiquement.

1. Géologie et géomorphologie

Du point de vue géomorphologique, les Sables de Fontainebleau, d'âge Rupélien (Oligocène), forment une unité sableuse de 50 à 70 m d'épaisseur comprise entre 2 formations calcaires : à la base les Calcaires de Brie d'âge Briabonien et au sommet les Calcaires d'Etampes d'âge Chattien. Les Sables de Fontainebleau forment des escarpements entre les plateaux calcaires de Brie et de Beauce et forment une vaste ceinture forestière au sud de Paris, entre Fontainebleau, Rambouillet et Versailles.

Dans cette ceinture, le Massif de Fontainebleau constitue un paysage particulier, formé d'un relief différencié, commandé par la présence de dalles de grès fortement cimentées et de 2 à 8 m d'épaisseur au sein de sables non consolidés. Ce contraste lithologique est à l'origine de paysages remarquables formés de 3 unités distinctes (Fig. 1).

1. De grands alignements kilométriques, étroits, véritables échines, forment les reliefs, entre 125 et 135 m d'altitude. Ces alignements sont armés par des dalles de grès qui cimentent le sommet des Sables de Fontainebleau, ce sont les *platières*. Ces platières gréseuses surplombent d'environ 50 m des dépressions sableuses.

2. D'amples dépressions, sans drainage, forment les zones basses, vers 70 m d'altitude à l'Ouest et 85-90 m à l'Est. Ces dépressions, appelées *vallées* ou *gorges*, sont creusées dans les sables, sous-tendues par le calcaire de Brie.

3. Des plateaux, bien réglés, sont surtout développés dans la partie méridionale du Massif, autour de 125-135 m d'altitude. Ces plateaux, ou *monts*, sont formés par les Calcaires d'Etampes, et souvent recouverts par des limons quaternaires.

L'hydrologie du Massif de Fontainebleau se caractérise par la rareté des eaux stagnantes et par l'absence d'écoulements superficiels. Par ailleurs, L'hydrologie du Massif de Fontainebleau est remarquable par le fait que les zones humides sont supportées par les dalles gréseuses des *platières* et donc situées sur les reliefs, alors que les zones basses du paysage, les *vallées*, sont sableuses et sèches (Fig. 1). En effet les dalles de grès sont quasi imperméables et montrent à l'échelle décimétrique de nombreux creux, bombements et ressauts qui sont à l'origine des zones humides permanentes ou uniquement ennoyées temporairement. On y distingue, d'une part des vasques, points d'eau de très petite dimension ($5 \text{ dm}^2 < S < 0,5 \text{ m}^2$ à 1 m^2), simples creux dans les grès mais relativement nombreux ; et d'autre part, un réseau comportant de très nombreuses mares temporaires (dont l'effectif dépasse le millier de stations) souvent connectées à des mares permanentes plus grandes ($10 \text{ m}^2 < S < 1000 \text{ m}^2$) et en nombre limité (une cinquantaine pour l'ensemble du massif).

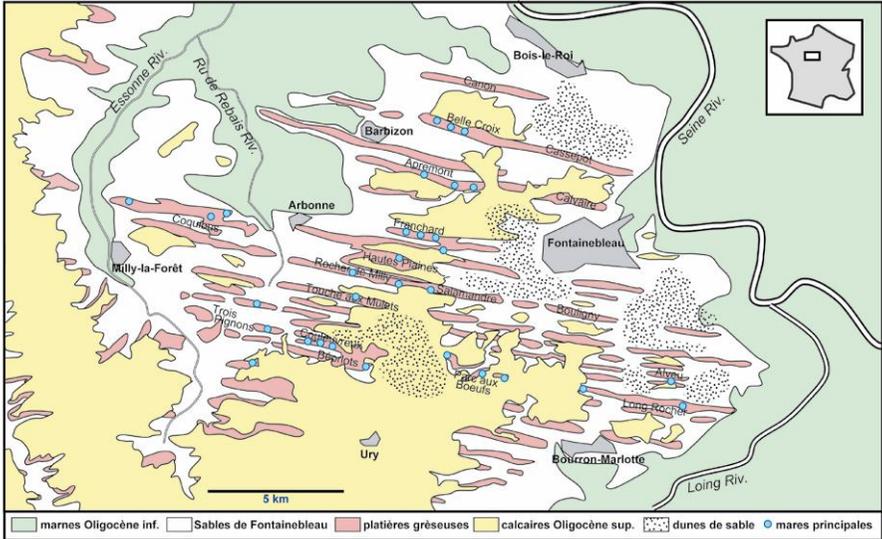


Figure 1 – Carte géologique simplifiée du Massif de Fontainebleau. Les platières gréseuses forment des reliefs très réguliers qui ont été induits par la silicification préférentielle de morphologies dunaires (ALIMEN, 1936, THIRY et al., 1988). Les mares sont supportées par les dalles gréseuses au sommet de ces morphologies (platières) et donc situées sur les reliefs.

2. Méthodologie

2.1 Prélèvement des sédiments

La tourbe a été prélevée à l'aide d'un carottier manuel, constitué d'un tube en acier inox de diamètre 15 cm et terminé par une couronne coupante constituée d'un ruban de scie à bûche. La couronne scie la tourbe fibreuse, les débris végétaux et les morceaux de bois. Le sondage a été effectué par pas de 20 cm environ, puis le tube vidé de manière à perturber le moins possible la tourbe. Les sédiments sablo-argileux ont été prélevés à la tarière classique de 12 cm de diamètre, par passées d'environ 20 cm. Les «têtes» de tarière ont été systématiquement rejetées pour éliminer les «retombées» éventuelles. N'ont été conservés que les échantillons qui étaient cohérents et homogènes. Les carottes ont été placées dans des gouttières PVC et enveloppées de film plastique pour leur transport.

Les sondages ont été effectués alors que la mare était à sec et le niveau de la nappe à environ 70 cm de profondeur.

2.2 Analyse des échantillons

Les échantillons ont été nettoyés après déballage des carottes au laboratoire. Les traces de racines visibles dans la partie supérieure des carottes ont été éliminées et les échantillons séchés en étuve ventilée à 50°C.

Les échantillons les plus caractéristiques et ceux susceptibles d'être intéressants pour les datations ^{14}C ont été tamisés à sec pour séparer 5 classes granulométriques (< 180 μm – 180-250 μm – 250-500 μm – 500-1500 μm - > 1500 μm). Les fractions obtenues ont été pesées et décrites à la loupe binoculaire en portant une attention particulière à la morphoscopie des quartz et aux débris grossiers (éléments lithiques, charbons et débris organiques tourbeux) et à la présence de radicelles.

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X (méthode des poudres) a été conduite sur les sédiments sans traitement préalable et sur les fractions < 180 μm pour la reconnaissance des minéraux non-argileux. La fraction < 2 μm a été extraite des échantillons pauvres en matière organique après passage aux ultra-sons et traitement à HCl (1N) pour libérer les composantes minérales (argiles) des complexes organominéraux.

Le dosage du carbone organique (C_{org}) a été fait au laboratoire SARM, Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Vandoeuvre-les-Nancy (France). Les pyrolyses Rock-Eval ont été effectuées au laboratoire de l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (France). Les datations ^{14}C ont été effectuées au Centre de Datation par le radiocarbone de l'Université Claude Bernard Lyon I (France) et au Poznań Radiocarbon Laboratory (Pologne). Les datations ont été effectuées sur des échantillons bruts, mais aussi sur des fractions fines plus riches en matière organique, sur des débris végétaux et sur des éléments grossiers d'aspect charbonneux.

3. Description du sondage de Belle-Croix

3.1 Situation

La situation exacte de la mare de Belle-Croix n'est pas donnée pour préserver le site. La mare possède une station importante et historique de *Sphagnum magellanicum*, découverte en 1892 (CAMUS, 1903) et retrouvée en 1999 (LIRON & ROYAUD, 2001). La mare est profonde d'environ 60 cm, riche en sphaignes qui colonisent de larges touradons de molinie plus ou moins confluents et sur lesquels sont souvent implantés

des bouleaux. La mare s'inscrit au sein d'un réseau ombragé de micro-zones tourbeuses parmi des lambeaux de lande sèche.

Les grès de la platière affleurent largement au voisinage de la mare et sont découpés par des fentes d'extension pluri-décamétriques. Les grès forment des dômes ou échine allongées qui dominent d'environ 1 m le remplissage des fentes (Fig. 2). La mare est installée entre ces dômes de grès et se situe à environ 20-30 m du rebord de la platière.

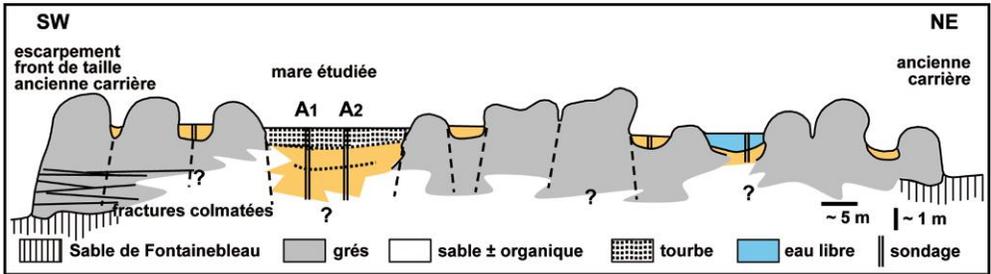


Figure 2 : Coupe transversale schématisée de la platière de Belle-Croix au droit de la mare étudiée. L'épaisseur des sédiments de la mare semble indiquer que la mare n'est pas directement liée à la présence d'une dalle gréseuse imperméable, mais qu'elle s'est formée par imperméabilisation d'une fente ou d'un «gouffre» qui traverse la platière.

3.2 Les sédiments

Deux sondages ont été effectués dans la mare de Belle-Croix. Ci-dessous est donnée la description du sondage A1, sur lequel ont été effectuées la plupart des analyses. On y distingue 3 unités principales bien différenciées, séparées par deux transitions :

325 à 210 cm - Des sables peu argileux, bruns. La matière organique s'y trouve surtout sous forme de complexes organiques aluminoferrugineux. En effet, un traitement par HCl 1N, sur agitateur pendant 15-30 mm, blanchit et désagrège ces sables en libérant des particules fines (argiles et silts).

210 à 200 cm – Sables bruns avec éléments lithiques de 0,3 à 3 cm de diamètre.

200 à 103 cm – Sables argileux fins, gras, noirs, avec éléments ligneux de 0,1 à 3,0 cm.

103 à 100 cm – Niveau charbonneux, relativement induré/cimenté, qui crisse un peu sous la tarière et ne se délite pas à l'eau.

100 à la surface – Tourbe, qui débute par des débris de phanérogames formant une matre entrecroisée. La tourbe est fibreuse et brune à la base, blonde au sommet. Enfin, les dépôts se terminent par la végétation actuelle de sphaignes.

3.3 Epaisseur des dépôts et configuration de la mare

L'épaisseur relativement importante des sédiments de la Mare de Belle-Croix est éventuellement à mettre en relation avec un mode de fonctionnement particulier de cette mare. Un relevé des affleurements de grès de ce secteur montre que cette mare n'est peut-être pas installée directement sur une dalle de grès (Fig. 2). La mare est située au droit d'une fracture de la dalle de grès qui s'est élargie, soit par glissement des blocs le long de l'escarpement, soit à la faveur de dissolutions pseudo-karstiques connus ailleurs dans les dalles de grès de Fontainebleau (THIRY, 2007). Dans cette hypothèse, il faut que la mare ait été colmatée et imperméabilisée. Ce sont éventuellement les matériaux riches en matière organique et de consistance argileuse qui jouent ce rôle. En effet, des matériaux fins, riches en matière organique, colmatent les fissures de la dalle de grès dans les fronts de taille des anciennes carrières proches de la Mare de Belle-Croix. Ainsi, la mare aurait pu continuer à s'approfondir au cours de son fonctionnement (par ouverture progressive de la fracture originelle ou par dissolution partielle du substrat gréseux) et ainsi accumuler des épaisseurs plus importantes de sédiments. Cet approfondissement de la mare aurait permis des dépôts plus épais qu'ailleurs et aurait contribué à soustraire les matériaux organiques de l'oxydation lors des périodes d'assèchement.

3.4 Composition des sédiments

La composition des sédiments permet de remonter aux conditions et aux environnements du dépôt. Les composés minéraux reflètent les apports de l'environnement immédiat de la mare, tandis que les composés organiques indiquent les conditions qui règnent au sein la mare.

3.5 Les éléments minéraux

3.5.1 Minéralogie des sédiments

Les sédiments sont presque exclusivement formés de quartz et de matière organique. Les sables bruns de la base montrent l'assemblage minéralogique le plus diversifié. Le quartz est accompagné de minéraux argileux dont la teneur a été estimée à 10-20% du sédiment et d'environ 5 % de feldspaths plagioclases et de feldspaths potassiques. Les minéraux argileux des sables bruns sont essentiellement composés de kaolinite, accompagnée d'illite-mica, de chlorite et de minéraux smectitiques (de type intergrades alumineux). Les sables supérieurs sont presque exclusivement formés de quartz, accompagnés de kaolinite.

La composition des sables inférieurs, à feldspaths et chlorite, diffère de celle des Sables de Fontainebleau, qui ne contiennent pas ou plus de feldspaths, et jamais de chlorite dans leur partie supérieure. En revanche, feldspaths, chlorite et minéraux smectitiques sont des composés communs de la couverture limoneuse des plateaux du Bassin de Paris. Ainsi, l'assemblage des minéraux argileux montre une filiation probable entre les sables éoliens de la base de la Mare de Belle-Croix et la couverture loessique des plateaux de Brie et de Beauce. La composition des sables supérieurs (sables noirs) est «appauvrie» par rapport aux sables sous-jacents, elle est comparable à celle des podzols qui se développent sur les Sables de Fontainebleau.

3.5.2 Morphoscopie des sables

L'observation à la loupe binoculaire des fractions sableuses montre deux types de grains (Fig. 3) : des grains émoussés à ronds, mats, d'origine éolienne, provenant du remaniement du sable sur la platière ; des grains frais, brillants, à facettes de croissance, directement hérités de la désagrégation du grès sur place.



Figure 3 : Morphoscopie des grains de sable, Mare de Belle-Croix, sondage A1. Voir position des échantillons sur Fig. 7. (A) – 2,40 m – fraction 500-1500 μm – grain luisant et grain mat. (B) – 2,10 m – fraction 500-1500 μm – grain arrondi mat, on reconnaît encore des formes anguleuses émoussées et le piqueté caractéristique de l'action éolienne des grains qui s'entrechoquent dans l'air. (C) – 2,10 m – fraction <1500 μm – coexistence de grains ronds mats façonnés par le vent et de grains de quartz anguleux brillants (translucides ou même hyalins) isolés ou soudés qui sont issus de la désagrégation des grès. (D) & (E) – respectivement – 2,40 & 3,15 m – fraction 250-500 μm – mélange de grains ronds-mats et de grains anguleux-brillants, avec également des grains émoussés et piquetés.

Les grains ronds-mats dominent la fraction sableuse des sables bruns de la base des dépôts. Ils constituent les premiers remplissages des mares. Les grains «frais» à facettes prennent progressivement le relais des grains ronds-mats dans les dépôts riches en matière organique, et sont quasi exclusifs dans les dépôts tourbeux. Les premiers remplissages sont éoliens et ils sont suivis par des sables provenant de la désagrégation des grès de la bordure des mares, sans trace de transport.

