



Dynamiques environnementales

Journal international de géosciences et de l'environnement

42 | 2018

Du glint baltique au lac Peïpous

L'état actuel et la restauration écologique des tourbières en Estonie

Martin Küttim, Liisa Küttim et Raimo Pajula



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/dynenviron/1890>

DOI : 10.4000/dynenviron.1890

ISSN : 2534-4358

Éditeur

Presses universitaires de Bordeaux

Édition imprimée

Date de publication : 1 juillet 2018

Pagination : 146-163

ISSN : 1968-469X

Référence électronique

Martin Küttim, Liisa Küttim et Raimo Pajula, « L'état actuel et la restauration écologique des tourbières en Estonie », *Dynamiques environnementales* [En ligne], 42 | 2018, mis en ligne le 01 juin 2019, consulté le 02 mai 2021. URL : <http://journals.openedition.org/dynenviron/1890> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/dynenviron.1890>



La revue *Dynamiques environnementales* est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.



L'état actuel et la restauration écologique des tourbières en Estonie

Martin Küttim, Liisa Küttim, Raimo Pajula

2. Institut d'Écologie de l'Université de Tallinn.
Uus-Sadama 5, 10120 Tallinn, Estonie.
kyttim@tlu.ee

English text p. 342

Résumé

Les tourbières sont des écosystèmes importants à l'échelle mondiale pour leurs habitats, leur puits de carbone et leurs fonctions de réservoirs d'eau douce. L'Estonie est l'un des pays les plus riches en tourbières au monde avec environ 20 % (9150 km²) de son territoire couvert de sols tourbeux. Cependant, la majorité de ces tourbières sont altérées par le drainage pour l'agriculture, la sylviculture et l'extraction de la tourbe, cette dernière ayant entraîné une dégradation des écosystèmes tourbeux et diminué leur fonctionnement. La perte rapide d'habitats de tourbières, l'affaissement des sols tourbeux et les émissions de carbone suite à la baisse du niveau de l'eau ont mis en évidence la nécessité d'une restauration écologique des tourbières drainées. Bien que les premières



tentatives de restauration en Estonie au début des années 2000 n'aient porté que sur des zones mineures, l'augmentation actuelle du nombre et de la qualité des projets de restauration sont prometteuses, et l'objectif de restaurer 10 000 ha de sites dégradés en Estonie d'ici 2020 devrait être atteint.

Mots-clés

Tourbières, borbiers, marécages, marais, Estonie, restauration écologique, drainage, Sphaigne, tourbe, tourbières coupées, zones humides, gaz à effet de serre.



Photo 1 : La végétation des marécages ouverts est dominée par les graminées et les mousses de sphaigne. Le marécage de Marimetsa dans l'ouest de l'Estonie (Photo : Martin Küttim).



un habitat à la faune sauvage, et proposer aux gens la valeur esthétique et les activités de loisirs. Par conséquent, les tourbières qui étaient autrefois drainées pour la sylviculture et l'agriculture avec acharnement sont maintenant restaurées pour les maintenir dans un état le plus proche possible de leur état naturel. Dans cet article, nous donnerons un aperçu de l'état actuel des tourbières en Estonie et des résultats des récentes activités de restauration.

Les tourbières d'Estonie

Les tourbières ne couvrent que 3 % des paysages terrestres du monde, mais contiennent un tiers des stocks mondiaux de carbone des sols et 10 % d'eau douce (Rydin et Jeglum, 2013).

Introduction

Les tourbières sont un élément inhérent au paysage estonien. En plus de leur couverture de surface élevée, leur rôle dans l'histoire et leur signification controversée aux yeux des gens en ont fait des symboles. Alors que les tourbières ont été considérées comme des « abcès du paysage » de par leur humidité et leur infertilité par le passé, leur valeur est aujourd'hui reconnue pour protéger les fluctuations des eaux, atténuer les effets du changement climatique, offrir

Ce sont des écosystèmes fascinants où les conditions anaérobies, car les tourbières sont gorgées d'eau, ont favorisé l'accumulation de matière organique à partir de restes de plantes en partie décomposées. Les tourbières se forment là où les précipitations dépassent l'évaporation et où l'eau ne s'infiltré pas dans les dépôts de sol sous-jacents. Les tourbières vierges (les bourbiers) sont des écosystèmes où l'accumulation de matière organique (la tourbe) se poursuit et où la végétation caractéristique existe. En général, les bourbiers commencent à se développer à par-



Photo 2 : Une des dernières parties du marécage de Pääsküla à la périphérie de la ville de Tallinn, où la végétation du marécage est restée intacte. La plus grande partie des 947 ha originels de la tourbière a été drainée pour l'exploitation forestière et l'extraction de tourbe (Photo : Martin Küttim).

tir des conditions minérotrophes (le stade des marais), mais deviennent de plus en plus pauvres en minéraux, car la couche de tourbe qui pousse isole les racines des plantes des eaux souterraines riches en minéraux et n'est alimentée que par des précipitations pauvres en nutriments. Le boubier atteint alors le stade de marécage (photos 1 et 2).

