

**Projet de travail de master :  
Influences présentes et passées de l'hydrogéomorphologie sur l'écologie des  
marais et sites marécageux de Suisse**

Master en Biogéosciences, Universités de Neuchâtel et Lausanne

Anthony Déneraud

Directeur du travail : Professeur Edward Mitchell (Laboratoire Biologie du sol, Faculté des sciences, Neuchâtel / Jardin Botanique de Neuchâtel, Neuchâtel)

Co-directeur du travail : Dr. Philippe Grosvernier (Bureau d'études LIN'eco, Reconvillier)

---

## **Résumé**

Depuis l'adoption de l'initiative dite de Rothenturm en 1987, les marais et les sites marécageux d'une beauté particulière et d'importances nationales sont protégés par la Constitution Fédérale. Les hauts-marais constituent des pièges importants de carbone et ils abritent de nombreuses espèces menacées. Dans le contexte actuel de changements climatiques, le maintien des marais et des sites marécageux semble capital. En Suisse, 90% des tourbières ont été détruites et 90% des surfaces restantes sont plus ou moins perturbées. Les principales raisons d'une telle détérioration sont les mesures apportées sur l'hydrologie de ces milieux et sur l'apport de nutriments causant une eutrophisation du milieu. A ces problèmes déjà existants, le réchauffement climatique vient ajouter une pression supplémentaire sur ces écosystèmes. Le maintien durable des tourbières passe inévitablement par des apports suffisants en eau.

Ce travail s'inscrit dans le projet « Espace marais » dans le cadre du programme pilote Adaptation aux changements climatiques, soutenu par l'Office fédérale de l'environnement ainsi que par 16 cantons. Il vise à fournir aux cantons, responsables de la protection des marais, un outil de gestion permettant d'identifier les surfaces déterminantes pour le régime hydrologique des marais et, par la suite, de définir des zones d'intervention et de prévention adaptées.

Cette étude propose une analyse stratigraphique de la tourbe des marais et sites marécageux. Le but de ce travail est de retracer l'ontogenèse de chaque site grâce à l'analyse des macrorestes végétaux et l'analyse des communautés de thécamoebiens. Les résultats obtenus lors de ce travail permettront de confirmer ou d'affiner les analyses effectuées grâce à la clé de détermination du type hydrologique des marais, mise au point par LIN'eco sur la base des types hydrologiques définis par Steiner & Grünig (1998), et celles des caractéristiques des bassins versants, basée sur les systèmes d'information géographique.

## **Etat de la recherche actuelle**

Les tourbières sont des milieux où la végétation produite par photosynthèse a tendance à s'accumuler plutôt qu'à se décomposer. Cette matière organique s'accumule sous forme de tourbe. Ces biotopes ont une valeur écologique importante, car ils abritent une flore et une faune spécifiques devenues rares. Elles ont un rôle important dans la préservation de la biodiversité. Les tourbières présentent un grand intérêt d'un point de vue scientifique, car

elles sont un lieu important d'échanges de gaz. De plus, l'excès d'eau, le manque d'oxygène et la forte acidité permettent de créer des conditions physiques et chimiques extrêmes. Grâce à ces conditions, les tourbières enregistrent les modifications dans l'histoire des organismes, du climat et de la végétation. L'accumulation de tourbe permet de retracer l'évolution présente et passée d'un site sur des millénaires (Payette & Rochefort, 2001). Il s'agit d'une raison fondamentale pour laquelle ces milieux sont utilisés lors de reconstitutions paléocéologiques.

La législation suisse distingue trois types de « marais » (Klaus, 2007). Les haut-marais ou tourbières ombrotrophes sont des milieux humides où les conditions d'acidité sont extrêmes et les minéraux sont présents en faible quantité. Les apports hydriques se font essentiellement grâce aux précipitations, au brouillard et à la fonte des neiges. Les bas-marais ou tourbières minérotrophes sont alimentés en eau aussi bien par les eaux de ruissellement que par les eaux souterraines. Cette circulation permet d'avoir des eaux plus riches en minéraux. L'accumulation de la tourbe est moins importante que pour les haut-marais et l'acidité est moins marquée, certains milieux étant même alcalins. Le dernier type de marais est le marais de transition. Il s'agit d'une situation intermédiaire entre le bas et le haut-marais (Vittoz, 2012).