3.5.3 Les éléments lithiques

Des éléments lithiques ont été rencontrés vers 2,10 m de profondeur. Quatre sondages complémentaires ont été descendus pour récupérer du matériel supplémentaire. Au total, c'est une cinquantaine de débris lithiques de 0,5 à 4 cm de diamètre qui ont été récupérés dans ce niveau. L'essentiel est formé de plaquettes de grès quartzitique, anguleux, 2 à 3 centimètres, de forme rectangulaire assez régulière, provenant des sursilicifications associées aux fentes des grès (THIRY, 2005) (Fig. 4A). Ils sont autochtones. Néanmoins, aucun élément de grès ordinaire, non sursilicifié, n'est associé à ces éclats quartzitiques, ce qui fait penser qu'ils ont peut-être été rassemblés sélectivement. Enfin, une dizaine d'éclats de calcaire silicifié, caractéristiques des calcaires de Brie, ont été rencontrés (Fig. 4B). Ils sont indubitablement allochtones, provenant de la surface de Brie, à environ 70 m plus bas en altitude. La plupart montrent des surfaces d'éclatement courbes, bien lisses. L'un d'eux montre des dispositions de taille typiquement anthropiques, avec un «plateau de frappe» préparé pour l'enlèvement de l'éclat (détermination de Roberto Risch, Dpt. de Prehistòria, Univ. Autònoma de Barcelona, Espagne) (Fig. 4C & C'). Un autre élément montre une dizaine de rayures parallèles ; ces rayures peuvent résulter du piétinement des éclats par les animaux. Néanmoins, c'est le seul élément qui présente des rayures, et elles sont toutes parallèles ; aussi il est possible qu'elles résultent d'une utilisation de l'éclat comme «grattoir» (Fig. 4D & D'). Ces éléments façonnés témoignent d'activités humaines autour de la mare.

3.6 Les éléments organiques

3.6.1 La tourbe

L'accumulation tourbeuse débute par des débris de macrophytes disposés à plat, formant une matre de tiges entrecroisées, assez dense, dans laquelle on reconnaît aisément des phanérogames (Fig 5A). La teneur en argile et sable reste importante. Ce niveau est surmonté de vraie tourbe, fibreuse, à laquelle se mêlent des bois de dimensions variables (de 2 à 50 mm de diamètre). La tourbe basale est généralement brune, aux

fibres courtes, assez grasses d'aspect, alors que, plus haut, elle est de couleur plus claire, blonde, à fibres plus longues et enchevêtrées où des sphaignes sont souvent reconnaissables (Fig. 5B).

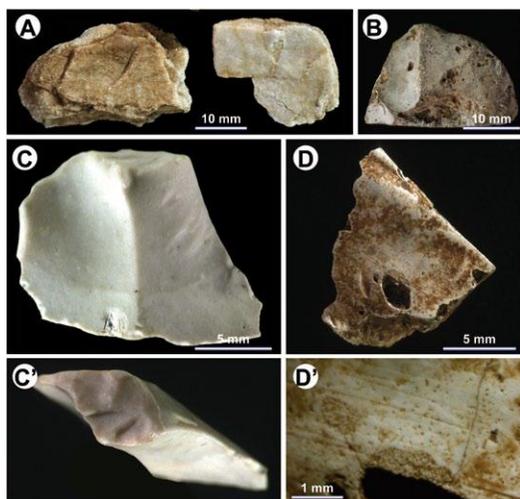


Figure 4 : *Eléments lithiques de la Mare de Belle-Croix, à 2,10 m de profondeur. (A) - plaquettes de grès dur, sursilicifié. (B) - calcaire silicifié avec traces d'éclatement «en zone» et alvéoles de dissolution vraisemblablement tardives par rapport à la formation des fractures (dissolution d'îlots calcaires résiduels). (C) - éclat de calcaire silicifié avec «plateau de frappe» caractéristique d'une taille, (C') vue par-dessus du «plateau de taille». (D) - éclat de calcaire silicifié avec rayures, (D') détail.*

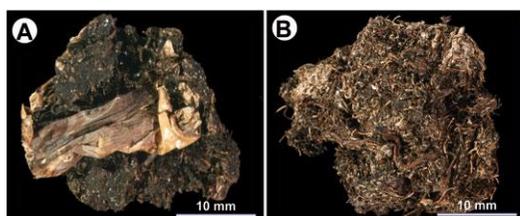


Figure 5 : *Niveau tourbeux de la Mare de Belle-Croix. (A) – base de l'accumulation tourbeuse, dépôt relativement argileux avec un débris annelé de phanérogame (profondeur 90 cm). (B) – tourbe blonde, fibreuse, à sphaignes reconnaissables (profondeur 25 cm).*

3.6.2 Le niveau charbonneux

Un niveau noir, plus ou moins induré et/ou cimenté (crissant sous la tarière) a été recoupé vers 1 m de profondeur. Les échantillons, d'aspect et de touché sableux, contiennent des éléments légèrement indurés, mais qui restent mous et sans granularité sensible sous la pression des doigts. Ils s'indurent apparemment au séchage. D'autres granules et petits nodules sont plus durs et ont l'apparence de charbon de bois. Les éléments indurés peuvent atteindre 2 à 4 cm et ne se délitent pas dans l'eau, ni à l'attaque acide (même à HCl 5N). L'induration n'est donc apparemment pas liée à des complexes organo-minéraux comme dans les alios des podzols. De petits filets de sable blanc, très fins, sont associés à ce niveau noir.

L'examen à la loupe binoculaire révèle des fragments brillants qui évoquent le charbon

et de nombreux débris ligneux bien préservés qui peuvent correspondre à des tiges de graminées ou à des racines (Fig. 6). Le bon état du matériel devrait permettre une détermination de ces macro-restes végétaux. Les lames minces taillées dans ces matériaux révèlent des éléments organiques aux structures cellulaires bien préservées, cimentés par un macéra «amorphe», sans organisation cellulaire reconnaissable et présentant des structures fluidales, qui enveloppent les éléments figurés. La nature du «ciment» est à déterminer. A titre d'hypothèse, on peut envisager qu'il soit constitué de «macéras» issus d'une combustion d'anciens niveaux de tourbe et bloqués au-dessus des niveaux sablo-organiques relativement imperméables.

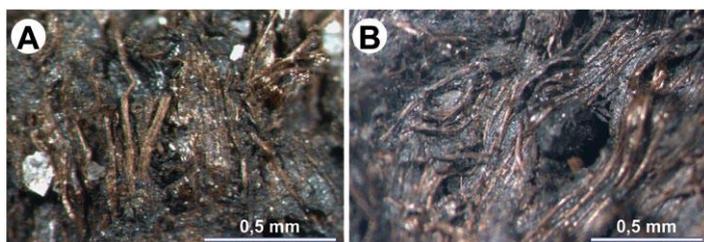


Figure 6 : Eléments charbonneux du niveau induré noir sous la tourbe, échantillon 8462B vers 1,00 m de profondeur. L'accumulation organique est essentiellement composée de tiges herbacées ou de racines. Noter la présence de quartz hyalins présentant des faces cristallines, provenant de la désagrégation des grès.

3.6.3 Analyse des matières organiques

Le dosage du carbone organique montre que les sables bruns de la base sont relativement pauvres en matière organique, alors que la teneur de celle-ci augmente rapidement dès la base des sables argileux noirs, en même temps que les débris végétaux et ligneux deviennent plus fréquents. (Fig. 7). La teneur la plus élevée correspond au niveau charbonneux situé sous l'accumulation tourbeuse.

La pyrolyse Rock-Eval de la matière organique a été effectuée sur 7 échantillons du sondage de Belle-Croix (Fig. 7). Elle permet de préciser la nature de la matière organique présente dans le sondage. Le pic de température de pyrolyse (T_{peak}) est un indicateur de la maturité de la matière organique. La valeur relativement élevée de T_{peak} du niveau charbonneux est due à la présence de charbon de bois, mais, au vu de cette valeur, la proportion de charbon de bois reste limitée. Les valeurs élevées du T_{peak} dans les sables bruns inférieurs sont caractéristiques des substances humiques (DISNAR *et al.*, 2003 ; SEBAG *et al.*, 2006). Un indice d'hydrogène (indice H) fort

caractérise les matières végétales faiblement transformées et les litières des sols en l'absence d'activité biologique (DISNAR *et al.*, 2003). C'est le cas des tourbes. Cet indice diminue et est inférieur à 100 dans les horizons profonds des sols. L'indice d'oxygène (indice O) est proportionnel à l'oxydation de la matière organique, il est en particulier élevé dans les illuviations de substances humiques (DISNAR *et al.*, 2003). Le rapport de ces 2 indices (H/O) traduit l'oxydation de la matière organique, il augmente généralement régulièrement plus on s'enfonce dans les sols.

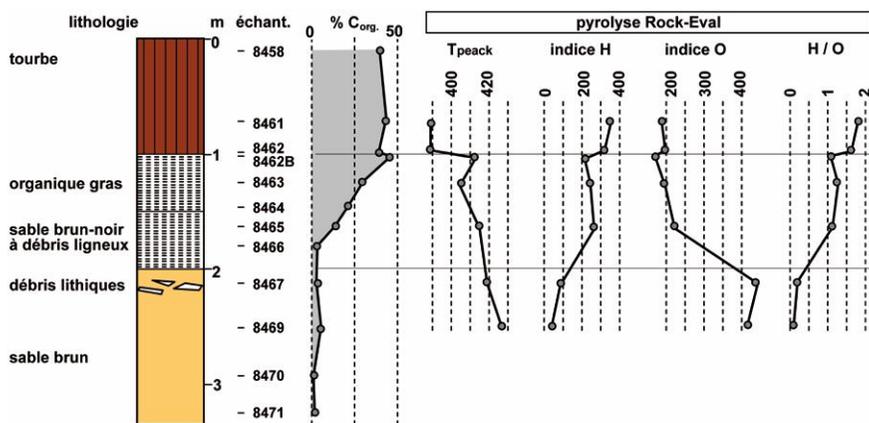


Figure 7 : Teneurs en Carbone organique et indices de pyrolyse Rock-Eval des sédiments de la Mare de Belle-Croix. Les teneurs en Corg augmentent très régulièrement dans les sables noirs. La pyrolyse Rock-Eval montre des évolutions qualitatives de la matière organique.

L'évolution en profondeur des indices de pyrolyse du sondage de Belle-Croix est semblable aux évolutions observées dans les sols, en particulier les podzols. Ils traduisent le «vieillessement» de la matière organique au cours des processus de dépôt. Néanmoins, les caractères de la matière organique des sables bruns de la base indiquent clairement la présence d'une fraction organique humique, migrée, donc «importée» des horizons supérieurs plus jeunes, comme l'avait laissé envisager la labilité de cette fraction organique au traitement acide.

3.7 Datations Radiocarbone

Les datations obtenues ont été au-delà de nos hypothèses au début de ce travail. Les mares se sont révélées être très anciennes et remonter au début de l'Holocène, il y a plus de 9 000 ans (tableau 1). Deux groupements de datations ont été obtenus : des

dates anciennes sur toute la partie sédimentaire du remplissage, des dates beaucoup plus récentes pour le niveau tourbeux. L'âge des sédiments noirs est en accord avec l'industrie mésolithique contenue.

Les datations présentent apparemment une incohérence : l'échantillon inférieur donne un âge plus jeune que les échantillons qui le surmontent. Les âges les plus anciens ont été obtenus sur des éléments organiques figurés (niveau charbonneux et débris ligneux). En revanche les sédiments à matière organique dispersée ont donné des âges plus jeunes. L'âge «plus jeune» obtenu dans les sables de la base est selon toute vraisemblance un âge rajeuni par l'apport de matières organiques dissoutes (acides humiques comme l'a montré l'analyse Rock-Eval) lors de la lente percolation (encore actuelle ?) des eaux à travers la platière. Les éléments organiques figurés ne subissent donc pas ce «rajeunissement». Les sédiments noirs, riches en matière organique, se déposent pendant un temps relativement court. Une longue période de «non-dépôt» est enregistrée entre ces sédiments et les premiers dépôts de la tourbe.

En tout état de cause, ces âges montrent de façon indubitable que ces mares sont anciennes et n'ont pas été creusées pour des besoins domestiques.

pro-fon-deur	n° échan-tillon	code laboratoire	âge ¹⁴ C	dates cali-brées avant-après J-C.	description / nature
85	8461	Poz-19916	605 ± 30 BP	1293-1409 après J-C	tourbe
90	8475	Poz-25707	850 ± 30 BP	1156-1257 après J-C	débris de plantes (sond. S2)
100	8462	Poz-19965	540 ± 30 BP	1321-1433 après J-C	débris de plantes
103	8462B	Lyon-3272	8080 ± 50 BP	7174-6844 avant J-C	niveau charbonneux
125	8463	Poz-19917	7950 ± 50 BP	7048-6655 avant J-C	sédiments organiques
155	8465	Poz-19919	9470 ± 60 BP	9120-8623 avant J-C	débris ligneux
210	8467	Lyon-3273	7959 ± 50 BP	7052-6660 avant J-C	sable brun (fraction <180 µm)

Tableau 1 : Position et nature des échantillons soumis à la datation ¹⁴C. Tous les échantillons proviennent du sondage de référence S1, excepté un échantillon analysé en doublon sur le sondage S2 de la même mare de Belle-Croix.

3.8 Installation de la mare et paléoenvironnements holocènes

Les sédiments accumulés dans la Mare de Belle-Croix permettent de retracer les conditions environnementales qui ont présidé à leur mise en place et de remonter à la mise en place des paysages caractéristiques du Massif de Fontainebleau.

Le point d'ancrage pour dérouler l'histoire attachée à la mise en place de la Mare de Belle-Croix est la datation ^{14}C à 9 470 ans +/- 60 BP des sédiments organiques. L'accumulation de ces sédiments enrichis en matière organique correspond au réchauffement du début de l'interglaciaire actuel, celui de «l'optimum climatique de l'Holocène» (Fig. 8). L'histoire de la mare peut être précisée à partir de ces datations.

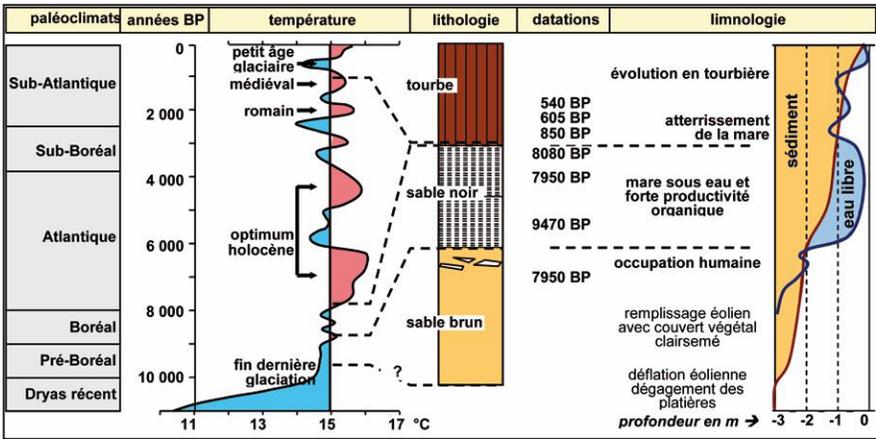


Figure 8 : Corrélation des sédiments de la Mare de Belle-Croix avec la courbe d'évolution climatique de l'Holocène. L'amélioration climatique du début de l'Holocène en Europe est bien documentée par un large spectre de preuves. Les températures moyennes de l'hémisphère Nord données ici sont tirées de DAWSON (1992) et SCHÖNWIESE (1995).

3.9 Creusement des dépressions

Le remplissage basal de l'actuelle mare n'est pas formé de sable de Fontainebleau en place : ce sont des sables éoliens qui se distinguent très clairement des sables locaux. La dépression a donc été vidée dans un premier temps. Le creusement de la dépression sans exutoire ne peut être que le résultat d'une déflation éolienne. Cette déflation éolienne est à rapporter à la dernière période glaciaire, avant 10 000-12 000 ans BP. Il faut vraisemblablement rattacher à cet épisode de déflation éolienne le creusement d'autres dépressions surtout abondantes sur la façade Ouest du massif, même si certaines ne sont

pas en eau car non soutenues par une dalle de grès imperméable (THIRY *et al.*, 2010). La déflation éolienne indique un paysage de toundra, à couvert végétal très clairsemé.

3.10 Remplissage éolien

Des sables éoliens constituent les premiers remplissages des dépressions «évidés» précédemment. Ils marquent un ralentissement ou un arrêt des déflations pendant que la végétation se réinstalle dans le paysage. Les sables éoliens contiennent des feldspaths et des minéraux argileux avec chlorite et minéraux smectitiques qui ont une origine exogène par rapport aux Sables de Fontainebleau. Ce cortège minéral est similaire à celui des sables soufflés sur les plateaux calcaires de la forêt de Fontainebleau (ROBIN & DECONINCK, 1975) et montre des affinités avec la couverture de limons du plateau de Brie et de Beauce. Ces minéraux fins peuvent donc avoir une provenance plus lointaine.