La formation des boubiers en Estonie a commencé après la dernière période glaciaire, il y a environ 10 000 ans, pendant la période climatique préboréale (Valk, 1988). Cependant, la grande majorité des tourbières a commencé à se former il y a 3 000 à 7 000 ans (Ilomets *et al.*, 2007). Par rapport à sa superficie, l'Estonie est le deuxième pays le plus

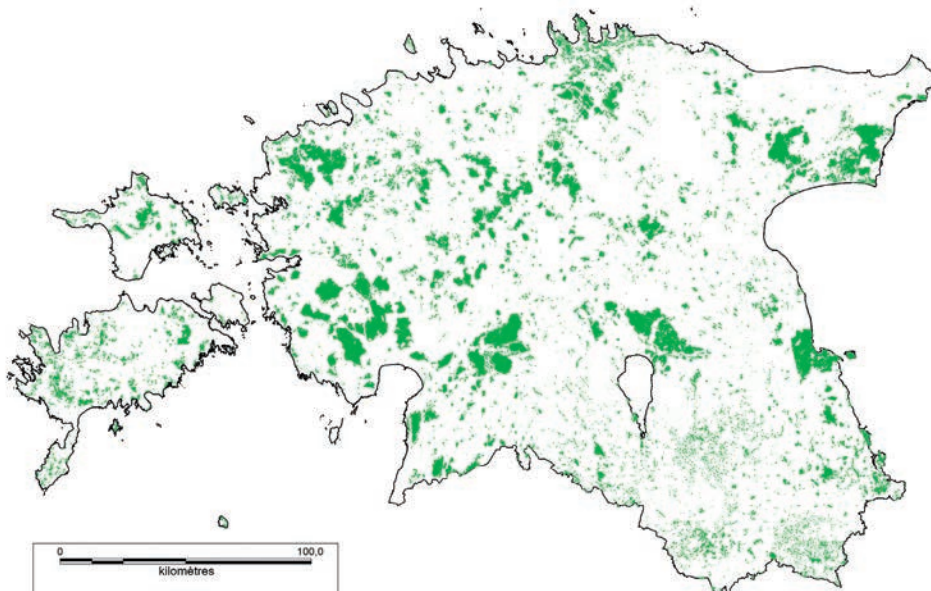


Figure 1 : La répartition des boubiers en Estonie : paludification des forêts, boubiers ouverts et boisés.



Photo 3 : Un fossé drainant la tourbière coupée (Photo : Raimo Pajula).

riche en tourbières au monde avec environ 20,2 % de son territoire (9 150 km²) couvert de sols tourbeux (Paal et Leibak, 2011) répartis inégalement sur le territoire estonien (figure 1). Cependant, les bourbiers vierges avec formation continue de tourbe ne représentent que le quart de cette superficie. La majorité des tourbières estoniennes ont été drainées pour la sylviculture, l'agriculture et l'extraction de tourbe,

et même les sites vierges sont souvent influencés par ce drainage. Par conséquent, la superficie des bourbiers a diminué de moitié depuis le début du XX^e siècle (Laasimer, 1965 ; Paal et Leibak, 2011). Actuellement, les marais vierges n'occupent pas plus de 42 300 ha, les bourbiers transitoires non endommagés recouvrent environ 40 000 ha et les marécages environ 151 200 ha, soit un total de 5,3 % du territoire estonien (Paal et

Leibak, 2011). Dans cet ensemble, environ 229 000 ha de bourbiers estoniens sont protégés (Paal et Leibak, 2011).

La tourbe est l'une des ressources naturelles les plus importantes d'Estonie, actuellement extraite sur une zone de 200 km², soit environ 1 million de tonnes par an (Kohv et Salm, 2012). Avec cette quantité, l'Estonie occupe le 3^e ou le 4^e rang des exportateurs de tourbe dans le monde. Les stocks totaux de tourbe des tourbières estoniennes s'élevaient à environ 2,37 milliards de tonnes (Ilomets, 2005), mais leur taux de décomposition et leur composition botanique varient. L'épaisseur la plus profonde enregistrée des dépôts de tourbe est de 18 m, l'épaisseur moyenne allant de 3 à 4 m (Orru, 1995). La formation annuelle moyenne de tourbe varie selon les régions, entre les types de tourbières, et même dans la même tourbière (Paal et Leibak, 2011). Bien que la formation globale de tourbe dans les tourbières estoniennes soit de 0,92 à 1,42 million de tonnes par an (Ilomets, 2005), la tourbe est généralement considérée comme un combustible fossile plutôt que comme une ressource renouvelable. Aujourd'hui, la tourbe étant un substrat majeur de l'horticulture moderne, les grandes quantités de tourbe extraites en Estonie sont exportées vers l'Europe occidentale et ailleurs. En plus d'être un substrat de croissance, la tourbe a été une importante ressource énergétique (par ex. les briquettes de tourbe et la tourbe moulue) et un substrat sous-jacent pour le bétail (Paal, J. 2011).