Utilisés en paléocéologie, les thécamoebiens sont des protistes unicellulaires omniprésents dans les environnements tels que les lacs, les rivières, les mousses, les sols et dans les estuaires (Meisterfeld, 2002). Ces organismes sont caractérisés par une petite taille (entre 20 et 200 $\mu$ m) et une grande diversité. Les amibes à thèque se construisent une coquille composée de matériel calcaire, siliceux ou protéique. L'utilité de ces théques pour les reconstitutions paléocéologiques est qu'elles sont en général bien préservées dans la tourbe et les sédiments lacustres (Warner, 1990). Par leur action de prédation sur les bactéries et les champignons, les thécamoebiens sont des acteurs importants dans les cycles des nutriments dans les sols (Clarholm, 1981 et 1985 ; Hausmann, Hühlsmann & Radek, 2003). De plus, ils constituent des bioindicateurs précieux des conditions écologiques des tourbières (Koenig, Feldmeyer-Christe & Mitchell, 2015).

Les dépôts de tourbe, principalement dans les tourbières ombrotrophes, sont connus pour fournir de bonnes informations paléoclimatiques. Les approches utilisées pour reconstruire les conditions paléohydrologiques d'une tourbière sont basées sur l'analyse des communautés d'amibes à thèque (Tolonen, 1986). Les thécamoebiens sont présents dans les sols, mais ils sont particulièrement abondants dans les sols humides des tourbières ombrotrophes et minérotrophes. Leur composition est déterminée principalement par l'humidité et est aussi influencée par les nutriments présents et plus particulièrement le pH du sol (Charman & Warner, 1997). L'influence de l'hydrologie sur la composition des espèces combinée avec la disponibilité de données quantitatives sur l'hydrologie ont permis de développer des fonctions de transfert afin de reconstruire les fluctuations de la hauteur de la nappe d'eau (Charman, 2001).

Selon Payne (2011), la plupart des études concernant les reconstructions paléocéologiques des changements hydrologiques au sein de la tourbe se sont principalement intéressées aux tourbières ombrotrophes ou aux marais de transition. Dans cette étude, il élargit les analyses des amibes à thèque aux bas-marais pour la reconstruction paléohydrologique en établissant des fonctions de transfert. Concernant la validation croisée, ces fonctions fonctionnent bien

pour les sites étudiés, mais elles ne fonctionnent moins bien lors de leur utilisation pour d'autres sites. Afin de reconstruire les changements hydrologiques dans les bas-marais, il faut utiliser la fonction de transfert appropriée. En revanche, il ne paraît pas opportun d'utiliser les communautés d'amibes à thèque afin de reconstruire l'évolution des écosystèmes comme les marais de transition.

En 2002, Jauhiainen s'est intéressé à déterminer comment la stratigraphie de la tourbe d'un bas-marais et d'un haut-marais varie en termes d'abondance et de distribution des amibes à thèques. Ces deux milieux ont été échantillonnés deux fois, une fois avant restauration (1994) et une fois après (1997). Il s'est aperçu que les modifications sur l'hydrologie du système causées par les activités anthropiques avaient profondément affecté la tourbe au niveau des conditions d'humidité et des propriétés chimiques. Le drainage du milieu qui a eu lieu pendant 40 ans a permis une décomposition de la tourbe plus rapide ayant un effet sur les communautés de thécamoebiens. Après la restauration, les espèces typiques des conditions sèches ont eu tendance à disparaître.

Les facteurs autogènes et allogènes jouent un rôle très important en ce qui concerne les changements hydroséaux dans les tourbières se trouvant dans les dépressions (Campbell, Duthie & Warner, 1997). Le développement de la tourbe étudiée peut être influencé à la fois par des facteurs autogènes et par des facteurs allogènes. Les facteurs allogènes, comme le réchauffement climatique et le défrichement des terres, influencent le régime hydrologique des bassins versants. Après l'initiation allogénique des changements, des facteurs autogènes comme la morphologie du bassin, le taux de sédimentation et d'accumulation de tourbe sont les facteurs orientant le développement des zones humides. De plus, les changements ne s'opèrent pas de façon régulière. Il s'agit d'un modèle d'équilibre-déséquilibre, avec des périodes relativement longues de stases et de courtes périodes de déséquilibre, après un forçage externe (Winkler, 1988). De nombreux auteurs se sont intéressés aux facteurs externes ou allogènes engendrés par l'homme ou par le climat (Futyma & Miller, 1986 ; Winkler, 1988 ; Warner, Kubiw & Hanf, 1989).

Grâce à l'étude effectuée par Lamentowicz et al. (2010), il a été possible de créer un jeu de données pour la calibration des études paléohydrologiques basées sur les amibes à thèque pour les Alpes suisses. Cette étude est primordiale pour notre travail, car les échantillons proviennent d'une tourbière influencée par deux types de fonctionnement. Sur les buttes, cette tourbière est sous l'influence des phénomènes ombrotrophiques et pour le reste de la tourbière, les cours d'eau et rivières présents lui donnent un caractère minérotrophe.