3.11 L'occupation humaine

Les éléments de calcaire silicifié n'ont pas pu être mis en place par des processus naturels. Ils indiquent clairement l'intervention de l'homme pour leur transport depuis le plateau de Brie jusqu'aux platières qui dominent ce dernier d'environ 50 m. Qui plus est, des marques caractéristiques de taille sont avérées sur l'un des éléments de la Mare de Belle-Croix. Ces traces d'occupation humaine de la dépression de Belle-Croix se placent à la transition entre les dépôts éoliens et la mise en eau de la mare, marquée par les dépôts organiques surincombants. Cette occupation humaine doit être rapprochée du site Mésolithique du Point de Vue du Camp de Chailly (à environ 2 km à l'WNW de la mare), où ont été mis à jour une abondante industrie «microlithique», de nombreux foyers et des gravures rupestres (CABROL & PAURON, 1935).

Il faut souligner qu'aucun élément lithique n'a été rencontré dans les dépôts organiques supérieurs. Aussi, peut-on envisager que la dépression n'était pas, ou seulement sporadiquement, sous eau lors de cette occupation humaine. En effet, si l'imperméabilisation de la dépression s'est faite progressivement par colmatage des fissures par des dépôts argilo-organiques, comme ceux vus dans les fronts de taille de carrière au voisinage de la mare, il est possible que la dépression n'était pas encore remplie à l'époque de l'occupation humaine. L'activité humaine autour de ce site coïncide avec le réchauffement climatique et précède apparemment la mise en eau de la dépression.

3.12 Dépôts riches en matière organique

Les dépôts riches en matière organique sont remarquables par la finesse des sédiments et leur forte teneur en matière organique. Les dépôts holocènes riches en matière organique et tourbes sont connus dans tous les lacs des régions tempérées et tapissent très souvent le fond des vallées (BIRKS, 1986 ; ANTOINE *et al.*, 2000 ; ORTH *et al.*, 2004). On considère que ces dépôts correspondent à un changement global de la biogéosphère. Ils correspondraient, soit à une augmentation de la productivité biologique des mares (essentiellement algues), soit au lessivage et à l'érosion des sols des bassins versants. Outre les facteurs climatiques, la productivité des lacs et des mares dépend aussi de l'apport en nutriments. Ainsi, l'installation d'une sédimentation riche en matière organique reflèterait le développement de sols sur le bassin versant : les eaux qui en proviennent sont minéralisées et contiennent des matières organiques dissoutes qui favorisent la productivité.

Dans le Massif de Fontainebleau, les sols qui ont suivi la période glaciaire se sont installés sur une couverture plus ou moins continue de sables soufflés enrichis en bases à partir des apports éoliens (feldspaths et minéraux argileux). Les sols étaient vraisemblablement de type sols bruns acides ou podzoliques peu matures. Dans ces conditions, les solutions issues des sols étaient relativement minéralisées et pouvaient conduire à des mares aux eaux minéralisées, favorables à la production organique ou productivité.

Des conditions anaérobies ont pu se développer avec la productivité organique, induisant un milieu réducteur favorable à la conservation de la matière organique.

3.13 Le niveau charbonneux

Le niveau charbonneux noir, dont la nature reste à préciser, précède un hiatus de sédimentation d'environ 7500 ans. Il représente éventuellement une destruction des accumulations organiques plus anciennes (érosion, oxydation pendant des périodes d'assèchement, incendie, et ou exploitation de dépôts tourbeux). C'est un dépôt résiduel. Mais son âge comparable à celui des dépôts sous-jacents ne permet pas d'envisager qu'il ait cumulé des résidus charbonneux de feux successifs. On ne possède aucun témoin ou renseignement sur l'histoire de la mare entre la formation de ce niveau charbonneux et la préservation des niveaux tourbeux actuels. La question de sa cimentation reste entière : s'agit-il d'un ancien niveau de la nappe sur lequel se sont bloqués des feux successifs et dont les «sucs» organiques émis seraient venus cimenter ce niveau ?

3.14 L'installation de la tourbière

L'installation de la tourbière au-dessus des dépôts sablo-argileux riches en matière organique et du niveau charbonneux se fait de façon rapide, sans transition. En tout état de cause, le passage à la tourbière correspond à un changement du régime hydrique. Le plan d'eau ouvert, plus ou moins permanent, qui est à l'origine des dépôts noirs, s'est réduit suite à l'atterrissement partiel de la mare et à l'installation de phanérogames hygrophiles ou aquatiques avant l'arrivée des groupements végétaux turfigènes.

L'installation de la tourbière elle-même correspond aussi à une évolution dans la nature des eaux de la mare devenant plus oligotrophes. Cette tendance à l'oligotrophie correspond probablement à une évolution dynamique interne de la mare, mais traduit probablement aussi une évolution des sols installés sur la platière. Les sols établis sur les sables soufflés qui entourent la mare ont été lessivés au cours des siècles. L'évolution de sols neutres vers des sols acides est une évolution inévitable sur un substrat essentiellement riche en quartz sous climats humides. Dès que la couverture discontinue et peu épaisse des sables soufflés a été altérée, ce sont des sols podzoliques qui se sont formés, alimentant la mare en eaux moins minéralisées et plus acides. Une fois que les nutriments typiques de conditions eutrophiques, comme le phosphore et le potassium, furent lessivés et épuisés, la mare passa à des conditions oligotrophiques. Ainsi, l'installation de la tourbière résulte d'un atterrissement de la mare, mais aussi et surtout d'une évolution des conditions pédologiques autour de la mare.

Conclusions et perspectives

La datation des dépôts des mares à sphaignes des platières gréseuses du Massif de Fontainebleau montre que ces dépressions sont naturelles, établies de longue date et inscrites dans la mise en place des paysages actuels.

Le développement de ces mares commence par un environnement sur roche nue (grès), sans végétation. La séquence des dépôts s'inscrit dans l'évolution climatique de l'Holocène et est commandée par celle-ci. Les étapes successives de cette évolution sont : (1) évidemment des parties non cimentées des platières rocheuses par déflation éolienne pendant la dernière période froide, alors que le couvert végétal est très clairsemé ; (2) comblement partiel des creux, qui constituent des zones abritées, par des sables éoliens quand un début de végétation s'installe ; (3) arrivée de l'homme avec le réchauffement climatique et activité autour du point d'eau ; (4) mise en eau de la mare

avec sédimentation de dépôts riches en matière organique pendant la période chaude de l'optimum climatique ; (5) atterrissement de la mare avec installation d'un marais à roseaux et/ou carex, puis de la tourbière actuelle à sphaignes.

Même s'ils sont très discontinus, les enregistrements sédimentaires de ces mares sont remarquables et exceptionnels. Le volume des dépôts des mares est insignifiant par rapport au volume des matériaux qui a été érodé et exporté pendant la même période pour creuser et approfondir les vallées et mettre en relief les platières. Mais l'érosion ne laisse aucun enregistrement tangible. C'est pourquoi les dépôts des mares sont précieux : c'est eux qui renferment les archives de la mise en place des paysages actuels du massif.

La richesse des résultats obtenus est tout à fait exceptionnelle. Néanmoins, ces résultats posent d'autres questions et ouvrent des perspectives nouvelles autour de trois objectifs à long terme.

Objectif scientifique. – Connaître le passé et le fonctionnement actuel des zones humides et comprendre la mise en place des paysages bellifontains. C'est le dépouillement des archives contenues dans les différentes composantes des paysages qui permettra de répondre aux questionnements scientifiques soulevés.

Objectif patrimonial. – Préserver et transmettre pour l'avenir. La gestion conservatoire passe par une connaissance du passé, mais surtout par la connaissance de l'état actuel. Elle nécessite l'analyse et l'archivage de la situation actuelle, comme référentiel de l'état zéro à transmettre dans la perspective de mutations profondes liées aux changements climatiques qui se dessinent. Cette gestion passe aussi par l'information du public qui est garant de cette préservation et par l'éducation sous toutes ses formes.

Objectif de gestion. – Les mares du Massif de Fontainebleau ont le plus souvent été considérées comme creusées par l'homme pour des besoins domestiques et pour la chasse. Les datations ont montré leur «naturalité», les gérer c'est préserver cette naturalité ... et donc ne pas intervenir ou, du moins avec beaucoup de circonspection ! ... et en tout cas ne pas les curer.

Remerciements

L'Office National des Forêts (ONF) a soutenu financièrement le prélèvement et la datation des échantillons (commande 0036058 du 15/02/05). Les auteurs tiennent à remercier particulièrement Claude Lagarde, de la subdivision de Fontainebleau, pour avoir été sensible à ce problème et avoir contribué à l'émergence de nombre d'idées lors de nos discussions et visites sur le terrain.

Bibliographie

- ALIMEN H. 1936. Etude sur le Stampien du Bassin de Paris. *Mém. Société géologique France* 31 : 1-304.
- ANTOINE P., FAGNART J.-P., LIMONDIN-LOZOUET N. & MUNAUT A. V. 2000. Le tardiglaciaire du Bassin de la Somme: éléments de synthèse et nouvelles données. *Quaternaire* 11/2 : 85-98.
- BIRKS, H.J.B. 1986. Late-Quaternary biotic changes in terrestrial and lacustrine environments, with particular reference to north-west Europe. *In* : Berglund B.E. (ed.) Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology. Chichester, John Wiley, p. 3-65.
- CABROL A. & PAURON H. 1935. Station tardenoisienne du Point de Vue du Camp de Chailly (Seine-et-Marne). *Bull. Société Préhistorique de France* 32 : 120-126.
- CAMUS F. 1903. Catalogue des sphaignes de la flore parisienne. *Bull. Société botanique de France*, 50: 272-289.
- DAWSON A.G. 1992. Ice Age Earth : Late Quaternary Geology and Climate (Physical Environment), Routledge, London, 293 p.
- DISNAR J.R., GUILLET B., KERAVIDIS D., DI-GIOVANNI C. & SEBAG D. 2003. Soil organic matter (SOM) characterization by Rock-Eval pyrolysis: scope and limitations. *Organic Geochemistry* 34/3 : 327-343
- LIRON M.N. & ROYAUD A. 2001. Réseaux des mares du Massif de Fontainebleau. II - Etude des zones humides tourbeuses de la platière des Coulevreux. Rapport Armines/Ecole des Mines, LHM/RD/01/58, 101 p.
- LIRON M.N. & THIRY M. 2005. Peaty micro-zones on the sandstone ridges of the Fontainebleau Massif (France): hydrology and vegetation biodiversity. *In* : RIES C. & KRIPPEL Y. (eds.), Sandstone landscapes in Europe. Past, Present and Future. Proceedings of the 2nd Intern. Conference on Sandstone Landscapes, Vianden (Luxembourg), 25-28 may 2005. *Ferrantia* 44 : 215-220.
- ORTH P., PASTRE J.F., GUATHIER A., LIMONDIN-LOZOUET N. & KUNESCH S. 2004. Les enregistrements morphosédimentaires et biostratigraphiques des fonds de vallée du bassin-versant de la Beuvronne (Bassin parisien, Seine-et-Marne, France) : perception des changements climato-anthropiques à l'Holocène. *Quaternaire* 15/3 : 285-298.

ROBIN A.M. & DECONINCK F. 1975. Interprétation génétique d'un horizon pédologique profond ferro-argillique en forêt de Fontainebleau. *Sciences du Sol* 3 : 213-228.

SCHÖNWIESE C-D. 1995. Klimaänderungen. Daten, Analysen, Prognosen. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 224 p.

SEBAG D., DISNAR J.R., GUILLET B., DI GIOVANNI C., VERRECCHIA E.P. & DURAND A. 2006. Monitoring organicmatter dynamics in soil profiles by 'Rock-Eval pyrolysis': bulk characterization and quantification of degradation. *European Journal of Soil Science* 57 : 344-355.

THIRY M., BERTRAND AYRAULT M. & GRISONI J.C. 1988. Ground-water silicification and leaching in sands: Example of the Fontainebleau Sand (Oligocene) in the Paris Basin. *Geological Society of America Bulletin* 100: 1283-1290.

THIRY M. 2005. Weathering morphologies of the Fontainebleau Sandstone and related silica mobility. In : RIES C. & KRIPPEL Y. (eds.), Sandstone landscapes in Europe. Past, Present and Future. Proceedings of the 2nd Intern. Conference on Sandstone Landscapes, Vianden (Luxembourg), 25-28 may 2005. *Ferrantia* 44 : 47-52.

THIRY M. 2007. Siliceous karst development in the Fontainebleau Sandstone (France). *Nature Conservation* 63 : 77-83.

THIRY M., PARCERISA D., LIRON M.N., 2010. Periglacial geomorphological evolution of the Fontainebleau Massif (France). *Zeitschrift für Geomorphologie* 54/1 : 93-110.

Hochauflösende Pollendiagramme vom Tourbière Chaume Thiriet (Südvogesen, NO Frankreich) zeigen kleinräumige Muster im Pollenniederschlag während der letzten 2000 Jahre

Pim DE KLERK & Adam HÖLZER

Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe
Erbprinzenstraße 37, D-76133 KARLSRUHE

Zusammenfassung :

Hochauflösende palynologische Untersuchungen von zwei eng benachbarten Bohrkernen aus dem Tourbière Chaume Thiriet (Südvogesen, NO Frankreich) geben detaillierte Einsichten in die Vegetationsentwicklung tieferer Lagen, auf den Mineralböden der Umgebung in höheren Lagen und lokal im Moor während der letzten 2000 Jahre. Die Chronologie kann allerdings erst eindeutig geklärt werden, wenn Radiokarbonaten vorliegen. Obwohl regionale Pollentypen in beiden Kernen ähnliche Verläufe zeigen, gibt es einige Unterschiede, die wahrscheinlich durch eine unterschiedliche Pollendeposition unter Einfluss von Luv- und Lee-Effekten an der Bohrstelle verursacht werden, bzw. durch eine unterschiedliche Entfernung der Bohrkern zur Vegetation auf Mineralböden. Der lokale Pollenniederschlag ist auf kürzeste Entfernung sehr unterschiedlich, was auf eine große Variation in der Vegetationsdynamik hindeutet. Dabei ist nicht nur an einen unterschiedlichen lokalen Pflanzenwuchs zu denken, sondern auch an Unterschiede in Pollen- und Sporenproduktion. Obwohl die Fichte (*Picea abies*) mit Sicherheit schon seit vielen Jahrtausenden natürlich in den Vogesen anwesend war, ist derzeit noch nicht zu sagen, ob sie seit vielen Jahrhunderten lokal im Tourbière Chaume Thiriet natürlich auftrat oder erst nach den Anpflanzung im 19. Jahrhundert.

Résumé :

Des recherches palynologiques à haute définition sur deux carottes, prélevées tout près l'une de l'autre et directement dans la tourbière de la Chaume Thiriet (Vosges du Sud, Nord-Est de la France), donnent une vue détaillée du développement de la végétation sur les couches les plus basses sur sol minéralisé de l'environnement, des couches plus élevées et localement dans la tourbière durant les 2000 dernières années. Cependant, la chronologie ne pourra être vraiment clarifiée que lorsque l'on aura les résultats des

datations au carbone 14. Bien que les types polliniques régionaux des deux carottes montrent un historique similaire, quelques différences sont à noter qui résultent probablement d'un dépôt de pollens différent selon la direction du vent (avec le vent ou contre le vent) au niveau du sondage.

Le dépôt des pollens sur une petite distance est très différent et fait penser à une grande variation dans la dynamique de la végétation. Il ne faudrait donc pas seulement imaginer une végétation locale très variée, mais penser aussi à des différences dans la production des pollens et des spores. Par ailleurs, bien que l'épicéa (*Picea abies*) soit présent dans les Vosges de façon naturelle depuis de nombreux millénaires, sans datation, on ne peut pas encore conclure quant à son apparition dans la tourbière de la Chaume Thiriet de manière naturelle depuis quelques siècles, ou bien seulement depuis les plantations du 19^{ème} siècle.