L'importance écologique des bourbiers et de leurs nombreuses fonctions utiles est généralement bien reconnue. Premièrement, les bourbiers ont une grande importance hydrologique. Ils préservent et purifient l'eau et atténuent les conséquences des inondations et des périodes de sécheresse. Deuxièmement, les bourbiers peuvent alléger

le changement climatique en accumulant le carbone atmosphérique grâce à la formation de tourbe. Troisièmement, les tourbières offrent des habitats à diverses espèces (Joosten et Clarke, 2002). Le drainage des bourbiers modifie toutes ces fonctions, mais le besoin local de terres supplémentaires pour l'agriculture et la sylviculture ainsi qu'un besoin international de tourbe comme combustible et comme substrat horticole ont rendu inévitable la baisse du niveau des eaux (Paal, J. 2011). Le réseau de drainage des tourbières estoniennes est dense, mesurant des milliers de kilomètres au total (Ring *et al.*, 2017). La baisse du niveau de l'eau due aux systèmes de drainage a l'effet le plus visible sur le fonctionnement des bourbiers (photo 3).

Premièrement, à mesure que le niveau de l'eau baisse, l'étendue de la couche aérée de la tourbe la plus élevée augmente. De fait, cela améliore les processus de décomposition et augmente donc les émissions de carbone dans l'atmosphère, provoquant à terme l'affaissement de la couche de tourbe.

Deuxièmement, la baisse du niveau de l'eau modifie les communautés végétales. Les communautés végétales inhérentes aux bourbiers, qui sont dominées par la tourbe et le carex par exemple, seront remplacées par d'autres communautés végétales communes dans les habitats plus secs (Rydin et Jeglum, 2013), ce processus s'accompagnant souvent d'une invasion forestière (Sarkkola *et al.*, 2010). Tout comme les végétaux, les habitats modifiés ne conviennent pas non plus à la faune des tourbières.

Troisièmement, le régime hydrique modifié ne protège plus la fluctuation de l'eau, laissant les rivières à sec à partir des bourbiers pendant les périodes de sécheresse. Ces plans d'eau peuvent



également être pollués par des sédiments organiques ou biogènes et les prises de poissons risquent de diminuer (Worrall et Burt, 2007).

Restauration écologique des tourbières : objectifs et pratiques

Les activités de restauration écologique visent à rétablir les écosystèmes dégradés ou détruits à un état aussi naturel que possible (Similä *et al.*, 2014). En Europe du Nord, les activités de restauration s'appliquent à plusieurs types de tourbières : tout d'abord les tourbières coupées où la végétation est absente ou peu abondante, ensuite les bords de bourbiers qui ont subi un drainage, et enfin les marécages, les marais et les bourbiers de transition qui souffrent aussi du drainage. Pour la plupart des types de tourbières dégradées, la régénération naturelle est généralement extrêmement lente. Par conséquent, les mesures de restauration doivent être appliquées pour réformer les communautés végétales inhérentes aux tourbières (Joosten, 1992).

La mission cruciale pour la restauration écologique de tout type de tourbière est d'élever le niveau de l'eau près de la surface du sol afin de favoriser la croissance et le développement de communautés de plantes marécageuses, de restaurer l'accumulation de tourbe et de transformer simultanément la tourbière, la faisant passer de source de carbone en puits de carbone (Kohv et Salm, 2012). Pour ce faire, les fossés sont endigués ou même remplis. Les barrages en tourbe, en bois ou en matériau artificiel permettent de réguler le niveau d'eau de la tourbe jusqu'à une certaine hauteur, où il améliore les processus de restauration de la tourbière, sans inonder par exemple les forêts et champs voisins (Similä *et al.*, 2014). Par ailleurs, la coupe à blanc des peuplements

d'arbres est parfois nécessaire pour la restauration. Habituellement, cela doit être effectué dans les sites qui étaient à l'origine des bourbiers ouverts selon d'anciennes cartes et photos aériennes, mais qui ont été boisés en raison du drainage (Masing, 2018).

Après la fin de l'extraction active de la tourbe, les tourbières coupées sont laissées sur place. Elles n'ont que peu ou pas de végétation, si bien que la restauration de ces sites peut s'avérer extrêmement difficile. L'autorécupération de la végétation des bourbiers sur ces sites est entravée par une fluctuation importante du niveau de l'eau et de la température du sol, ainsi qu'un niveau bas de pH et de CO₂ (Grootjans *et al.*, 2009). Comme ces sites sont vastes et peu recouverts de végétation, ils sont susceptibles d'être affectés par le soulèvement dû au gel, ce qui réduit également le potentiel de revégétalisation (Rochefort et Lode, 2006). Ainsi, les tourbières coupées sont parmi les priorités absolues à restaurer, car la couche de tourbe nue sans végétation et à faible nappe phréatique est une source d'émission de CO₂ très inflammable, remarquable et inappropriée comme habitats ; mais en cas de restauration réussie, elles peuvent avoir les mêmes valeurs que des bourbiers vierges (Kohv et Salm 2012 ; Masing, 2018). Pour toutes ces raisons, les tourbières coupées nécessitent une intervention humaine méticuleuse.