## **Plan de recherche**

### ***Questions de recherche***

1. Les bas-marais et les marais de transition sont-ils capables de fournir un signal fiable lors de reconstitutions paléoécologiques comme peut l'être le signal provenant de haut-marais ?
2. Comment l'influence des facteurs autogènes et allogènes sur l'hydrologie d'un bassin versant se traduit-elle au niveau de la stratigraphie de la tourbe, en se rapportant à l'analyse des macrorestes végétaux et des communautés d'amoebiens?

## **Hypothèses**

La première hypothèse de ce travail est que les signaux des facteurs allogènes et des facteurs autogènes provenant d'un bas-marais, d'un marais de transition et d'un haut-marais sont tous de bonnes qualités et qu'ils permettent des interprétations des conditions paléoécologiques du milieu.

Comme deuxième hypothèse, issue directement des questions de recherche, les facteurs allogènes et les facteurs autogènes présentent un signal distinct permettant de les différencier lors d'analyses stratigraphiques.

## **Buts**

- le but de cette étude est de tester le type hydrologique déterminé par le bureau d'études LIN'eco pour 10 marais de Suisse afin de replacer ces milieux dans leur environnement. Les amibes à thèque et les macrorestes végétaux seront utilisés afin de valider ou d'affiner ce type hydrologique dans un but d'offrir une meilleure protection de ces milieux.

## **Méthodes**

### Sites d'étude

Une liste d'environ 30 sites d'étude a été proposée par les cantons partenaires du projet « espace-marais ». Parmi cette liste, 10 objets ont été sélectionnés dans le cadre de ce travail afin d'être analysés (annexe 1).

### Méthodes sur le terrain

La tourbe sera prélevée de plusieurs manières en fonction de la profondeur. En surface, un cube de tourbe d'environ 20 cm de côté sera prélevé en coupant la tourbe directement avec un couteau à pain. Ensuite une tarière carrée de modèle Wardenaar sera utilisée afin d'échantillonner un monolithe de dimension 10 cm x 10 cm x 100 cm. Une fois le monolithe prélevé, le reste de la tourbe sera extraite grâce à un carottier semi-cylindrique ou « carottier russe » jusqu'au sous-sol minéral. Chaque prélèvement sera ensuite directement emballé avec du cellophane et conservé en chambre froide à 4°C. Pour chaque site, les espèces végétales seront déterminées et un relevé d'abondance par espèce sera effectué grâce à l'échelle de Londo (1976).

### Méthodes en laboratoire

Les carottes de tourbe extraites permettront d'analyser la stratigraphie de la tourbe en se focalisant sur les macrofossiles, les communautés d'amibes à thèque et les analyses physico-chimiques. Ces carottes seront aussi préparées dans un second temps afin de dater cette stratigraphie au  $^{210}\text{Pb}$ . Concernant l'analyse de macrorestes végétaux, elle apporte plus de précision concernant l'identité spécifique des plantes localement sur le site d'étude que ne pourrait l'apporter une analyse pollinique. L'origine des macrorestes végétaux est en principe locale à la zone d'extraction de la carotte, donc ceux-ci permettent d'expliquer l'évolution de la végétation en réponse à des changements allogènes ou autogènes (Bhiry & Filion, 2001). Pour l'analyse des communautés d'amibes à thèque, la méthode par agitation sera utilisée afin de permettre de calculer des pourcentages (Mitchell, 2010). La détermination taxonomique des individus sera principalement basée sur les travaux de Charman et al. (2000). Le pH et la conductivité seront mesurés lors de l'échantillonnage

grâce à un pH-conductimètre. Le pH et la conductivité peuvent donner de bonnes informations sur la situation des minéraux et l'état général du marais. Des analyses des substances nutritives, notamment azote et phosphore, sont envisageables en laboratoire pour mettre en évidence une pollution ou un apport de nutriments anormal (Grosvernier & Staubli, 2009). En laboratoire des analyses physico-chimiques seront opérées comme la minéralisation de Kjeldahl (Ntot et Ptot) (Université de Neuchâtel, 2007), la mesure de la masse volumique apparente et de la détermination de l'humification de la tourbe (Chambers et al. 2011). Afin de préparer les échantillons dans l'optique de la datation au <sup>210</sup>Pb, la méthode utilisée sera la même que celle effectuée par Booth (2010).