Summary :

Recent high-resolution palynological research of two closely-spaced cores from the Tourbière Chaume Thiriet (southern Vosges Mountains, NE France) provides detailed insight in vegetation development at low elevations, of mineral soils at high elevations, and locally in the mire during the last 2000 years. A reliable chronological interpretation is not yet possible because radiocarbon dates are not yet available. Although the trends of regional pollen types in both cores are rather similar, there are also minor differences that might be attributed to variations in pollen deposition in windward and leeward positions around the coring site, or to different distances of the cores to vegetation types on mineral soils. Local pollen deposition varies greatly over short distances, which indicates a large variation in vegetation dynamics. These do not necessarily relate solely to differences in local plant growth, but may also be attributed to variations in pollen and spore production. Although spruce (*Picea abies*) was with certainty naturally present in the Vosges Mountains since many Millennia, it is at present not possible to conclude whether the taxon occurred naturally in the Tourbière Chaume Thiriet during many centuries, or first after plantations in the 19th century.

Schlüsselwörter : Moore, Moorentwicklung, Nordost-Frankreich, Pollen-niederschlag, Vogesen.

1. Einführung

Mit insgesamt etwa 165 Pollendiagrammen sind die Vogesen eine der palynologisch am besten untersuchten Regionen Europas (vgl. DE KLERK, in Vorbereitung). Pol-

lendiagramme mit einer hohen zeitliche Auflösung des Spätholozäns sind jedoch recht selten: nur vier Pollendiagramme haben eine Auflösung kleiner als 50 Jahre (z.B. FIRBAS *et al.*, 1948; KALIS, 1984, 1985; EDELMAN, 1985; KALIS *et al.*, 2006). Damit liegt die Region deutlich gegenüber dem Schwestergebirge Schwarzwald zurück, wovon schon etliche Pollendiagramme vorliegen die – meist in Kombination mit Großresten und Geochemie - die rezenten Zeitabschnitte mit deutlich noch höherer zeitlicher Auflösung abdecken (HÖLZER & HÖLZER, 1987, 1988, 1995, 2000, 2002; DIETZ, 2001; ROHRER, 2006).

Eine zweite wichtige Forschungsfrage betrifft die kleinräumliche Differenzierung von Pollenniederschlag und Moorvegetationstypen. Der Pollenniederschlag nimmt mit zunehmender Distanz zu den Pollenquellen ab, und so können nach JANSSEN (1966, 1973) drei Bereiche identifiziert werden (vgl. Abb. 1): der lokale Pollenniederschlag in unmittelbarer Nähe der Pollenquelle, der regionale Pollenniederschlag auf größere Entfernung mit über größere Distanzen ähnlichen Werten und der extralokale Pollenniederschlag in einem Übergangsbereich. Die lokalen und extralokalen Bereiche können für Bäume/Sträucher mit hoher Pollenproduktion mehrere hunderte Meter betragen. Deshalb wurden Pollenanalysen von Bohrkernen mit unterschiedlicher Entfernung zu größeren Vegetationseinheiten benutzt, um großräumliche Muster in der Vegetation zu rekonstruieren, unter Anderem auch in den Vogesen (z.B. JANSSEN *et al.*, 1985; JANSSEN & BRABER, 1987; BOS & JANSSEN, 1996; DE KLERK, 2002). Bis jetzt ist jedoch noch nicht ausreichend geklärt, bis zu welcher Entfernung der (extra)lokale Pollenniederschlag von Kräutern und Zwergsträuchern reicht, oder anders formuliert: bis zu welcher Entfernung von einem Bohrkern können Aussagen über die lokale Moorvegetation getroffen werden? Palynologisch untersuchte Oberflächenproben mit einer Distanz von nur einem Meter aus einem Polygonmoor in Nordost-Sibirien zeigen, dass der lokale Pollenniederschlag von Meter zu Meter sehr unterschiedlich sein kann (DE KLERK *et al.*, 2009). Auch im Schwarzwald zeigten Moorbohrkerne auf kürzeste Entfernung große Unterschiede im lokalen Pollenniederschlag (DIETZ, 2001; ROHER, 2006).

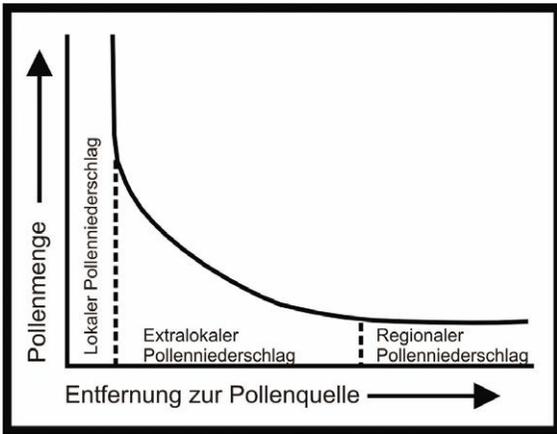


Abbildung 1: Model von Pollendeponation auf wachsende Entfernung zur Pollenquelle (Nach: JANSSEN 1966, 1973).

Um die Befunde aus Südwest-Deutschland – sowohl hinsichtlich der hohen zeitlichen Auflösung des Spätholozäns als auch der kleinräumigen Variation im Pollenniederschlag - besser verstehen und einordnen zu können, werden jetzt vergleichbare Untersuchungen in zwei Vogesenmooren durchgeführt: der Tourbière Chaume Thiriet und der Cirque du Frankenthal (Abb. 2). In diesem Aufsatz werden die ersten Ergebnisse der Untersuchungen am Tourbière Chaume Thiriet vorgestellt.

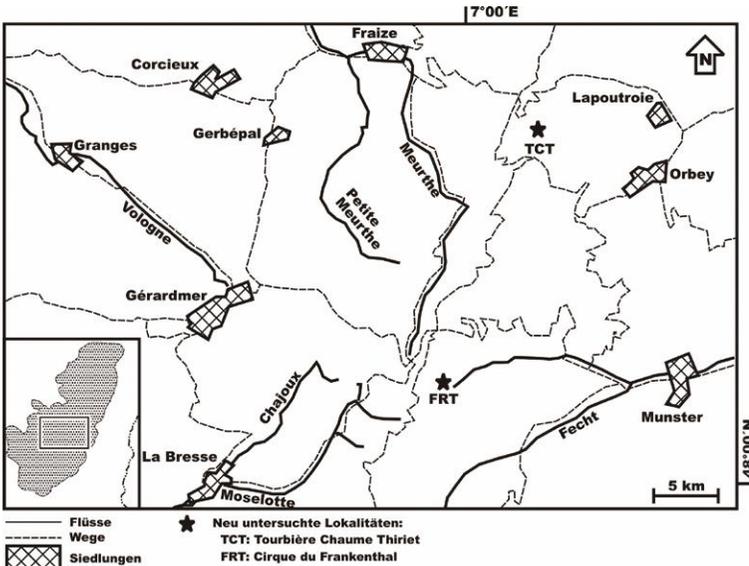


Abbildung 2 : Lage der untersuchten Moore in den südlichen Vogesen.

2. Untersuchungsgebiet

Die Chaume Thiriet liegt auf etwa 1100 über NN an einem Westhang nördlich vom Lac Blanc. Südlich der Chaume befindet sich ein Hangmoor mit einer dichten Waldvegetation, welches von einem kleinen Bach durchflossen wird. Auf einer kleinen offenen Stelle von etwa 10 m Durchmesser wurden zwei Bohrkerne entnommen (vgl. Abb. 3). Neben einem dichten Moorwald mit hauptsächlich Birke und Fichte gibt es nahe der Bohrstellen außerdem *Pinus sylvestris*, *P. mugo*, und eine verkrüppelte *Salix*, mit einem Unterwuchs von unter Anderem *Vaccinium myrtillus*, *Calluna vulgaris*, *Empetrum nigrum*, *Eriophorum vaginatum*, *Selinum pyrenaicum*, *Sphagnum palustre*, *S. fallax* und *S. nemoreum*.

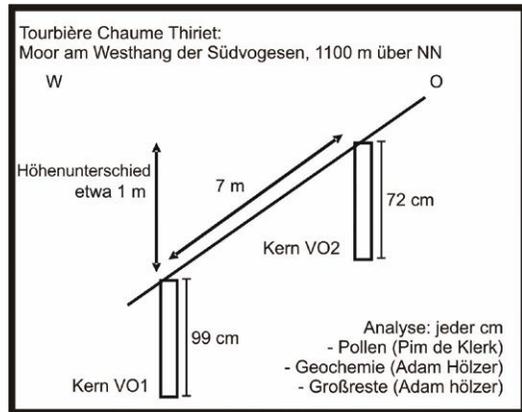


Abbildung 3 : Forschungsstrategie im Tourbière Chaume Thiriet.

3. Methodik

Die Bohrkerne VO1 und VO2 wurden mit einem Wardenaar-Bohrer entnommen (WARDENAAR, 1987). In gefrorenem Zustand wurden die Kerne in Scheiben von 1 cm Mächtigkeit geschnitten. Proben für die palynologische Untersuchung wurden aus dem inneren Teil genommen, der Rest dient geochemischen und großrestanalytischen Untersuchungen (vgl. Abb. 3).

Laboraufbereitung der Pollenproben erfolgte nach der KOH/Acetylyse-Methode mit Zugabe von *Lycopodium*-Tabletten (vgl. FÆGRI & IVERSEN, 1989). Die Pollentypen der hier abgebildeten Pollendiagramme (Abb. 4-6) wurden identifiziert und benannt nach FÆGRI & IVERSEN (1989) (mit (f) gekennzeichnet), MOORE *et al.* (1991) (m), der Northwest European Pollen Flora (PUNT, 1976 ; PUNT & CLARKE, 1980, 1981, 1984; PUNT & BLACKMORE, 1991 ; PUNT *et al.*, 1988, 1995, 2003) (p).

Weitere Typen (mit (*) gekennzeichnet) wurden beschrieben von DE KLERK *et al.* (2008) (*). Außerdem wurde die Pollenreferenzkollektion des Staatlichen Museums für Naturkunde Karlsruhe benutzt, um schwierig identifizierbare Pollentypen pollenmorphologisch besser einzuordnen. Um den Unterschied zwischen identifizierten palynomorphologischen Typen und daraus interpretierten Pflanzentaxen klar darzustellen, werden im Text die Namen von Pollentypen im Schriftart KAPITÄLCHEN dargestellt (vgl. JOOSTEN & DE KLERK, 2002 ; DE KLERK & JOOSTEN, 2007).

Als Berechnungsbasis der Pollenwerte wurde eine Summe mit Pollentypen von Pflanzen mit einem Hauptvorkommen unterhalb von 1000 m NN gewählt. Die Pollenkurven sind in Prozentwerten (schwarze Kurven) und mit einer fünffachen Überhöhung (offene Kurven mit Tiefelinien der Proben) dargestellt.

4. Vegetationsgeschichte unterhalb ca. 1000 m NN und Korrelation der Pollendiagramme

Abb. 4 zeigt die Typen, welche Pflanzen zugeordnet werden können, die hauptsächlich unterhalb von 1000 m NN wachsen (Typen innerhalb der Pollensumme). Der Theorie nach sollte der Tourbière Chaume Thiriet innerhalb des regionalen Pollenniederschlagsbereichs von diesen Pollentypen liegen und in beiden Diagrammen ähnliche Trends und Werte zeigen. Für die meiste Pollentypen stimmt dies. Ihre Trends können daher dazu benutzt werden, die beiden Pollendiagramme ähnlich zu zonieren und miteinander zu korrelieren, z.B. anhand des simultanen Anstiegs von JUGLANS REGIA TYPE, AVENA-TRITICUM GROUP und SECALE CEREALE (Grenze zwischen Zonen 2 und 3), eine starke Abnahme dieser Typen an der Grenze zu Zone 4, und deren Wiederanstiege an der Basis von Zone 5. Ein Anstieg der Werte vom CARPINUS BETULUS TYPE definiert den Übergang von Zone 5 zu Zone 6, und dessen Abnahme dient als Unterschied zwischen den Zonen 6 und 7.

Eine genaue Datierung der Pollenzonen bleibt vorerst hypothetisch, da Radiokarbondatierungen noch fehlen, aber einige Aussagen können getroffen werden. Zone 1 in Diagramm VO1 ist nicht in Diagramm VO2 erhalten, was auf einen etwas früheren Anfang der Torfbildung an der VO1-Stelle hinweist. Die Abwesenheit von CASTANEA TYPE - Pollen in diese Zone suggeriert, dass diese Zone die Zeitperioden vor die Römerzeit repräsentiert (vgl. VISET *et al.*, 1996); die Anstiege von Pollen kultivierter Pflanzen (z.B. AVENA-TRITICUM GROUP und SECALE CEREALE am Basis der Zone 3) entspricht vermutlich der Klostergründungen um AD 650-700 und dem damit ver-

knüpften Anfang des Ackerbaus in der Region (vgl. FIRBAS *et al.*, 1948 ; SCHMITT, 1963 ; SCHUBNEL, 1983 ; STOEHHR, 1991). Die Abnahme dieser Pollentypen in Zone 4 könnte mit einem Einbruch der Bevölkerungsdichte während eines Krieges oder einer Epidemie zusammenhängen, was aber ohne absolute Datierungen nicht näher zu belegen ist.

Es gibt jedoch bei einigen Pollentypen einige deutliche Unterschiede in der regionalen Pollendeposition. Z.B. fehlt eine deutliche CANNABIS SATIVA - Phase in Diagramm VO1, ein Gipfel des ALNUS GLUTINOSA TYPE in VO1 in Zone 4 zeigt sich nicht in Diagramm VO2, und ein deutlicher Anstieg von Werten vom AMBROSIA TYPE (bzw. XANTHIUM SPINOSUM TYP sensu BEUG, 2004) in Zone 7 ist nur in VO1 ersichtlich. Es ist derzeit noch unklar, welche Faktoren für diese Unterschiede verantwortlich sind, aber Unterschiede im Pollenniederschlag zwischen Luv- und Leeseite in der kleinen Waldlichtung von nur 10 m sind sehr gut vorstellbar.

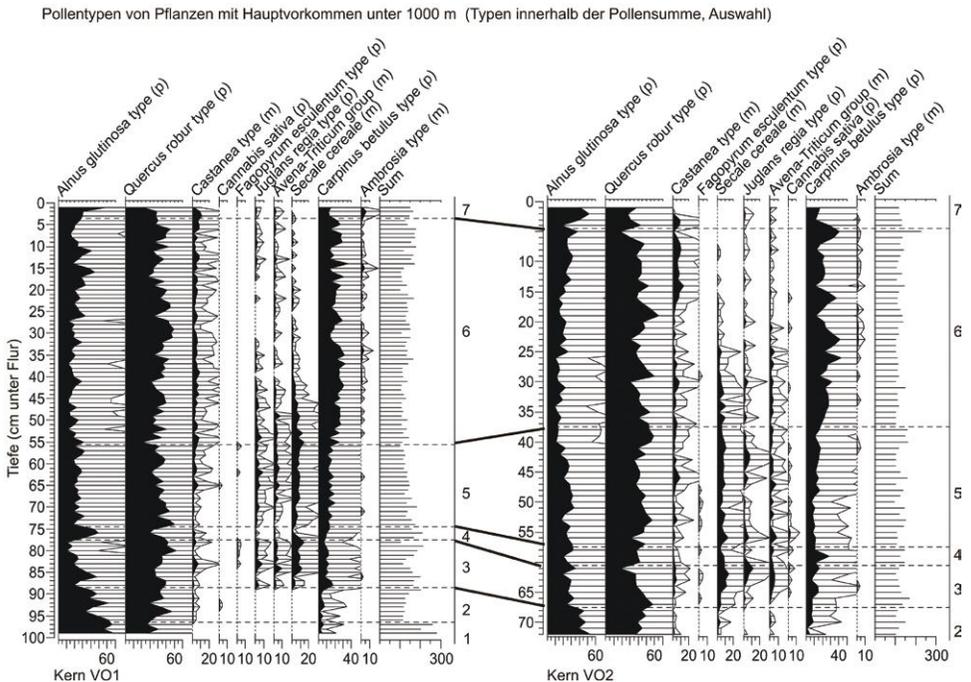


Abbildung 4 : Pollendiagramme der Kerne VO1 und VO2 – Pollentypen von Pflanzen mit Hauptvorkommen unter 1000 m NN (Auswahl).

