

18
09

> Régénération des hauts-marais

Bases et mesures techniques



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

18

09

> Régénération des hauts-marais

Bases et mesures techniques

Valeur juridique de cette publication

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEV en tant qu'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise des notions juridiques indéterminées provenant de lois et d'ordonnances et favorise ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe que leurs décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions sont aussi licites dans la mesure où elles sont conformes au droit en vigueur. Les aides à l'exécution de l'OFEV (appelées jusqu'à présent aussi directives, instructions, recommandations, manuels, aides pratiques) paraissent dans la collection «L'environnement pratique».

Impressum

Editeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)
L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Auteurs

Alain Lugon, Yvan Matthey, Sarah Pearson, Ecoconseil SA, La Chaux-de-Fonds
Philippe Grosvernier, LIN'eco, Reconvilier
Peter Staubli, Beck und Staubli, Zug

Citation recommandée

Grosvernier Ph. & Staubli P. (réd.) 2009:
Régénération des hauts-marais. Bases et mesures techniques.
L'environnement pratique n° 0918.
Office fédéral de l'environnement, Berne. 96 p.

Direction OFEV

Carole Gonet, division Gestion des espèces

Suivi externe

Andreas Grünig, FNP, Birmensdorf
Thomas Oberson, arr. for. 2, Plaffeien
Xaver Jutz, Pluspunkt, Zürich

Mise en page

Grafikwerkstatt upart, Berne

Traduction

Henri-Daniel Wibaut, Lausanne
Catherine Brunner, Lausanne

Photo de la couverture

Mesures de régénération dans le site marécageux de Rothenturm
(photo Beck & Staubli)

Illustrations

Geneviève Méry, NATURA, Les Reussilles
Cléa Liniger, Dombresson
Margrit von Euw, FNP, Birmensdorf

Commande

OFEV
Centrale d'expédition
CH-3003 Berne
Fax +41 (0)31 324 02 16
docu@bafu.admin.ch
www.environnement-suisse.ch/uv-0918-f

N° de commande:

UV-0918-F

Cette publication est également disponible en allemand (UV-0918-D)

Téléchargement PDF

www.environnement-suisse.ch/uv-0918-f

© OFEV 2009

> Table des matières

Abstracts	5
Avant-propos	7
<hr/>	
1	Investigations et méthodes
1.1	Données de base 9
1.2	Topographie 10
1.3	Sol 11
1.4	Hydrologie 12
<hr/>	
2	Végétalisation
2.1	Principes généraux 21
2.2	Choix de la mesure 22
2.3	Préparation du chantier et remise en état 23
2.3.1	Végétalisation de terrains plats 24
2.3.2	Végétalisation de terrains en faible pente 29
2.3.3	Stabilisation et végétalisation de terrains en forte pente 37
<hr/>	
3	Retenues d'eau
3.1	Principes généraux 49
3.2	Choix de la mesure 50
3.3	Préparation du chantier et remise en état 54
3.3.1	Barrages en panneaux de bois ou métalliques 56
3.3.2	Barrages et comblement d'une rigole ou d'un fossé au moyen de tourbe 64
3.3.3	Barrages et comblement d'une rigole ou d'un fossé avec de la sciure de bois (méthode zougoise) 69
3.3.4	Barrages à l'aide d'une palissade de bois 73
3.3.5	Régulation hydrique contrôlée par un caisson de bois 78
3.3.6	Régulation hydrique contrôlée par une chambre de ciment avec vanne 86
<hr/>	
Index	
Glossaire	92
Bibliographie	94
Illustrations	96

|

|

> Abstracts

This guide describes the basic knowledge required to plan the restoration or regeneration of a raised bogs. It also describes in detail how to execute restoration measures so as to revegetate bare peat and to dam the water flow. This technical guide is addressed to the authorities responsible for implementing mire protection and to the managers of the sites concerned.

Keywords:

raised bogs, restoration, regeneration, revegetation of bare peat, water retention, filling up of ditches, damming of ditches, groundwater regulation, hydrology

Diese Anleitung beinhaltet einerseits die erforderlichen Grundlagen für die Erarbeitung eines Renaturierungs- oder Regenerationsprojekts in einem Hochmoor. Andererseits beschreibt sie in den Bereichen Bepflanzung nackter Torfflächen und Rückhalt von Wasser umfassend die Umsetzung technischer Massnahmen für die Renaturierung. Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe und richtet sich an Behörden, die mit dem Schutz der Moore betraut sind, sowie an die Gebietsverantwortlichen.

Stichwörter:

Hochmoore, Renaturierung, Regeneration, Bepflanzung von nackten Torfflächen, Wasserrückhalt, Auffüllen von Entwässerungsgräben, Stau von Entwässerungsgräben, Wasserregulierung, Hydrologie

Ce guide présente, d'une part, les données de base nécessaires à l'élaboration d'un projet de restauration ou de régénération dans un haut-marais et, d'autre part, décrit précisément l'exécution de mesures techniques de restauration dans les domaines de la végétalisation de surfaces de tourbe nue et des retenues d'eau. Ce guide technique s'adresse aux autorités chargées de la mise en oeuvre de la protection des marais et aux gestionnaires de sites.