**Plan d'échantillonnage**

Le site d'échantillonnage de chaque secteur d'étude sera déterminé grâce à l'analyse des photographies aériennes et des cartes topographiques. Les carottes de tourbe seront prélevées là où la végétation est homogène et la topographie est susceptible de mettre en avant un mode de fonctionnement hydrologique. Les carottes seront échantillonnées sur la totalité de la colonne de tourbe, jusqu'au sous-sol minéral si possible, afin d'avoir la formation complète du site.

Plan d'exécution											
Date											
Phases	06/15	07/15	08/15	09/15	10/15	11/15	12/15	01/16	02/16	03/16	04/16
Choix des sites et détermination des lieux échantillonnage	█										
Echantillonnage sur le terrain		█			█						
Stage de cartographie Fontainebleau 2015				█							
Analyse en laboratoire des prélèvements				█	█	█	█				
Cours bloc "Environmental Biochemistry"					█						
Journées des Grands Témoins								█			
Traitement des données								█	█	█	
Rédaction du travail										█	█

**Résultats attendus**

Les résultats attendus pour ce travail concorderaient avec les modèles hydrogéomorphologiques déterminés pour les marais et les sites marécageux. Les changements dans l'hydrologie du bassin versant, dans la végétation locale, ainsi que les perturbations anthropiques (déforestation, pollution, exploitation de la tourbe, etc.) seront identifiés par cette étude.

### Plan budgétaire

Objets	Nombres d'échantillons/ d'unité	Prix unitaire (CHF)	Prix total (CHF)
Déplacements sur les sites d'étude	aller-retour sur les différents sites	0.6 CHF/km	3500
Matériel d'échantillonnage (tubes, cellophane, scotch, etc.)	50	7 CHF	350
Analyses physico-chimique	Env. 200	-	650
<b>Total</b>			<b>4500</b>

Le budget prévu pour la réalisation de ce travail est de 1000 CHF. L'essentiel de ce budget sera principalement alloué au matériel et aux analyses physico-chimiques. Concernant les frais de déplacements sur les différents sites d'étude, un budget a été débloqué dans le cadre du projet « espace marais ». Les déplacements seront couverts à hauteur de 0.6 CHF/km et 25 CHF par repas.

### Bibliographie

- Bhiry, N. & Fillion, L. (2001). Analyses des macrorestes végétaux. Dans S. Payette & L. Rochefort, *Écologie des tourbières du Québec-Labrador* (pp. 259-273). Québec, Canada: Presses Université Laval.
- Booth, R. K. (2010). Testing the climate sensitivity of peat-based paleoclimate reconstructions in mid-continental North America. *Quaternary Science Reviews*, 29, 720-731.
- Campbell, D. R., Duthie, H. C. & Warner, B. G. (1997). Post-glacial development of a kettle-hole peatland in southern Ontario. *Ecoscience*, 4 (3), 404-418.
- Chambers, F. M., Beilman, D. W. & Yu, Z. (2011). Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires and Peat*, 7, 1-10.
- Chancellerie fédérale suisse. (1987, décembre 6). *Initiative populaire fédérale pour la protection des marais - Initiative de Rothenturm*. Consulté le mai 18, 2015, sur Administration fédérale suisse: <https://www.admin.ch/ch/f/pore/vi/vis159t.html>
- Charman, D. J. (2001). Biostratigraphic and palaeoenvironmental applications of testate amoebae. *Quaternary Science Reviews* (20), 1753-1764.
- Charman, D. J. & Warner, B. G. (1997). The ecology of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) in oceanic peatlands in Newfoundland, Canada: modelling hydrological relationships for palaeoenvironmental reconstruction. *Ecoscience* (4), 555-562.
- Charman, D. J., Hendon, D. & Woodland, W. A. (2000). *The Identification of Testate Amoebae (Protozoa: Rhizopoda) in Peats*. London, UK: Quaternary Research Association.
- Clarholm, M. (1985). Interactions of bacteria, protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen. *Soil Biology & Biochemistry* (17), 181-187.
- Clarholm, M. (1981). Protozoan grazing of bacteria in soil - Impact and importance. *Microbial Ecology* (7), 343-350.
- Futyma, R. P. & Miller, N. G. (1986). Stratigraphy and genesis of the Lake Sixteen peatland, northern Michigan. *Canadian Journal of Botany*, 64, 213-254.