La croissance des mousses de *sphaigne* (un élément dominant de la végétation des tourbières) contribue grandement à la formation de tourbe et à l'accumulation de carbone dans les marécages (photo 4). Par conséquent, établir une couverture de *sphaigne* et améliorer sa croissance est une tâche cruciale lors de la restauration des tourbières coupées. L'expansion de la couverture de *sphaigne* est plus rapide et plus réussie si les fragments de *sphaigne*

sont transférés d'une zone donneuse («méthode canadienne»). La croissance de la longueur et de la biomasse de la *sphaigne* dépend de divers facteurs, tels que la température, les précipitations, l'ombrage, le niveau de l'eau, les concentrations de nutriments, ... (Krebs *et al.*, 2016). Habituellement, les paramètres climatiques ne peuvent pas être modifiés par les activités de restauration, mais, par exemple, l'équilibre du niveau d'eau près de la surface et l'ajout d'éléments nutritifs pourraient favoriser la croissance et la distribution de la *sphaigne* dans les sites de restauration. Si ces activités sont réus-

sies, la croissance de la longueur et de la biomasse de la *sphaigne* sur le site de restauration pourrait même dépasser les valeurs de croissance sur les sites vierges, mais cela peut varier entre les types de *sphaigne* et les années (Krijer, 2017). Néanmoins, la restauration de la fonction de piège à carbone d'une tourbière peut prendre 50 ans voire plus (Samaritani *et al.*, 2011). De plus, malgré la couverture relativement élevée de *sphaigne*, ces zones sont plus sensibles aux variabilités interannuelles du niveau de l'eau que les sites vierges voisins (Wilson *et al.*, 2016).

Restauration écologique des tourbières en Estonie

La majorité des tourbières estoniennes ont été drainées et ne sont donc plus considérées comme des bourbiers vierges. Les tourbières sont drainées

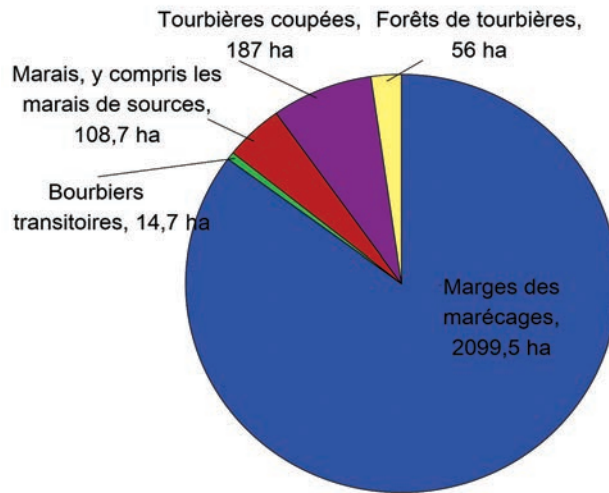


Photo 4 : Les mousses de sphaigne sont un genre inhérent des tourbières ombrotrophes (les marécages) et les principaux agents qui contribuent à la formation de la tourbe (Photo : Martin Küttim).

depuis le XVII^e siècle en Estonie (Paal, J. 2011). Le drainage agricole intensif des marais a lui commencé à la fin du XX^e siècle. Dans les années 1960-80, le drainage forestier annuel des tourbières était de 15 000 à 20 000 ha (Valk, 1988), soit 150 000 ha de tourbières drainés seulement en Estonie entre 1969 et 1975. Aujourd'hui, selon le plan de développement gouvernemental pour la protection de la nature, l'État vise à restaurer au moins 10 000 ha d'ici 2020 (Masing, 2018). Les principales activités sur les sites de restauration sont menées par l'Agence Nationale Forestière (RMK) et conseillées et suivies par les universités (Université de Tallinn, Université de Tartu) et les ONG (Fonds Estonien pour la Nature). Pour l'année 2018, 2 497 ha de tourbières ont déjà été restaurés (figure 2) et 4 773 autres ha sont en cours de restauration (Masing, 2018). Par conséquent, le calendrier des activités



Figure 2 : Les parts des types de tourbières restaurées en Estonie 2011-2018 (Masing, 2018).



de restauration est extrêmement chargé et il existe déjà une certaine expérience.