5. Vegetationsgeschichte auf den Mineralböden oberhalb ca. 1000 m NN

Auch die Vegetation auf Mineralstandorten um das Moor herum sollte mit regionalen Pollenniederschlagswerten in den Bohrkernen repräsentiert sein. Dies gilt für die meisten Pollentypen (Abb 5) Es gibt jedoch vereinzelt große Unterschiede in den Pollenwerten, besonders bei *ABIES* in Zone 2, und beim *FAGUS SYLVATICA* TYPE in der unteren Hälfte von Zone 5. Diese Unterschiede können damit zusammenhängen, dass bei einem kleineren Umfang des Moores in der Vergangenheit Kern VO1 näher am Moorrand gelegen hat als VO2, und daher stärkere extralokale Niederschlagswerte von *ABIES* und *FAGUS SYLVATICA* TYPE zeigt. Allerdings sind auch hier Unterschiede in Luv- und Leeseite der kleinen Waldlichtung denkbar. Es muss erwähnt werden, dass auch *Pinus* auf Mineralstandorten vorkommt. Da jedoch *Pinus* auch im Moor wächst, ist deren Pollentyp in Abb. 6 dargestellt und aus Abb. 5 herausgehalten.

Pollentypen von Pflanzen außerhalb der Moore, welche auch oberhalb 1000 m NN vorkommen (Auswahl)

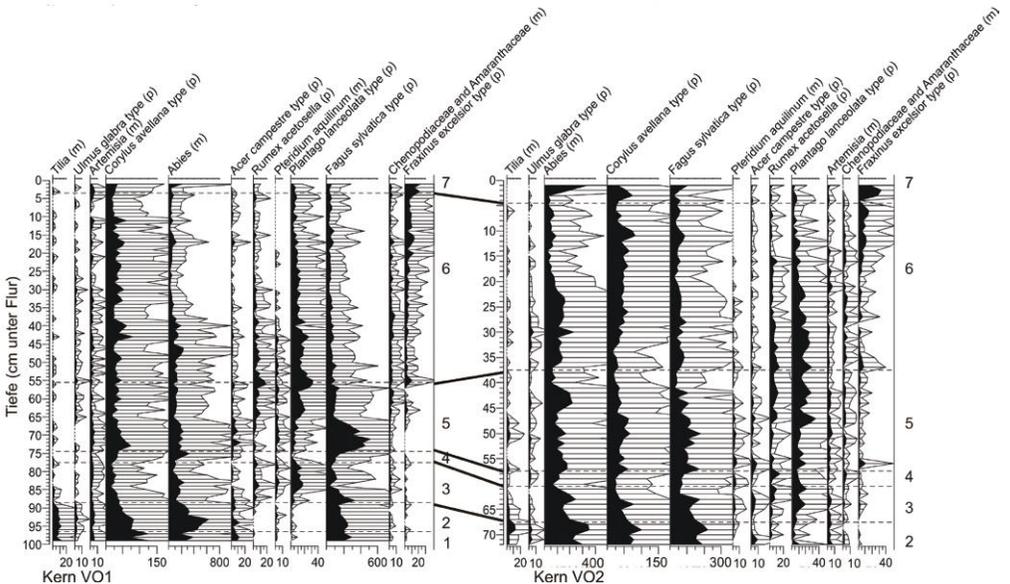


Abbildung 5 : Pollendiagramme der Kerne VO1 und VO2 – Pollentypen von Pflanzen auf Mineralstandorte in höhere Lage (Auswahl).

Die Zunahme vom *PLANTAGO LANCEOLATA* TYPE und *RUMEX ACETOSELLA* TYPE in Zone 3 könnte auf Ausbreitung von Wiesen («Chaumes») in den hohe Vogesen deuten. Obwohl die höchsten Teile des Gebirges schon natürlich oberhalb der Baumgrenzen lagen, haben die Chaumes sich unter Einfluss von Beweidung seit dem Mittelalter ausgebreitet (vgl. JANSSEN *et al.*, 1974 ; DE VALK, 1979, 1981). Die Abnahme vom *PLANTAGO LANCEOLATA* TYPE und *RUMEX ACETOSELLA* TYPE in Zone 4 deutet wahrscheinlich auf eine abnehmende Beweidung unter Einfluss der Bevölkerungsabnahme, die durch die Abnahme der regionalen Pollentypen suggeriert wird (vgl. der vorherige Abschnitt).

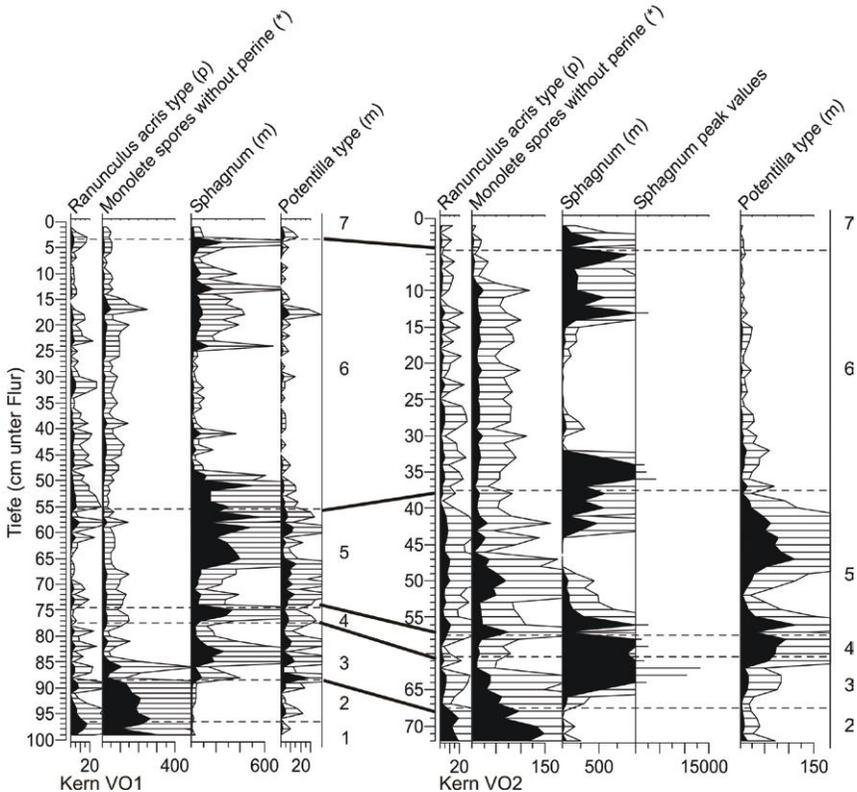
6. Kleinräumige Muster im Pollenniederschlag der lokalen Moorvegetation

Abbildung 6 zeigt, dass die Werte von Pollentypen lokaler Moorpflanzen sehr unterschiedlich sind. Die Werte vom *RANUNCULUS ACRIS* TYPE zeigen z.B. in VO2 höhere Werte in Zone 5 als in VO1. Werte von Farnsporen (*MONOLETE SPORES WITHOUT PERINE*) sind in VO1 in Zone 1 deutlich höher als in VO2. *SPHAGNUM*-Sporen sind mit sehr unterschiedlichen Werten vertreten (bis 600% in VO1, bis 15000% in VO2); obwohl die Phasen mit hohen und niedrigeren Werten auf dem ersten Blick vielleicht synchron erscheinen, gibt es doch große Unterschiede, z.B. in Zone 4 und am Anfang der Zone 5, und in Zone 7. Vom *POTENTILLA* TYPE gibt es in VO2 einige Phasen mit hohen Werten in Zonen 4 und 5, die in VO1 fehlen. Phasen mit hohen Werten von *CALLUNA VULGARIS* gibt es in VO1 in den Zonen 3, 5 (obere Hälfte) und 6 (unterer und oberer Teil), und in VO2 in Zonen 5 (untere Hälfte) und im mittleren Teil von Zone 6. Während eine deutliche Phase mit *VACCINIUM* GROUP - Pollen in VO1 im oberen Teil von Zone 5 auftritt, gibt es *VACCINIUM* GROUP - Phasen in VO2 in den unteren Teilen von Zone 5 und Zone 6. Ein sehr auffälliger Gipfel von *CYPERACEAE* (bis 1500%) in VO2 fehlt ganz in VO1 (*CYPERACEAE* Werte nur bis 60%). Werte von *APIACEAE* UNDIFF. und vom *PEUCEDANUM PALUSTRE* TYPE gibt es nur in Zone 6 von VO2. Sehr wahrscheinlich sind diese Pollentypen *Selinum pyrenaicum* zuzuschreiben, die *PEUCEDANUM PALUSTRE* TYPE - Pollen produziert (vgl. PUNT & CLARKE, 1984). Starke Unterschiede zwischen beiden Kernen bei den Werten von *WILD GRASS* GROUP und *MELAMPYRUM* gibt es in Zone 6. Sehr wahrscheinlich sind diese Unterschiede das Ergebnis einer unterschiedlichen lokalen Vegetationsdynamik an den beiden Bohrstellen. Allerdings sind auch Unterschiede in der Pollen/Sporenproduktion denkbar: z.B.

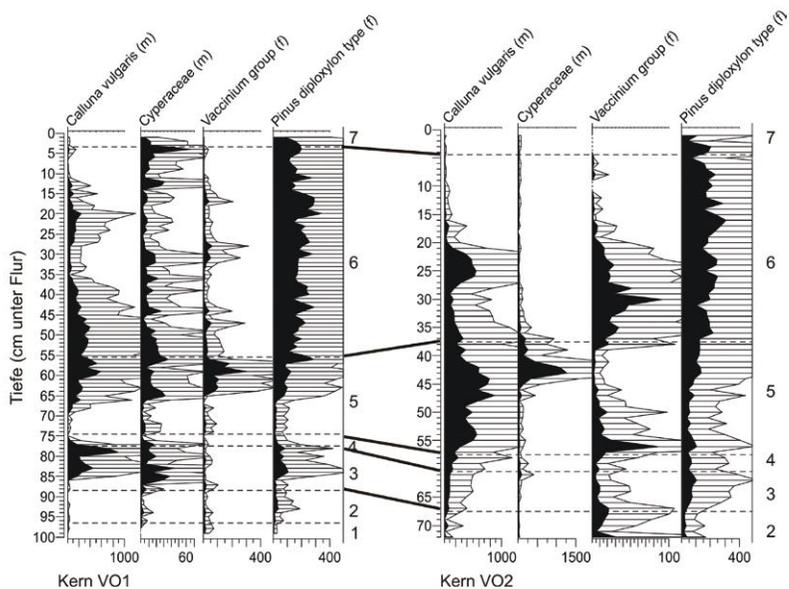
Cyperaceae und *Sphagnum* sind dafür bekannt, während Stressbedingungen eine deutlich erhöhte Pollen- und Sporenproduktion zu erreichen (vgl. HÖLZER & HÖLZER, 1995 ; DE KLERK et al., 2007, 2009).

Werte von SALIX und dem PINUS DIPLOXYLON TYPE sind in beiden Diagrammen ziemlich ähnlich, obwohl in der Nähe von Kern VO2 zwei Kiefern und eine Weide stehen und daher hier höhere (extra)lokale Werte zu erwarten wären. Möglicherweise ist die Pollenproduktion der lokalen Kiefern gering und der PINUS DIPLOXYLON TYPE repräsentiert weitestgehend regionale Werte von den Kiefernpopulationen auf Mineralstandorten. Diese Hypothese ist jedoch aus den Pollenwerten nicht belegbar. Auch die Kurven vom BETULA PUBESCENS type ähneln sich sehr, obwohl es kleinere Unterschiede in deren Werten gibt. Außer in den oberen Proben sind die Werte von PICEA in beiden Kernen auch fast gleich.

Pollentypen von Moorpflanzen (Auswahl) 1



Pollentypen von Moorpflanzen (Auswahl) 2



Pollentypen von Moorpflanzen (Auswahl) 3

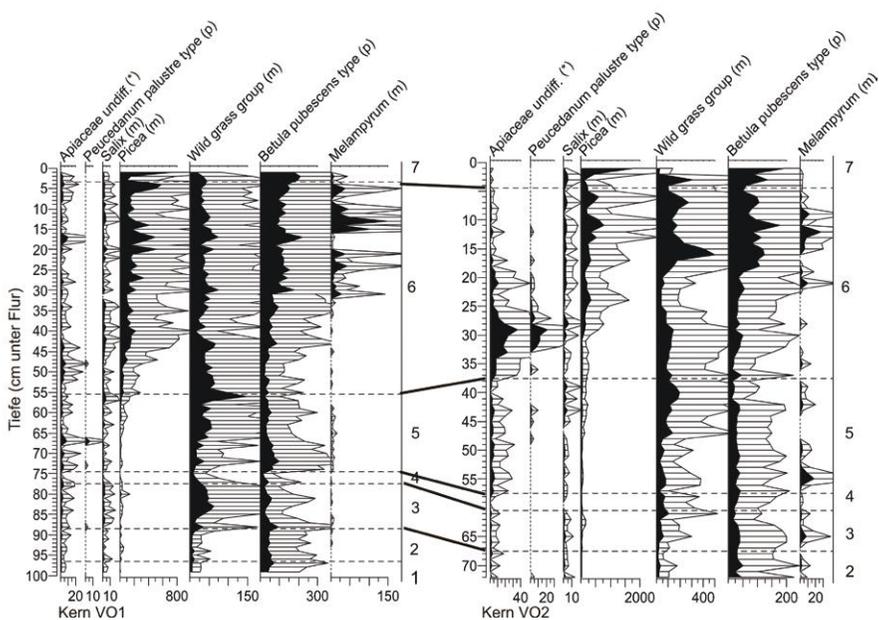


Abbildung 6(a-c) : Pollendiagramme der Kerne VO1 und VO2 - Pollentypen von lokalen Moorpflanzen (Auswahl).

7. Zur Fichten-Frage

Die Anstiege von *PICEA* und vom *PINUS DIPLOXYLON TYPE* in Zone 6 hängen wahrscheinlich mit der Anpflanzung von Kiefern und Fichten ab ca. AD 1830 zusammen (vgl. POLGE, 1963; KALIS, 1984a/b). Es gibt eine schon lange diskutierte Frage nach der Natürlichkeit der Fichte in den Vogesen (vgl. z.B. STROHMEYER, 1913 ; BARTSCH & BARTSCH, 1929 ; OBERDORFER, 1937 ; FIRBAS *et al.*, 1948 ; ZOLLER, 1956 ; OCHSENBEIN, 1963 ; POLGE, 1963). Die Untersuchungen von KALIS (1984a/b), KALIS *et al.* (2006) und EDELMAN (1985) zeigen eindeutig, dass *Picea* schon seit vielen Jahrtausenden in den Vogesen anwesend war, wahrscheinlich vor allem an Moorstandorten.

Eigenartig bleibt jedoch, dass vor den Anpflanzungen kaum *PICEA* - Pollen verbreitet wurden. Dies wird vor allem durch die Forschung im Moor Hirschsteinried illustriert, wo STROHMEYER (1913) bis 90 cm Tiefe guterhaltene Fichtenzapfen und Holzreste gefunden hat, während OBERDORFER 1937 - der besonders zur Klärung der Fichtenbefunde im gleichen Moor Pollenproben bis 120 cm Tiefe sehr hoch ausgezählt hat – unterhalb 30 cm nur sehr geringe *PICEA* - Pollenwerte fand. Hieraus kann man schlussfolgern, dass die angepflanzten Fichten und deren Nachkommen eine deutlich höhere Pollenproduktion haben als die natürlich in den Vogesen auftretenden Fichtenpopulationen. Eine Erklärung hierfür steht noch aus. Bemerkenswert hierbei ist, dass auch an der Hornisgrunde im Nordschwarzwald eine Fichtennadel bei 0,3% Fichtenpollen (auf eine Baumpollensumme bezogen) gefunden wurde (HÖLZER & HÖLZER, 1987).

Ob die Fichte im Tourbière Chaume Thiriet natürlich vorkam oder erst seit der Anpflanzungen, kann daher aus den Pollenwerten nicht gefolgert werden: hoffentlich geben die künftigen Großrestuntersuchung zu dieser Frage mehr Hinweise.

8. Fazit

Die Untersuchungen vom Tourbière Chaume Thiriet zeigen, dass es große Unterschiede im Pollenniederschlag auf kürzeste Entfernung gibt. Dies zeigt, dass Aussagen über die lokale Vegetation in einem Moor nur sehr wenige Meter um den Bohrpunkt Gültigkeit besitzt: man soll deswegen davon absehen, die Entwicklung eines ganzen Moores anhand nur eines Pollendiagramms zu rekonstruieren.