- Grünig, A., Vetterli, L. & Wildi, O. (1986). *Les hauts-marais et marais de transition de Suisse*. Rapports 281. Institut Fédéral de Recherche Forestière, Birmensdorf.
- Grosvernier, P. & al. (2014, juin). Maintien des ressources en eau dans le bassin versant des biotopes marécageux d'importance nationale: Concept de base. Reconvilier, Suisse.
- Grosvernier, P. & Staubli, P. (2009). *Régénération des hauts-marais. Bases et mesures techniques. L'environnement pratique n° 0918*. Office fédéral de l'environnement, Berne.
- Hausmann, K., Hühlsmann, N. & Radek, R. (2003). *Protistology, 3rd completely revised edition*. Stuttgart, Germany: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Jauhainen, S. (2002). Testacean amoebae in different types of mire following drainage and subsequent restoration. *European Journal of Protistology* (38), 59-72.
- Klaus, G. (2007). *Etat et évolution des marais en Suisse. Résultats du suivi de la protection des marais. Etat de l'environnement no 0730*. Office fédéral de l'environnement, Berne.
- Koenig, I., Feldmeyer-Christe, E. & Mitchell, E. A. (2015). Comparative ecology of vascular plant, bryophyte and testate amoeba communities in four Sphagnum peatlands along an altitudinal gradient in Switzerland. *Ecological Indicators* (54), 48-59.
- Lamentowicz, M., Van Der Knaap, W., Lamentowicz, L., Van Leeuwen, J. F., Mitchell, E. A., Goslar, T. et al. (2010). A near-annual paleohydrological study based on testate amoebae from sub-alpine mire: Surface wetness and the role of climate during the instrumental period. *Journal of Quaternary Science*, 25 (2), 190-202.
- Londo, G. (1976). The decimal scale for relevés of permanent quadrats. *Vegetatio*, 33 (1), 61-64.
- Meisterfeld, R. (2002). Order Arcellinida Kent and Testate amoebae with filopodia. Dans J. J. Lee, G. F. Leedale & P. Bradbury, *The illustrated guide to the protozoa* (Vol. 2, pp. 827-860: 1054-1084). Lawrence, Kansas, USA: Society of protozoologists.
- Mitchell, E. A. (2010). Protocole pour l'extraction des Théacamoébiens.
- Payette, S. & Rochefort, L. (2001). *Ecologie des tourbières du Québec et du Labrador*. Québec, Qc, Canada: Les Presses de l'Université Laval.
- Payne, R. J. (2011). Can testate amoeba-based palaeohydrology be extended to fens? *JOURNAL OF QUATERNARY SCIENCE*, 26 (1), 15-27.
- Steiner, G.-M. & Grünig, A. (1998). Les types hydrologiques de marais en Suisse. Dans *Manuel de la conservation des marais en Suisse*, (Vol. 1/3.1.1.). Réd. OFEFP.
- Tolonen, K. (1986). Rhizopod analysis. Dans B. E. Berglund, *Handbook of holocene palaeoecology and palaeohydrology* (pp. 645-666). Chichester, UK: John Wiley and Sons.
- Université de Neuchâtel. (2007). Manuel de laboratoire\_Laboratoire Sol et Végétation. Neuchâtel.
- Vittoz, P. (2012). Cours de bachelor en environnement naturel: Végétation de la Suisse. Lausanne.
- Warner, B. G. (1990). Testate Amoebae (Protozoa). Dans B. G. Warner, *Methods in Quaternary ecology* (Vol. Reprint Series 5, pp. 65-74). St John's, Newfoundland, Canada: Geoscience Canada.
- Warner, B. G., Kubiw, H. J. & Hanf, K. I. (1989). An anthropogenic cause for quaking mire formation in southwestern Ontario. *Nature*, 340, 380-384.
- Winkler, M. G. (1988). Effect of Climate on Development of Two Sphagnum Bogs in South-Central Wisconsin. *Ecology*, 69 (4), 1032-1043.

## Annexe 1 Sites d'étude



N°	Canton	No obj HM	No obj BM	Altitude	Site	Commune
1	SG		389	400	Buriet/Buechsee (delta du Rhin)	Thal
2	AG		2787	450	Boniswiler-Seenger Ried	Boniswil; Seenger
3	ZH		78	510	Hüsliriet	Bubikon
4	ZH	103	2212	540	Robenhauerriet	Wetzikon
5	ZG	303	1951	900	Ägeriried (Altmatt/Biberbrugg; Altmatt/Ägeriried)	Oberägeri
6	ZG	170	2842	960	Eigenried/Birchried/Kellersfor en/Früebüelmoos	Walchwil; Zug en/Früebüelmoos
7	BE	180		970	Siehenmoos	Eggiwil
8	JU	2	1309	1000	Gruère	Saignelégier; Le Bémont; Montfaucon; (Tramelan)
9	NE	15.4		1000	Sur les Bieds	Les Ponts-de- Martel
10	NE	16.2		1050	Le Cachot, Bas-du-Cerneux	Le Cerneux- Péquignot; La Chaux-du- Milieu