La majorité des sites déjà réhumidifiés en Estonie est en bordure de tourbières ombrotrophes et mixotrophes (marécages et bourbiers transitoires), car elles sont potentiellement plus susceptibles de ne se restaurer qu'après endiguement des fossés et rehaussement du niveau d'eau que d'autres types de tourbières (Similä *et al.*, 2014). L'eau des marécages ne provient que des précipitations, ce qui rend sa végétation moins sensible à la composition de la chimie de l'eau. De telles pratiques ont été appliquées pour la première fois en 2004-2005 dans la réserve naturelle de Luitemaa, où des barrages ont été construits sur les fossés de drainage du marécage de Tolkuse (Kaitstavate..., 2015). Le premier grand projet de restauration a eu lieu dans le parc national de Soomaa, où la partie sud-est du marécage de Kuresoo (80 ha), dont le régime hydrologique naturel a été affecté par le drainage, a été restaurée durant la période 2008-2013. La principale activité de restauration a consisté à fermer le système de drainage par la construction de barrages (des barrages supplémentaires ont été créés en 2015) et, à titre expérimental, une déforesta-

tion a été réalisée (Kaitstavate..., 2015). La recherche avant la réhumidification et la déforestation a été approfondie faisant de la restauration une réussite, mais, avec seulement quelques capteurs de pression submersibles, le contrôle après restauration a été minime. Les principales activités de restauration vont se poursuivre dans le parc national Soomaa, où 1290,5 ha sont en cours de restauration et 231,8 ha sont déjà terminés (Masing, 2018). Les autres

grands sites de restauration des marges des marécages se concentrent sur le complexe de bourbiers d'Endla, le marécage de Muraka et les bourbiers des réserves naturelles Luitemaa et Alam-Pedja.

Restaurer les tourbières minérotrophes (les marais) est un problème plus complexe et nécessite des recherches approfondies avant l'endiguement, car la végétation des marais dépend de la disponibilité des eaux souterraines riches en minéraux (Rydin et Jeglum, 2013; Similä *et al.*, 2014). En Estonie, l'expérience en la matière est encore limitée, mais la construction du premier site pilote aux marais printaniers de Paraspõllu (photos 5 et 6) a commencé en 2007 par l'Institut d'écologie de l'Université de Tallinn pour développer et tester différentes méthodes dans le but de restaurer la végétation naturelle des marais. Nos études ont montré que le rétablissement des communautés riches en espèces typiques des marais dépend principalement du rôle de la teneur en minéraux de l'eau disponible pour les plantes et de l'ampleur des fluctuations du niveau des eaux au cours des années. Actuellement, les premiers marais détériorés de l'ouest de l'Estonie ont été réhumidi-



Photo 5 : Les marais calcaires formant du tuf, et riches en espèces comptent parmi les types de zones humides les plus rares et les plus menacées au monde. Le marais de Paraspõllu dans le nord de l'Estonie (Photo : Martin Küttim).



Photo 6 : Expérience de fertilisation et de fauchage dans le marais de Paraspõllu au nord de l'Estonie afin de trouver la méthodologie permettant de restaurer la communauté naturelle de marais dominée par le carex (Photo : Raimo Pajula).

fiés : Viidumäe (35 ha) et à Kukka (24,2 ha) les marais de source (Kaitstavate..., 2015).

La mission la plus difficile, mais peut-être la plus importante, est de réhumidifier et de reverdir les tourbières coupées

(photos 7a et 7b). Bien que les lois estoniennes obligent les mineurs à cultiver à nouveau la zone après l'extraction de la tourbe, les vastes zones de tourbières coupées (presque 10 000 ha au total) ont été abandonnées à la fin de l'époque soviétique et doivent dé-



▲ Photo 7a et b : Zone de restauration de Hara dans l'ancienne tourbière coupée du nord de l'Estonie, où les activités de restauration ont eu lieu de 2011 à 2013. Les mousses de sphaigne et les linaiquettes engainées (*Eriophorum vaginatum*) réapparaissent dans la tourbière. Les zones inférieures inondées sont des habitats favorables aux oiseaux des zones humides (Photos : Martin Küttim et Raimo Pajula).

sormais être cultivées par l'État (Kohv et Salm, 2012). Dans cette zone, en plus de l'humidification, les diaspores de *sphaignes* doivent être semées afin de favoriser le développement de la végétation inhérente aux bourbiers (Kohv et Salm, 2012; Similä *et al.*, 2014). La première expérience de réforme des communautés végétales dans les sites d'extraction de tourbe abandonnés a eu lieu dans la réserve naturelle de Nigula, où des canneberges ont été établies (274 ha) sur le site d'extraction de tourbe épuisé en 1967-1984. L'objectif des travaux était la production de baies, mais cela a également créé des conditions favorables au retour de l'écosystème des marécages. De nos jours, la région est couverte de plantes typiques des marécages (Paal, T. 2011). Pour ce qui est de la restauration des bords des tourbières, la réhumidification prévue d'une tourbière coupée a également été réalisée pour la première fois dans la réserve naturelle de Luitemaa en 2004-2005, où les semis de *sphaigne* ont été testés dans la tourbière coupée de Maa-sikaraba (Kaitstavate..., 2015). L'Institut d'écologie de l'Université de Tallinn