Danksagung

Wir danken Alain Untereiner, Georg Philippi und Fabièn Dupont für die Unterstützung im Gelände.

Literatur

BARTSCH J. & BARTSCH M. 1929. Buche, Tanne und Fichte im Südschwarzwald und in den Südvogesen. *Verhandlungen des Botanischen Vereins der Provinz Brandenburg* 71: 131-142.

BOS J.A.A. & JANSSEN C.R. 1996. Local impact of Palaeolithic Man on the environment during the end of the last glacial in the Netherlands. *Journal of Archaeological Science* 23: 731-739.

DE KLERK P. 2002. Changing vegetation patterns in the Endinger Bruch area (Vorpommern, NE Germany) during the Weichselian Lateglacial and Early Holocene. *Review of Palaeobotany and Palynology* 119: 275-309.

DE KLERK P. in Vorbereitung. Palynological research in the Vosges Mountains (NE France): an overview.

DE KLERK P. & JOOSTEN H. 2007. The difference between pollen types and plant taxa: a plea for clarity and scientific freedom. *Eiszeitalter und Gegenwart/Quaternary Science Journal* 56: 162-171.

DE KLERK P., COUWENBERG J. & JOOSTEN H. 2007. Short-lived vegetational and environmental change during the Preboreal in the Biebrza Upper Basin (NE Poland). *Quaternary Science Reviews* 26: 1975-1988.

DE KLERK P., HELBIG H. & JANKE W. 2008. Vegetation and environment in and around the Reinberg basin (Vorpommern, NE Germany) during the Weichselian late Pleniglacial, Lateglacial, and Early Holocene. *Acta Palaeobotanica* 48: 301-324.

DE KLERK P., DONNER N., JOOSTEN H., KARPOV N.S., MINKE M., SEIFERT N. & THEUERKAUF M. 2009. Vegetation patterns, recent pollen deposition and distribution of non-pollen palynomorphs in a polygon mire near Chokurdakh (NE Yakutia, NE Siberia). *Boreas* 38: 39-58.

DE VALK E.J. 1979. Pollenanalytical contributions towards Late-Holocene history

of the subalpine plant communities of the Kastelberg (Vosges, France). In : WILMANN O. & TÜXEN R. (hrsg). Werden und Vergehen von Pflanzengesellschaften (Rinteln, 20.-23. März 1978). Vaduz. Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde. *J. Cramer* : 269-284.

DE VALK E.J. 1981. Late Holocene and present vegetation of the Kastelberg (Vosges, France). Dissertation (Palynologie). Universität Utrecht. 294 S.

DIETZ U. 2001. Zur jüngeren Vegetationsgeschichte im Hotzenwald (Südschwarzwald): drei Pollenprofile aus dem Lindauer Moos bei Ibach und Untersuchungen zum rezenten Pollenniederschlag. *Mitt. Ver. Forstl. Standortkunde u. Forstpflanzenzüchtung* 41: 29-43.

EDELMAN H.J. 1985. Late Glacial and Holocene vegetation development of La Goutte Loiselot (Vosges, France). Dissertation (Palynologie). Universität Utrecht. 197 S.

FÆGRI K. & IVERSEN J. 1989. Textbook of pollen analysis, 4th edn. (revised by FÆGRI K., KALAND P.E. & KRZYWINSKI K.). Caldwell. The Blackburn Press. 328 S.

FIRBAS F, GRÜNIG G., WEISCHEDEL I. & WORZEL, G. 1948. Beiträge zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte der Vogesen. *Bibliotheca Botanica* 121: 1-76.

HÖLZER A. & HÖLZER A. 1987. Paläoökologische Moor-Untersuchungen an der Hornisgrinde im Nordschwarzwald. *Carolinea* 45: 43-50.

HÖLZER A. & HÖLZER A. 1988. Untersuchungen zur jüngeren Vegetations- und Siedlungsgeschichte in der Seemisse am Ruhestein (Nordschwarzwald). *Telma* 18: 157-174.

HÖLZER A. & HÖLZER A. 1995. Zur Vegetationsgeschichte des Hornisgrinde-Gebietes im Nordschwarzwald: Pollen, Großreste und Geochemie. *Carolinea* 53: 199-228.

HÖLZER A. & HÖLZER A. 2000. Ein Torfprofil vom Westabfall der Hornisgrinde im Nordschwarzwald mit *Meesia triquetra* ÅNGSTR. *Carolinea* 58: 139-148.

HÖLZER A. & HÖLZER A. 2002. Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsgeschichte im Großen und Kleinen Muhr an der Hornisgrinde (Nordschwarzwald). *Mitt. Ver. Forstl. Standortkunde u. Forstpflanzenzüchtung* 42: 31-44.

JANSSEN, C.R. 1966. Recent pollen spectra from the deciduous and coniferous-deciduous forest of northeastern Minnesota: a study in pollen dispersal. *Ecology* 47: 804-825.

JANSSEN C.R. 1973. Local and regional pollen deposition. *In* : BIRKS H.J.B. & WEST R.G. (hrsg). Quaternary plant ecology. 14th Symposium of the British Ecological Society. Blackwell, Oxford : 31-42.

JANSSEN C.R. & BRABER F.I. 1987. The present and past grassland vegetation of the Chajoux and Moselotte vales (Vosges, France). 2. Dynamic aspects and origin of grassland vegetation in the Chajoux valley, interpreted from the contrast between regional and local pollen deposition of dominant pollen types and the distribution of pollen indicators in pollen diagrams. *Proc. Kon. Ned. Akad. van Wetensch.* 90 : 115-138.

JANSSEN C.R., KALIS A.J., TAMBOER-VAN DEN HEUVEL G. & DE VALK E.J. 1974. Palynological and paleoecological investigations in the Vosges (France) : a research project. *Geologie en Mijnbouw* 53: 406-414.

JANSSEN C.R., BRABER F.I., BUNNIK F.P.M., DELIBRIAS G., KALIS A.J. & MOOK W.G. 1985. The significance of pollen assemblages of contrasting sites in the Vosges. *Ecologia Mediterranea* 11: 39-43.

JOOSTEN H. & DE KLERK P. 2002.: What's in a name? Some thoughts on pollen classification, identification, and nomenclature in Quaternary palynology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 122: 29-45.

KALIS A.J. 1984a. L'indigénat de l'épicéa dans les Hautes Vosges. *Revue de Paléobiologie* Volume Spécial: 103-115.

KALIS A.J. 1984b.: Forêt de la Bresse (Vogezen), vegetatiekundige en pollenanalytische onderzoeken naar de bosgeschiedenis van een Centraal-Europees middelgebte. Dissertation (Palynologie). Universität Utrecht. 349 S.

KALIS A.J. 1985). La repartition des groupements forestiers sur une montagne – a partir d'un exemple dans les Hautes-Vosges. *Colloques Phytosociologiques* 13: 279-291.

KALIS A.J., VAN DER KNAAP W.O., SCHWEIZER A. & URZ R. 2006. A three thousand year succession of plant communities on a valley bottom in the Vosges Mountains, NE France, reconstructed from fossil pollen, plant macrofossils, and modern phytosociological communities. *Vegetation History and Archaeobotany* 15: 377-390.

- MOORE P.D., WEBB J.A. & COLLINSON M.E. 1991. Pollen analysis. Oxford. Blackwell Scientific Publications. 216 S.
- OBERDORFER E. 1937. Zur spät- und nacheiszeitliche Vegetationsgeschichte des Oberelsasses und der Vogesen. *Zeitschrift für Botanik* 30: 513-572.
- OCHSENBEIN G. 1963. La végétation du Hohneck. *In* : L'association Philomathique d'Alsace et de Lorraine. Le Hohneck. Aspects physiques biologiques et humains. Strasbourg : 157-184.
- POLGE H. 1963. Les forêts du versant occidental. *In* : L'association Philomathique d'Alsace et de Lorraine. Le Hohneck. Aspects physiques biologiques et humains. Strasbourg : 361-377.
- PUNT W. (hrsg) 1976. The Northwest European Pollen Flora I. Amsterdam. Elsevier. 145 S
- PUNT W. & BLACKMORE S. (hrsg) 1991. The Northwest European Pollen Flora VI. Amsterdam. Elsevier. 275 S.
- PUNT W. & CLARKE G.C.S. (hrsg) 1980. The Northwest European Pollen Flora II. Amsterdam. Elsevier. 265 S.
- PUNT W. & CLARKE G.C.S. (hrsg) 1981. The Northwest European Pollen Flora III. Amsterdam. Elsevier. 138 S.
- PUNT W. & CLARKE G.C.S. (hrsg) 1984. The Northwest European Pollen Flora IV. Amsterdam. Elsevier. 369 S
- PUNT W., BLACKMORE S. & CLARKE G.C.S. (hrsg) 1988. The Northwest European Pollen Flora V. Amsterdam. Elsevier. 154 S.
- PUNT W., BLACKMORE S., HOEN P.P. & STAFFORD P.J. (hrsg) 2003. The Northwest European Pollen Flora, VIII. Amsterdam. Elsevier. 183 S.
- PUNT W., HOEN P.P. & BLACKMORE S. (hrsg) 1995. The Northwest European Pollen Flora VII. Amsterdam. Elsevier. 275 S.
- ROHRER C. 2006. Zur jüngeren Vegetationsgeschichte im Schluchseegebiet (Südschwarzwald): drei Pollenprofile aus dem Steerenmoos. *Mitt. Ver. Forstl. Standortskunde u. Forstpflanzenzüchtung* 44: 5-19.
- SCHMITT R. 1963. Regards vers les cimes Vosgiennes. *In* : L'association Philoma-

thique d'Alsace et de Lorraine. Le Hohneck. Aspects physiques biologiques et humains. Strasbourg : 349-358.

SCHUBNEL A. 1983. La forêt et les communautés du Val de Munster. *Annuaire de la Société d'histoire du Val et de la Ville de Munster* 37: 25-66.

STOEHR B. 1991. La végétation de la vallée de Munster, son histoire depuis de la fin de la dernière glaciation. *Annuaire de la Société d'histoire du Val et de la Ville de Munster* 45: 107-112.

STROHMEYER 1913. Über das natürliche Vorkommen der Fichte (*Picea excelsa* Lk.) in den Vogesen. *Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Forst- und Landwirtschaft* 11: 143-151.

VISSET L., AUBERT S., BELET J.M. DAVID F., FONTUGNE M., GALOP D., JALUT G., JANSSEN C.R., VOELTZEL D. & HUAULT M.F. 1996. France. In : BERGLUND B.E., BIRKS H.J.B., RALSKA-JASIEWICZOWA M. & WRIGHT H.E. (hrsg). Palaeoecological events during the last 15000 years : Regional syntheses of palaeoecological studies of lakes and mires in Europe. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore. John Wiley & Sons: 575-645.

WARDENAAR E.C.P 1987. A new hand tool for cutting peat profiles. *Canadian Journal of Botany* 65: 1172-1173.

ZOLLER H. 1956. Die Höhenstufen, Wälder, Trockenrasen, Hochweiden und Moore der Vogesen. *Ber. Der Schweiz. Bot. Gesell.* 66: 342-354.

Caractérisation de la paléotopographie de la tourbière ombrotrophe du Luitel au moyen de méthodes géophysiques

Carole DESPLANQUE (1) & Stéphane GARAMBOIS (2)

1 – ONF Isère - 9 quai Créqui - 38026 GRENOBLE Cedex

2 – LGIT – BP53 – 38041 GRENOBLE Cedex 9

Résumé :

Afin de mieux comprendre la formation d'une tourbière (la tourbière ombrotrophe du col Luitel) dans la Réserve Naturelle du Lac Luitel et pour caractériser les relations entre l'épaisseur de la tourbe et les groupements végétaux présents, une étude géophysique a été entreprise.

Après avoir testé plusieurs méthodes géophysiques, le géoradar (radar géophysique) est apparu comme très efficace pour obtenir une image de l'interface entre le socle rocheux et la tourbière.

Treize profils géophysiques ont été réalisés, en prenant soin de traverser tous les types de végétation présents.

Les résultats attestent notamment de la présence de deux cuvettes lacustres, séparées par une remontée du substrat, et mettent en évidence plusieurs sous – cuvettes dans la partie sud de la tourbière.

Des liens entre l'épaisseur de la tourbière et les groupements végétaux présents à la surface sont également identifiés.

Zusammenfassung :

Um die Entwicklung eines Regenmoores am Luitel-Pass im Naturschutzgebiet des Luitel Sees (Réserve Naturelle du Lac Luitel) besser verstehen und die Beziehungen zwischen der Torfmächtigkeit und den vorhandenen Pflanzengesellschaften charakterisieren zu können, wurde eine geophysikalische Studie unternommen.

Nachdem man mehrere geophysikalische Methoden getestet hatte, zeigte sich das Georadar (ein Bodenradar) als sehr effizient, um ein Bild vom Übergang zwischen dem Felsgrund und dem Moor zu erhalten.

Es wurden dreizehn Geoprofile erstellt, wobei Sorge getragen wurde, auch alle vorhandenen Vegetationstypen zu erfassen.

Die Ergebnisse bezeugen nicht nur das Vorhandensein von zwei Senken mit Seditimenten stehender Gewässer, die durch eine Substraterhöhung voneinander getrennt sind, sondern zeigen deutlich mehrere, darunter liegende Kessel im südlichen Teil

des Moores auf.

Die Beziehung zwischen der Mächtigkeit des Moores und den an der Oberfläche vorhandenen Pflanzenverbänden wurden ebenfalls bestimmt.

Summary :

In order to understand better the formation of a peat bog (the ombrotrophic mire of the Luitel col) in the Lake Luitel Nature Reserve, and in order to characterise the relationships between the thickness of the peat and the vegetation groupings present, a geophysical study has been undertaken.

After having tested a number of geophysical methods, georadar (geophysical radar) has transpired to be highly effective in obtaining an image of the interface between the rock base and the peat bog itself.

Thirteen geophysical profiles were prepared, taking care to cross all the types of vegetation present.

The results attest in particular to the presence of two lakeside basins, separated by an elevation in the substrate and pointing up several sub-basins in the southern part of the bog.

A number of connections between the thickness of the peat and the vegetation present on the surface have likewise been identified.

Mots clés : Réserve Naturelle du lac Luitel, tourbière ombrotrophe, radar géologique, paléotopographie, lien profondeur – végétation.

Introduction

La Réserve Naturelle du Lac Luitel est située dans le Massif de Belledonne à 25 kilomètres de Grenoble, en direction de Chamrousse.

Elle est gérée par l'Office National des Forêts et comprend deux écosystèmes tourbeux : le lac Luitel, lac tourbière limnogène minérotrophe et ombrotrophe, et la tourbière du col, tourbière limnogène ombrotrophe bombée, partiellement minérotrophe d'après le plan de gestion de la Réserve Naturelle du Lac Luitel rédigé en 2002.

Parmi les espèces végétales « patrimoniales » présentes, peuvent être cités le Rossolis à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia* L.), le Lycopode inondé (*Lycopodiella inundata* L.), la Laïche des bourbiers (*Carex limosa* L.), la Scheuchzérie des marais (*Scheuchzeria palustris* L.) et la Canneberge (*Vaccinium oxycoccos* L.).

En 2004, suite à une étude piézométrique présentée dans un rapport d'étude hydrologique de la tourbière du col pour la Réserve Naturelle du Lac Luitel rédigé par HUSTACHE (comm. pers.), le gestionnaire formule une hypothèse quant à la forme originelle de la cuvette lacustre de la tourbière du col. Afin de valider cette hypothèse, le gestionnaire fait appel à des géophysiciens pour essayer de déterminer la paléotopographie de la cuvette.

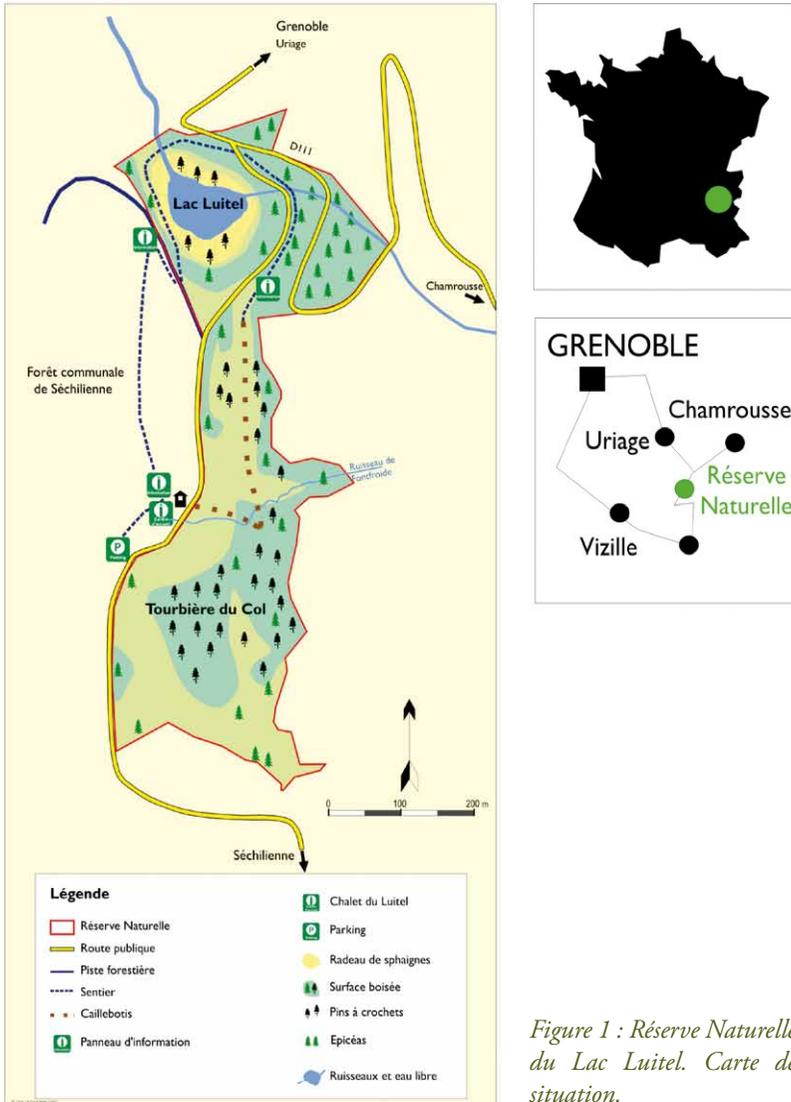


Figure 1 : Réserve Naturelle du Lac Luitel. Carte de situation.

1. Problématique – étude piézométrique

En s'appuyant sur la carte de végétation établie en 1984 par WIART (Comm. pers.), dans un rapport pour le Ministère de l'Environnement et la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de l'Isère, un réseau de vingt piézomètres a été installé en 2002. Ces piézomètres ont été nivelés et géoréférencés en 2003 - 2004.

A partir de l'analyse des données piézométriques 2003 – 2004, il apparaît un découpage de la tourbière comportant notamment deux principales zones ombrotrophes (c'est à dire alimentées par de l'eau de pluie) et un réseau de secteurs «subsidiaries» à alimentation mixte d'après HUSTACHE (comm. pers.).

La première zone ombrotrophe est localisée dans la partie Nord. Elle est caractérisée par les piézomètres 1, 2, 3 et serait limitée au sud au niveau du 7. Elle serait ainsi quasi isolée, en terme de fonctionnement hydrologique, du ruisseau de Fontfroide. Dans cette zone, les variations du niveau de la nappe présentent une faible amplitude. La conductivité est basse ($25 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) et le pH est acide (3,5 – 5). Ce secteur semble être alimenté quasi exclusivement par les précipitations.

Au niveau du piézomètre 7, le groupement végétal est composé principalement de Molinie bleue, (*Molinia caerulea* L.) et de Canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa* L.).

La nappe présente un fort battement (70 cm) et reste toujours assez basse; la végétation est caractéristique d'une tourbière «dégradée».

La seconde zone ombrotrophe est localisée au Sud-Ouest. Cette zone correspond grossièrement à l'emplacement de la pinède de Pins à crochets (*Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.) et à sphaignes, groupement végétal caractéristique des tourbières ombrotrophes.

Le Sud Est de la tourbière est de type **minérotrophe**, quant à lui, alimenté en partie par une source, dite source Pezanti, dont l'influence se remarque nettement dans les piézomètres 10, 16 et 19.

2. Problématique – courbe du fond

A partir de l'altitude et de la longueur de chacun des piézomètres, une courbe empirique du fond de la tourbière a été établie (en sachant que, lors de l'installation des piézomètres, la profondeur maximale d'enfoncement de ceux – ci était tributaire de la longueur de la tarière, c'est-à-dire 4 mètres pour les plus profonds).

Figure 2 : Carte de répartition des piézomètres sur la tourbière.

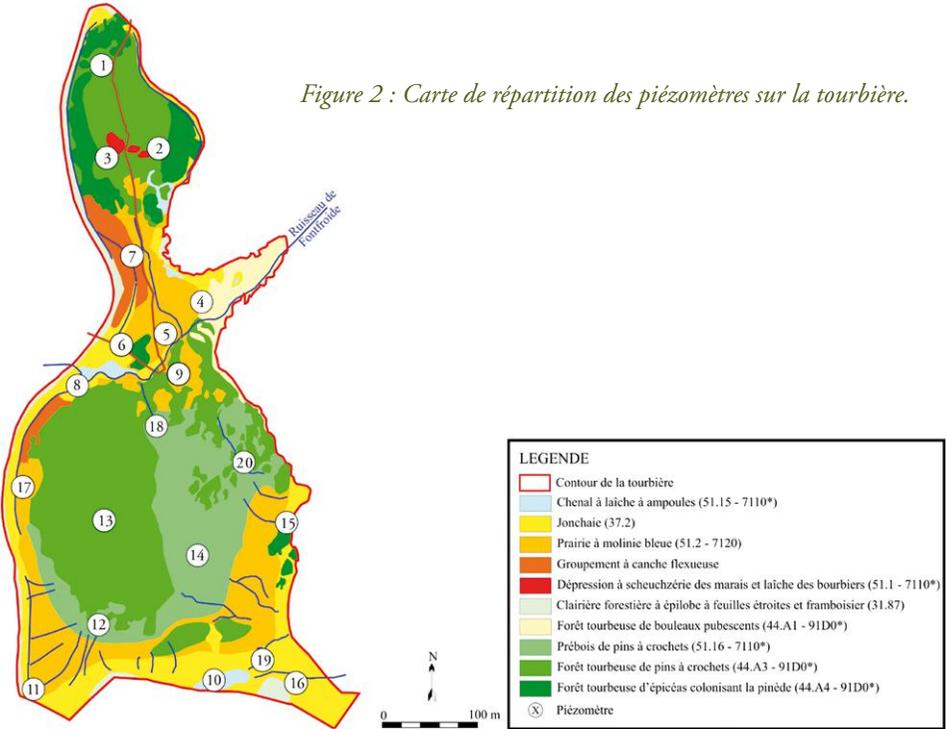
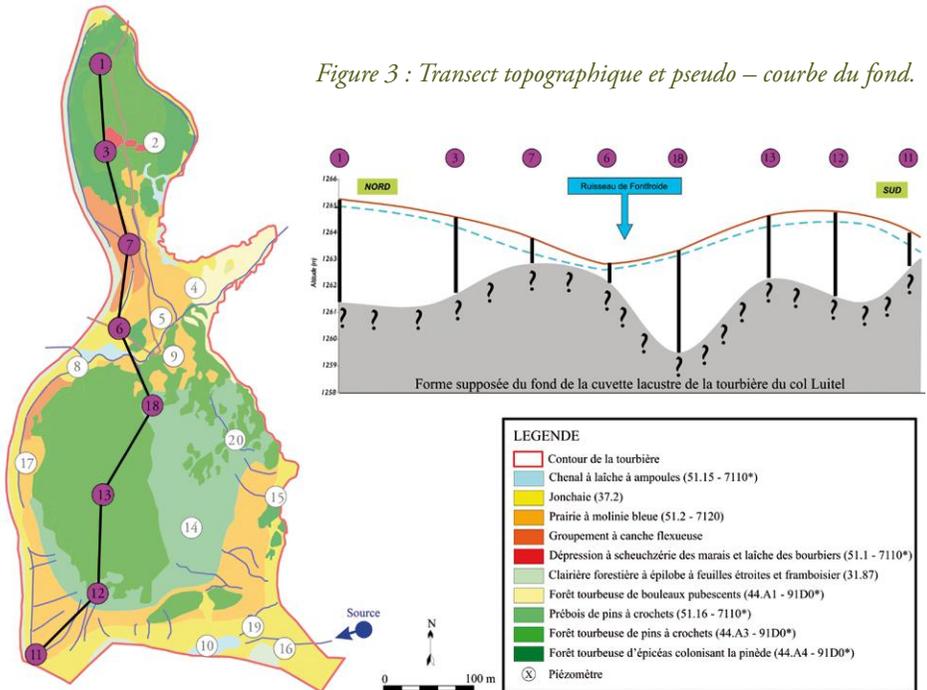


Figure 3 : Transect topographique et pseudo – courbe du fond.



L'interprétation de cette courbe empirique a permis de supposer que la tourbière du col est constituée de plusieurs cuvettes lacustres, qui pourraient être indépendantes en termes de fonctionnement hydrologique les unes des autres.

Afin de valider cette courbe, et dans le but de caractériser au mieux le paléo - relief du fond de la tourbière du col, des méthodes d'investigation adaptées ont été recherchées. Parmi les méthodes non destructrices permettant d'étudier et de caractériser la couche superficielle que constitue la tourbière par rapport aux fonds rocheux, le choix s'est porté vers des méthodes géophysiques.

3. Choix d'une méthode géophysique

Durant l'été 2004, une série de tests géophysiques a été réalisée. Plusieurs méthodes géophysiques ont été testées par des chercheurs de deux laboratoires, le Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche Impliquant la Géologie et la Mécanique et le Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, tous deux basés à Grenoble. Cette phase test a été menée sur le tronçon d'un profil orienté Ouest - Est qui traverse la tourbière.

Il est apparu que le terrain spongieux de la tourbière, de par ses caractéristiques très atténuantes, n'est pas un terrain adapté aux méthodes de sismique réflexion, d'inversion des ondes de surface et de bruit de fond sismique. Des résultats plus prometteurs ont été obtenus en tomographie électrique et en utilisant le géoradar (ou radar géologique). C'est ce dernier outil dont la mise en œuvre sur le terrain est simple et rapide, qui a été retenu.

Le géoradar est une méthode de prospection géophysique fondée sur l'analyse de la propagation, de la diffraction et de la réflexion des ondes électromagnétiques (EM) haute fréquence (de 10 Mhz à 1 Ghz).

Il permet d'imager directement (ou après une phase de traitement des données) les contrastes diélectriques et/ou de conductivité dans le sous-sol. Il possède une très forte capacité de résolution, mais est limité en terme de profondeur de pénétration suivant les milieux (cela fonctionne efficacement dans les milieux plutôt résistifs électriquement). L'eau est, en général, un milieu non résistif (notamment à cause des éléments minéraux présents dans l'eau qui la rendent conductrice). Les eaux de la tourbière du col, essentiellement d'origine météorique (précipitations) sont peu minéralisées, ce qui permet au radar géologique de fonctionner correctement.

Le géoradar est constitué de deux antennes, l'une servant à l'émission des ondes électromagnétiques, et l'autre à la réception de ces mêmes ondes. Le traitement des données acquises sur le terrain et enregistrées sur un ordinateur portable se fait au laboratoire.

L'acquisition avec un géoradar se fait selon deux dispositifs, l'un dit à offset constant, l'autre en collection point milieu (CMP). Ces deux types d'acquisition permettent pour le premier d'imager le sous-sol, pour le deuxième de donner un modèle de vitesse en fonction de la profondeur. L'analyse conjointe des résultats en temps donné par l'acquisition à offset constant et en vitesse par l'acquisition point milieu permet de replacer chaque objet imagé à sa vraie profondeur (DEPARIS *et al.*, 2007).

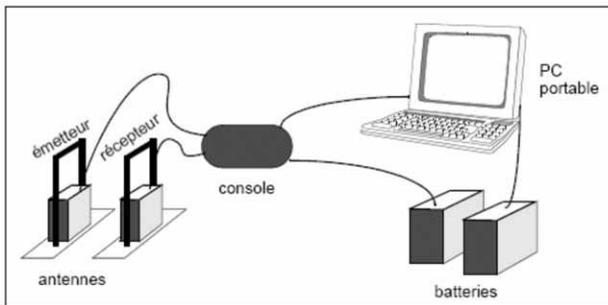


Figure 4 (ci-contre) :
Présentation du géoradar.



Prise de mesures géophysiques à l'aide d'un géoradar.

La plupart des images de la tourbière du col Luitel a été obtenue avec des antennes 100 MHz non blindées reliées à un radar RAMAC développé par Mala Geosciences et présentée dans des rapports rédigés par GARAMBOIS & LAURENT (comm. pers.) en 2007 et par GARAMBOIS (comm. pers.) en 2008 pour le Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique de l'Université Joseph Fourier à Grenoble. Le traitement effectué sur chacune des images comprend :

- atténuation de la composante continue ;
- filtrage passe-bande adapté ;
- amplification des événements tardifs par application d'un gain linéaire ou en puissance ;
- migration si nécessaire (forte géométrie ou trop de diffractions).
- conversion temps - profondeur à vitesse constante obtenue à l'aide des CMP.

4. Plan d'échantillonnage

Les profils géophysiques ont été répartis de façon à traverser l'ensemble des habitats naturels présents dans la tourbière.

13 profils ont été réalisés dont :

- un profil longitudinal complet, orienté Nord – Sud (P5),
- deux profils longitudinaux partiels (P11, P13),
- dix profils transversaux orientés Ouest - Est (P1 à P4, P6 à P9, P101, P12).

5. Résultats

Sur l'ensemble des images obtenues, on observe nettement le réflecteur principal qui est interprété comme celui lié à l'interface socle - tourbière.

Les variations latérales et longitudinales importantes de la profondeur de cette interface permettent de confirmer la topographie irrégulière du fond de la tourbière.

Sur le profil P5, l'existence de deux cuvettes très distinctes séparées par un col au niveau duquel la tourbière ne présente pas une épaisseur supérieure à un mètre est confirmée.

Cette image a été obtenue grâce à deux passages du géoradar.

Lors d'un premier passage réalisé avec des antennes de 100 Mhz, le géoradar a atteint ses limites en termes de profondeur de pénétration; il n'est pas parvenu à imager de réflecteur entre les distances 250 et 400 m.

Ceci est dû à une plus forte conductivité de la tourbière, liée au ruisseau de Fontfroide qui traverse la tourbière et dont les eaux présentent des minéralisations plus élevées.

Grâce à un deuxième passage du géoradar, ce profil peut être finalisé, en utilisant des antennes 50 MHz, de plus basse fréquence que celles utilisées pour la majorité des profils, qui permettent d'imager la zone comprise entre 250 et 400 m du profil.

Il faut noter que la présence de dépôts sédimentaires minéraux au niveau de cette interface reste une possibilité, non résolue pour le moment avec les techniques d'imagerie traditionnelles.

On remarque également la présence de réflecteurs au sein de la tourbière, relativement peu continus. Ceux-ci peuvent être dus à des contrastes au niveau du remplissage tourbeux et/ou à des changements géochimiques.

Le profil P3 atteint une profondeur de 10 m environ. Dans ce secteur, la cuvette présente une forme relativement homogène. Ce secteur profond «porte» le groupement végétal le moins évolué en terme de dynamique végétale (dépression à Scheuchzérie des marais et Laïche des boubiers), également caractérisé par le caractère ombrotrophe (alimentation par des eaux de pluie). Les bords de la cuvette sont occupés par de la pessièrre à sphaignes (issue de plantation d'épicéas).

Le profil P7 est situé au niveau du col Luitel. Il apparaît que la tourbière est très peu profonde à cet endroit-là (moins d'un mètre). La cuvette est en forme de «V».

Le groupement végétal présent en surface est un faciès de dégradation de la tourbière (prairie à Molinie bleue et Canche flexueuse).

Les profils P8 et P101 indiquent que l'importante et homogène pinède de Pin à crochets (sud – ouest de la tourbière du col) est située sur un secteur de profondeur d'environ 4 mètres.