a établi les premières zones d'essai pour trouver une méthode convenable à la restauration des champs d'extraction de tourbe abandonnés dans le marécage Viru du parc naturel Lahemaa en 2005 (photos 8a et 8b). Les activités de restauration y ont été mises en œuvre en 2011-2013. Actuellement, trois tourbières coupées ont été réhumidifiées dans le nord de l'Estonie, soit 187 ha au total : les tourbières coupées de Hara, Viru et Rannu (Masing, 2018). Sur ces trois sites, les fossés ont été endigués et les arbres enlevés, mais les mousses de *sphaigne* ont été semées uniquement à Viru (Kaitstavate..., 2015).

Expériences de restauration par l'Institut d'écologie de l'Université de Tallinn

L'Institut d'écologie de l'Université de Tallinn a une longue tradition dans l'étude du fonctionnement des écosystèmes marécageux, en particulier les tourbières, les marais calcaires et les bourbiers de sources. Dans les années 1990 s'est formé ce que nous avons appelé le « groupe des tour-



Photo 8a et 8b : Zone de restauration de Viru dans l'ancienne tourbière coupée, près d'un marécage naturel du nord de l'Estonie. Les activités de restauration s'y sont déroulées de 2011 à 2013. Même avec des inondations saisonnières, la région s'assèche tout de même pendant l'été (Photos : Martin Küttim et Raimo Pajula).



bières» dirigé depuis par Mati Ilomets. Les recherches se sont concentrées dans les années 1990 sur l'hydrologie et le fonctionnement des écosystèmes des marécages, ainsi que sur l'écologie de la *sphaigne*. Dans les années 2000, nous avons commencé des études sur l'impact du drainage sur le régime des

eaux des tourbières et les communautés végétales afin de clarifier l'étendue et la force de l'impact du drainage sur divers types de bourbiers. Parallèlement, nous avons commencé à étudier l'écologie des marais calcaires. Les études sur les marais se sont concentrées sur les relations entre les communautés végétales



Photo 9 : La zone à restaurer dans les marécages de Läänemaa Suursoo, où se déroulera la restauration en 2019. On peut voir les parcelles d'observation de la végétation sur le cliché (Photo : Raimo Pajula).



(composition des espèces), le régime de l'eau et la chimie du sol et de l'eau.

De plus, le groupe des tourbières de l'Institut d'écologie a mené de nombreuses études appliquées, y compris la compilation de stratégies d'utilisation des tourbières, l'inventaire et le contrôle des marais, le contrôle et les rapports sur les conditions des types d'habitats Natura, les inventaires des zones d'extraction de tourbes abandonnées, les plans de gestion de bourbiers, ...

Des études sur les tourbières coupées ont commencé au début des années 2000. Les expériences de recolonisation des *sphaignes* sur les tourbières coupées ont démarré en 2005 sur trois sites présentant diverses conditions hydrologiques et des caractéristiques résiduelles de tourbe : les marécages de Viru, Seli et Ohtu. La « méthode canadienne » a été appliquée sur les parcelles d'essai : des fragments de *sphaigne* ont été semés sur la tourbe nue. Diverses espèces et mélanges d'espèces de *sphaigne*, ainsi que des technologies de paillage (recouvrement par paille) et de fertilisation ont été testés afin de

trouver la technologie de restauration la plus efficace pour les conditions estoniennes. Les résultats indiquent que la succession de la restauration (formation de tapis de *sphaigne*) est très spécifique au site et dépend de nombreux facteurs environnementaux, dont les conditions météorologiques des années suivantes, qui peuvent être critiques pour la réussite de la restauration.

Au cours de la dernière décennie, nous avons également étudié les techniques de restauration des marais calcaires et des bourbiers de sources, une sorte de marais très perturbé en Estonie. La principale zone d'essai a été la tourbière de Paraspõllu avec des communautés de marais calcaires et printaniers. La restauration des marais riches en minéraux et des bourbiers de sources exige des connaissances spécifiques sur les processus chimiques et les cycles des nutriments en relation avec le régime hydrologique. L'élévation de la nappe phréatique dans les zones fortement drainées peut libérer des éléments nutritifs (en particulier du phosphore) dans les plans d'eau et peut également provoquer des changements défavo-



Photo 10 : Gel dans la tourbière de Läänemaa Suursoo (Photo : Raimo Pajula).

rables dans les communautés végétales. Les marais drainés sont souvent dominés par la molinie bleue (*Molinia caerulea*) qui, en formant des touffes hautes, occupe l'espace et fait concurrence aux espèces naturelles de marais. Pour restaurer les communautés naturelles de marais dominées par les *carex*, nous avons testé la coupe des touffes d'herbes de molinie bleue. Avec l'élévation de la nappe phréatique, les résultats étaient prometteurs et les signes de rétablissement de l'écosystème étaient déjà perceptibles en quelques années.

Conclusions et perspectives d'avenir

Entre 2011 et 2018, l'État, les universités et les ONG ont achevé ensemble les activités de restauration de tourbières sur 2330 ha, et le travail continue actuellement sur 5000 ha (Masing, 2018). Pendant ce temps, les connaissances et expériences acquises ont permis de commencer à travailler sur des sites plus grands et plus complexes, tout en poursuivant les projets de restauration en cours. Ces travaux sur les

nouveaux sites sont sur le point de débiter : il est prévu que 89 tourbières dégradées soient restaurées entre 2016 et 2023, pour un total de plus de 22000 ha (Kaitstavate..., 2015).

La majorité des fonds pour les restaurations proviennent de fonds structurels européens. Par exemple, une importante contribution à la restauration des tourbières dégradées d'Estonie sera apportée par deux projets LIFE. Le premier, «Life Peat Restore» (Restauration des tourbières - instrument financier pour l'environnement), est un projet commun entre l'Estonie, la Lettonie, la Lituanie, la Pologne et l'Allemagne, avec pour partenaire l'Université de Tallinn, et qui a pour but de restaurer 3 343 ha de tourbières drainées dans les marécages de Läänemaa Suursoo (photos 9 et 10). Cette vaste zone contient plusieurs types de tourbières, tels que des tourbières minérotrophes calcaires dégradées, des tourbières hautes actives, des forêts marécageuses, des taïgas occidentales et les bois marécageux caducifoliés. L'accumulation de tourbe s'est arrêtée dans la majorité de ces sites.



La longueur totale des fossés dans les sites de restauration est de 45 km. Pour rapprocher le niveau de l'eau de la surface, des dizaines de kilomètres de fossés vont être remplis de tourbe, et plus de cent barrages de bois et de tourbe seront construits. Ce projet se déroulera entre 2016 et 2021.

L'autre projet LIFE, « Conservation and Restoration of Mire Habitats » (Conservation et restauration des habitats tourbeux), a pour but la restauration de six tourbières au centre et au nord-est de l'Estonie (environ 5800 ha), et est mené en commun par le Fonds Estonien pour la Nature (ELF), l'Université de Tartu et l'ONG Archaeovision. Dans le cadre de ce projet, 240 km de fossés seront barrés par une digue ou remplis. Les zones du projet comprennent 50 ha de tourbières désaffectées dans des réserves naturelles, et 3450 ha d'habitats prioritaires pour Natura 2000, y compris des tourbières hautes actives, des tourbières boisées, des bois marécageux caducifoliés et des taïgas occidentales. Ce projet se déroulera entre 2015 et 2020.

Les projets de restauration à venir se concentrent sur les sites de tourbière de haute importance et ayant actuellement un impact négatif sur l'environnement (y compris les gaz à effet de serre), mais aussi sur les sites ayant un haut potentiel de restauration et une grande

efficacité en termes de coût. De plus, les tourbières minérotrophes feront l'objet d'une attention particulière, en particulier les marais printaniers, qui sont plus difficiles à restaurer que les bords des marécages, mais en raison de la taille limitée des sites dans leur état naturel, elles ne suffisent pas à assurer des habitats aux espèces endémiques des marais printaniers d'Estonie (Kaitstavate..., 2015).

Les activités de restauration facilitent la remise en état des écosystèmes de tourbière après drainage, mais améliorent également nos connaissances à leur sujet. Les projets de restauration fondés sur la connaissance sont en général couronnés de succès, et du point de vue de la protection de la nature, l'investissement en vaut la peine.

Remerciement

Nous aimerions adresser nos remerciements à Kaupo Kohv et à Mati Ilomets pour leurs suggestions et leur aide lors de la compilation de ce manuscrit. Le projet LIFE « Life Peat Restore » a apporté un soutien financier à MK et RP. MK et LK ont reçu un soutien financier de la dotation « Enchanted » (IUT 18-9).