Le profil P1 est peu profond, malgré trois «coups de griffe». La profondeur moyenne est de l'ordre de 1,5 m. Les groupements végétaux présents sont des formations herbacées à joncs ou à Molinie bleue et Canche flexueuse.

6. Discussion et perspectives

Les études préliminaires ont montré que dans un contexte spongieux tel qu'une tourbière, les méthodes sismiques ne sont pas opérantes en terme d'imagerie, en raison de la trop forte atténuation des ondes sismiques. La méthode radar s'est avérée particulièrement bien adaptée en terme de résolution et de pénétration pour imager l'interface entre le socle rocheux et la tourbière. Ceci a été possible en raison de la faible conductivité électrique du milieu tourbeux présent.

L'utilisation du géoradar a ainsi permis, via l'élaboration de 13 profils géophysiques de déterminer l'interface socle – tourbière. L'ensemble des profils géo référencés sera ras-

Figure 5 : Carte de localisation des profils géophysiques.

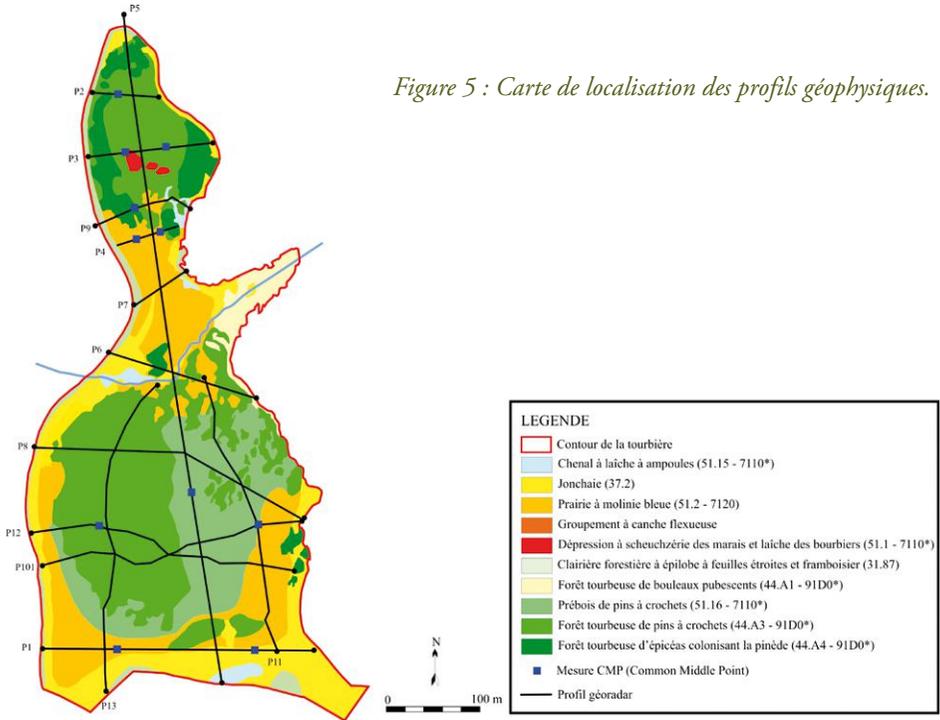
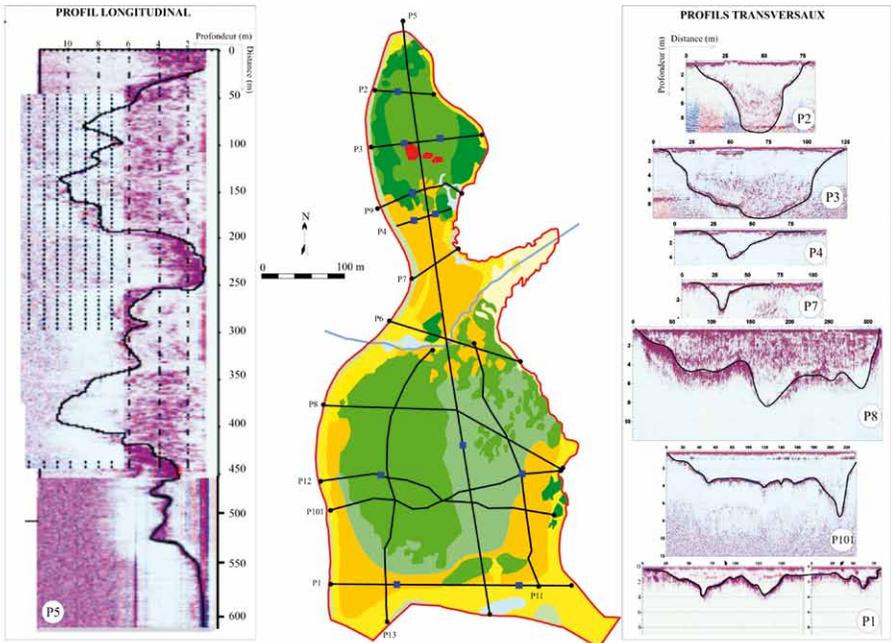


Figure 6 : Principaux profils géophysiques obtenus.



semblé par interpolation (logiciel ArcGis9) ce qui permettra d'obtenir une carte en 3D de la paléotopographie, ce qui donnera une image plus globale des cuvettes lacustres qui ont permis la mise en place de cette tourbière.

L'étude géophysique a également permis «d'approfondir» la tourbière avec plusieurs profils dépassant les 8 mètres de profondeur (ce qui double la profondeur atteinte par le sondage palynologique de WEGMÜLLER (1977) : et quadruple la profondeur de prospection de BECKER (1952)). Ceci donne des perspectives intéressantes de recherche complémentaire dans d'autres disciplines basées sur le caractère conservatoire des tourbières (palynologie, macrorestes, ...), mais peut-être également des perspectives d'études géochimiques (datation par les isotopes de l'oxygène), s'il s'avérait que les eaux du fond de la tourbière sont «vieilles» et piégées dans le sédiment tourbeux.

Remerciements

Les auteurs remercient la Direction Régionale de l'Environnement et le Conseil Général de l'Isère pour le financement des recherches.

Bibliographie

BECKER, J., 1952. Etude palynologique des tourbes flamandaises des Alpes françaises. Mémoires du Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine. Imprimerie de l'Université, Strasbourg, n°11. 61 pages

DEPARIS J., GARAMBOIS S. & HANTZ, D., 2007. On the potential of Ground Penetrating Radar to help rock fall hazard assessment of a limestone scale. *Engineering Geology*, 94, 89-102.

WEGMÜLLER S. 1977. Pollenanalytische Untersuchungen zur spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte des Französischen Alpen (Dauphiné). Verlag Paul Haupt, Bern, 41-48.

Natürliches Erlöschen von Hochmoortorf bildender Vegetation im Schwarzwald

Volker SCHWEIKLE

Wilflingerstrasse 46/3, D-72355 SCHÖMBERG

Zusammenfassung :

Heide auf Torflagerstätten aus Hochmooren im Schwarzwald entstand auch ohne menschlichen Einfluss. Das natürliche Erlöschen Torf bildender Vegetation wird verursacht durch schnellen Abfluss des Wassers aus dem Akrotelm infolge hoher Druckgradienten durch Hochwachsen der Torfe. Fraglich ist, wie natürliches Erlöschen von anthropogenem - mit möglicher Restitution von Letzterem - unterschieden werden kann.

Résumé :

En Forêt Noire, une lande sur dépôts de tourbe provenant des tourbières hautes s'est formée sans intervention humaine. L'extinction naturelle de la végétation produisant de la tourbe est causée par une évacuation rapide de l'eau de l'acrotelme suite à un gradient élevé de pression, résultat de la croissance en hauteur des tourbières. On se demande ici comment une extinction naturelle peut être différenciée d'une extinction anthropogène et comment une tourbière détruite par l'activité de l'homme peut être restaurée.

Summary :

In the Black Forest, heathlands has been developed on peat deposits from raised mires without human influence. The natural extinction of peat-forming vegetation is caused by the rapid outflow of water from the acrotelm as a result of high pressure gradients due to the high growth of the peat. It is questionable as to how natural extinction can be differentiated from that caused by human action, with the possible restitution of the latter.

Schlüsselwörter : Hochmoor- Seneszens, Hochmoor-Mortalität

1. Einleitung

Bei der Kartierung von Mooren im Schwarzwald wurden Lagerstätten aus Hochmoortorf ohne Hochmoorvegetation (Taubermoos, Lindauermoor u. a.) gefunden, die offensichtlich nie durch anthropogene Entwässerung beeinflusst wurden.



Das Taubenmoos im Südschwarzwald; eine Heide auf Hochmoortorf (photo J.Schaber)

Unterschiede in unterlagerndem Gestein, Klima und möglicher Deposition von Schadstoffen sind ausgeschlossen, da nahegelegene Hochmoore noch wachsen. So bleibt nur die Ursachen

- in der Torflagerstätte selbst zu suchen, wie Veränderungen von Oberflächenform und Qualität der Torfschichten, durch die der Wasserhaushalt des Standortes zu Ungunsten der Hochmoorvegetation verändert wurde und
- im Relief der Umgebung, die eine Transgression der Hochmoorvegetation verhindert.

Dazu einige Beobachtungen und Überlegungen.

2. Methodik

- Geländebegehungen (Moore : KÜHL, 2007 ; Petrografie: WEIDENBACH & VOLLRATH, 1954 ; Klima: LUBW, 2006)
- Auswertung von Literatur

3. Ergebnisse

Lagerstätten aus Hochmoortorf liegen

- entweder großflächig auf Plateaus aus Ton-Sandsteinen des Buntsandstein im Nordschwarzwald und werden durch Versteilungen an Hangkanten begrenzt oder
- kleinflächig am Hangfuß zur Aue und werden in der Aue und seitlich am Hang durch eutrophe Gewässer begrenzt.

Das Oberflächengefälle der Torflager ist steil. Die Torf bildende Vegetation ist ersetzt durch Kleinsträucher mit z. T. Bergkiefern bis Fichten. Unter Bergkiefer und Fichte wird statt Torf Rohhumus gebildet der sporadisch alle paar Jahre bei massenhaftem Auftreten von *Tipula*-Larven aufgefrassen wird.

Eine Transgression der Torf bildenden Vegetation oder Massenbewegung der Torfe in die Umgebung war nicht möglich. Das Moor wuchs vor allem in die Höhe, wobei die Geschwindigkeit des vom Moor abströmenden Wassers, dank eines höheren Druckgradienten, immer schneller wurde und noch ist. Die Wahrscheinlichkeit der Schädigung Torf bildender Vegetation binnen eines oder mehrerer aufeinander folgender Jahre durch schnelle Entleerung des Akrotelm und damit niedrige Grundwasserstände wird höher. Im damit besser durchlüfteten Akrotelm werden die Torfe stärker zersetzt und weniger durchlässig. Dadurch sinkt die Mächtigkeit des Akrotelm und dessen Wasserspeicherleistung, was wiederum die Wahrscheinlichkeit der Schädigung der Torf bildenden Vegetation durch Trockenheit erhöht. Es ist also ein sich selbst verstärkender Prozess. (Fraglich sind die Ansprüche Torf bildender Vegetation an die Häufigkeiten von Grundwasserständen unter Flur). Letztlich lösen Kleinsträucher, ggfls mit Bäumen, die Torf bildende Vegetation ab. Der Grundwasserspiegel im Rohhumus schwankt schneller mit geringerer Amplitude und liegt im Mittel höher unter Flur, an der Grenze zum stärker zersetzten Torf des Katotelm, als im wachsenden Hochmoor.

Fraglich und mit Modellen (EDOM *et al.*, 2007; VAN DER SCHAAF, 2005) zu prognostizieren ist, ob nach Entwässerung verheidete Torflagerstätten noch als restituierbare Stillstandsphasen von Hochmooren zu bewerten wären.

Literatur

- EDOM F., DITTRICH I., KESSLER K., GOLDACKER S., WAGNER M. & GOLUBCOV A.A. 2007. Ökohydrologische Modellbildung auf der Grundlage von IVANOV's hydromorphologischer Theorie und Anwendungen im praktischen Naturschutz. Dresdener Schriften zur Hydrologie 5, S. 90-98
- KÜHL H.-O. 2007. Das Moorkataster von Baden-Württemberg im Web. *Telma* 37: 299 – 300
- LUBW 2006. Klimaatlas von Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe
- VAN DER SCHAAF S. 2005. Wie schnell fließt Wasser aus einem Hochmoor. *Telma* 35: 61- 70
- WEIDENBACH F. & VOLLRATH A. 1954. Geologische Übersichtskarte von SW-Deutschland. Geologisches Landesamt Baden-Württemberg. Freiburg

SOMMAIRE

TOME / BAND 15 – 2009-2010

- INTRODUCTION 1-13
- DUCHAMP L. - Les complexes tourbeux acides du Parc naturel régional des Vosges du Nord .. 14-27
- DRUESNE C. - Les complexes tourbeux des Vosges du Sud (Hautes-Vosges) 28-39
- MULLER S. - Originalité et évolution récente de la flore et de la végétation des tourbières du Pays de Bitche (PNR des Vosges du Nord) 40-49
- HAUPTLORENZ H. & PLANZ B. - Verbreitung und pflanzensoziologische Zuordnung der *Calla palustris*-Bestände im Biosphärenreservat Pfälzerwald 50-68
- MULLER S. - *Calla palustris* L., une espèce rare et protégée en France, actuellement en expansion dans les zones humides des Vosges du Nord 69-80
- HÖLZER A & HÖLZER A. - Verbreitung der Torfmoose in SW-Deutschland anhand dreier Arten 81-102
- JULVE P. - Les synusies sphagnales des tourbières acidophiles de l'Europe occidentale : position des sphaignes dans les niveaux hydrologiques et synthèse phytosociologique 103-122
- OTT J. - Zur aktuellen Situation der Moorlibellen im «Pfälzerwald» – wie lange können sie sich in Zeiten des Klimawandels noch halten? 123-139
- CUBIZOLLE H., THEBAUD G., SEYTRE L, PORTERET J. & TOURMAN A.- Les causes du développement de l'arbre sur les tourbières du Massif Central oriental (France) au cours du XXème siècle 140-170
- BRETSCHNEIDER A. - Moorwald oder Birkenstadium des degenerierten Hochmoores - Über den Umgang mit Birken im Moor 171-178
- GREGOIRE F., PARMENTIER H. & PASCAULT B. - La tourbière, le plateau et l'arbre : Exemple du réseau de tourbières de Montselgues (Ardèche) 179-191
- FRAHM E., SALZMANN T. & MIEGEL K. - Untersuchungen zum Wasserhaushalt eines natürlichen Weidenbestandes (*Salix spp.*) in einem nordostdeutschen Flusstalmoor 192-206
- PORTERET J. - Capacité de stockage de l'eau et rôle des tourbières basses minérotrophes dans le fonctionnement des têtes de bassin versant 207-229
- EDOM F., DITTRICH I. & ESSLER K. - Hydrogenetische und hydromorphologische Grundlagen der Bewertung von Moor - und Moorwald - Lebensräumen zur Umsetzung der FFH – Richtlinie der EU – Erfahrungen aus dem Erzgebirge 230-250
- WALTER A.V. BOSSUET G., SIMONNET J.P., DEVELLE A.L., BÉGEOT C., RUFFALDI P., RÉGENT B. & WACKENHEIM C. - Sédimentation tardiglaciaire dans le Marais de la Maxe et le lac de Sewen (massif des Vosges, France) – premiers résultats 251-266
- THIRY M. & NIEVES-LIRON M. - Enregistrement sédimentaire d'une dépression tourbeuse sur les platières gréseuses du Massif de Fontainebleau (77) : corrélation avec l'évolution des paléopaysages et des climats 267-287
- DE KLERK P. & HÖLZER A. - Hochauflösende Pollendiagramme vom Tourbière Chaume Thiriet (Südvogesen, NO Frankreich) zeigen kleinräumige Muster im Pollenniederschlag während der letzten 2000 Jahre 288-304
- DESPLANQUES C. & GARAMBOIS S.- Caractérisation de la paléotopographie de la tourbière ombrotrophe du Luitel au moyen de méthodes géophysiques 305-315
- SCHWEIKLE V. - Natürliches Erlöschen von Hochmoortorf bildender Vegetation im Schwarzwald 316-319