Bibliographie

- Grootjans A.P., van Diggelen R., Bakker J.P., 2009.** Restoration of mires and wet grasslands. In: Restoration Ecology: The New Frontier (van Andel, J., Aronson, J., eds.), pp 111-123. Wiley-Blackwell, Hoboken.
- Ilomets M., 2005.** Turba juurdekasv Eesti soodes. Lõpp-aruanne Keskkonnainvesteeringute Keskuse rakenduslikult uurimisprojektile (*The accumulation of peat in Estonian mires. The final report to an applied research project*). Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut.
- Ilomets M., Kimmel K., Sten C.-G., Korhonen R., 2007.** Mires in Estonia and Southern Finland. GeoGuide Baltoscandia, Tallinn. 1-36 p.
- Joosten H., 1992.** Bog regeneration in the Netherlands: a review. In: Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment (Ed. O.M. Bragg, P.D. Hulme, H.A.P. Ingram & R.A. Robertson), 367-373. Department of Biological Sciences, University of Dundee, UK.
- Joosten H., Clarke D., 2002.** Wise use of mires and peatlands – background and principles including a framework for decision-making. International Mire Conservation Group and International Peat Society. Saarijärvi, Finland. 308 p.
- Kaitstavate soode tegevuskava (Action plan for the protected mires), 2015.** Eesti Vabariigi Keskkonnaministeerium, Tallinn. 41 p. (https://www.envir.ee/sites/default/files/soode_tegevuskava.pdf).
- Kohv M., Salm J.-O., 2012.** Soode taastamine Eestis (*The restoration of mires in Estonia*). Eesti Loodus 4, 10-16.
- Krebs M., Gaudig G., Joosten H., 2016.** Record growth of *Sphagnum papillosum* in Georgia (Transcaucasus): rain frequency, temperature and microhabitat as key drivers in natural bogs. Mires & Peat 18, Article 4, 1-16.
- Krijer A., 2017.** Samblarinde võrdlus taastaimestuvatel freesväljadel ja looduslikus seisundis rabades (*Bryophyte layer comparison between restored milled peatlands and pristine bogs*). Bakalaureusetöö. Tallinna Ülikool, Loodus- ja terviseteaduste instituut. 38 p.
- Laasimer L., 1965.** Eesti NSV taimekate (The vegetation of Estonian SSR). Eesti NSV Teaduste Akadeemia Zooloogia ja Botaanika Instituut. Kirjastus "Valgus", Tallinn. 398 p.
- Masing K., 2018.** Sirkli ja kopaga soos (*In a mire with a compass and an excavator*). Metsamees 1 (132): 12-16.
- Orru M., 1995.** Eesti turbasood: teatmik (*Peat bogs of Estonia: a handbook*). Eesti Geoloogiakeskus,



- Tallinn. 240 p.
- Paal J., 2011.** Soode kuivendamine Eestis (*Drainage of peatlands in Estonia*). In: Jääksood, nende kasutamine ja korrastamine (*Cut-away peatlands, their use and recultivation*; Paal, J. ed). Eesti Turbaliit, Tartu. Pp 21-22.
- Paal T., 2011.** Marjakasvatuse rajamine (*The establishment of a berry plantation*). In: Jääksood, nende kasutamine ja korrastamine (*Cut-away peatlands, their use and recultivation*; Paal, J. ed). Eesti Turbaliit, Tartu. Pp 64-68.
- Paal J., Leibak E., 2011.** Estonian mires: inventory of habitats. Estonian Fund for Nature, Tartu. 204 p.
- Ring E., Johansson J., Sandström C., Bjarnadottir B., Finer L., Libiete Z., Lode E., Stupak I., Sætersdal M., 2017.** Mapping policies for surface water protection zones on forest land in the Nordic-Baltic region: Large differences in prescriptiveness and zone width. *Ambio* 46(8): 878-893.
- Rocheft L., Lode E., 2006.** Restoration of Degraded Boreal Peatlands. In: *Boreal Peatland Ecosystems* (R.K.Wieder and D.H.Vitt eds.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 381-422.
- Rydin, H., Jeglum, J.K. 2013. *The Biology of Peatlands*. Second edition. Oxford University Press, Oxford. 432 p.
- Samaritani E., Siegenthaler A., Yli-Petäys M., Buttler A., Christin P.-A., Mitchell E.A.D., 2011.** Seasonal Net Ecosystem Carbon Exchange of a Regenerating Cutaway Bog: How Long Does it Take to Restore the C-Sequestration Function? *Restoration Ecology* 19 (4): 480-489.
- Sarkkola S., Hökkä H., Koivusalo H., Nieminen M., Ahti E., Päivänen J., Laine J., 2010.** Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 1485-1496.
- Similä M., Aapala K., Penttinen J., 2014.** Ojitettujen soiden ennalistamisopas (*Handbook of the restoration of drained peatlands*). Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja B 188. 302 p.
- Valk U., 1988.** Eesti sood (*Estonian mires*). Kirjastus „Valgus”, Tallinn. 344 p.
- Wilson D., Farrell C.A., Fallon D., Moser G., Müller C., Renou-Wilson F., 2016.** Multiyear greenhouse gas balances at a rewetted temperate peatland. *Global Change Biology* 22(12): 4080-4095.
- Worrall F., Burt T., Adamson J.,** Can climate change explain increases in DOC flux from upland peat catchments? *Science of the Total Environment* 326, 95-112.



Les chutes de Saka, à Ida-Virumaa en Estonie (photo : Hannu, 2010, wikimedia commons, CC 0-Domaine public).