Mots-clés:

hauts-marais, restauration, régénération, végétalisation de tourbe nue, retenues d'eau, comblement de fossés, barrages sur fossés, régulation hydrique, hydrologie

La presente guida riporta da un lato le conoscenze necessarie per elaborare un progetto di rivitalizzazione e di rigenerazione di una torbiera alta. Dall'altro descrive in modo preciso l'esecuzione delle misure tecniche di rivitalizzazione nel settore della piantagione della torba scoperta e delle ritenute d'acqua. La presente pubblicazione è un aiuto all'esecuzione destinato alle autorità preposte all'attuazione della protezione delle torbiere e ai gestori dei siti.

Parole chiave:

torbiere alte, rivitalizzazione, rigenerazione, piantagione della torba scoperta, ritenute d'acqua, ripiena di drenaggio, sbarramento su drenaggio, regolazione del livello d'acqua, idrologia

|

|

> Avant-propos

Les hauts-marais – témoins vivants du passé – sont des habitats rares, fragiles et très sensibles aux variations des conditions écologiques. L'extraction de la tourbe (aujourd'hui interdite), les perturbations hydrologiques, l'intensification de l'agriculture et de la sylviculture ont entraîné une modification voire une disparition de leur flore et faune caractéristiques. Ils comptent de ce fait parmi les milieux naturels les plus menacés de Suisse.

Le rapport sur l'état et l'évolution des marais en Suisse (OFEV 2007) montre que la perte en surface a pu être jugulée au cours des cinq dernières années, mais que les efforts doivent être poursuivis, voire intensifiés en ce qui concerne la qualité des marais et notamment l'hydrologie. Des milliers d'années ont été nécessaires à la formation des hauts-marais actuels. Leur conservation intégrale, mais également leur régénération sont ainsi essentielles. Cette dernière constitue une étape importante dans la gestion à long terme des hauts-marais, car elle contribue à rétablir les conditions écologiques strictes permettant la réapparition et le développement de la flore et de la faune caractéristiques de ces milieux.

La régénération des milieux marécageux constitue non seulement une mesure efficace pour la protection de la biodiversité, elle contribue également à la protection du climat. En effet, les sols tourbeux représentent des puits de carbone de longue durée qui se transforment en source de gaz carbonique lorsque leur régime hydrique est perturbé et qu'ils s'assèchent. La régénération des marais dégradés contribue ainsi à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Cette publication présente les différentes techniques de régénération dans les domaines de la végétalisation de surfaces de tourbe nue ainsi que dans la gestion de l'eau. La planification et la réalisation de telles interventions requièrent des très bonnes connaissances préalables du milieu et une réflexion en amont, afin d'analyser la situation en détail et de définir les objectifs à atteindre pour chaque secteur du marais. C'est pourquoi, cette brochure a pour but d'aider à choisir la mesure adéquate et présente les paramètres qu'il faut prendre en considération notamment dans les données hydrologiques. La mise en place d'un suivi sur le moyen terme s'avère pertinente pour contrôler les ouvrages entrepris et suivre l'évolution du milieu.

Ce document constitue une version complétée et mise à jour des «Fiches techniques de régénération des hauts-marais» publiées par l'OFEFP en 1997–1998. Il constitue un outil à la fois technique et pratique qui s'adresse aux responsables de la gestion des hauts-marais – en particulier les services cantonaux de protection de la nature et leurs mandataires –, aux bureaux spécialisés en environnement, mais également aux personnes chargées d'exécuter les mesures sur le terrain.

Nous espérons ainsi que tous trouveront les informations, les sources d'idées et la motivation nécessaires au succès des projets de régénération et de conservation à long terme de cette ressource inestimable que constituent les hauts-marais de notre pays.

Willy Geiger

Vice-directeur, Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Avant d'ouvrir un chantier ...

1 > Investigations et méthodes

Des objectifs clairs et réalistes sont la condition sine qua non du succès d'une mesure de régénération d'un haut-marais. Parmi les multiples possibilités qui se présentent théoriquement au gestionnaire, le choix de l'une ou de l'autre intervention repose inévitablement sur une décision quant au but à atteindre. Avant d'ouvrir un chantier, il vaut par conséquent la peine de réunir quelques informations qui serviront à orienter correctement l'intervention et à engager avec efficacité les moyens à disposition.

La régénération des zones marécageuses détériorées représente un objectif principal de la protection des haut-marais (cf. articles 4 et 5 de l'Ordonnance fédérale sur la protection des hauts-marais et des marais de transition d'importance nationale).

1.1 Données de base

Les hauts-marais sont des milieux complexes. Chaque marais est un cas particulier, avec ses propres caractéristiques, même si tous montrent des similitudes fondamentalement spécifiques au milieu (Grosvernier, Lugon & Matthey 1998). Lors de la planification et de la réalisation d'un projet de régénération, il s'agit de relever les paramètres principaux. Afin de ne pas inutilement ralentir et renchérissement le projet, il faut rassembler les données pertinentes déjà existantes. Il est donc utile, au début d'un projet de régénération, de rechercher les données et les informations existantes sur la région et sur la restauration des marais. Différentes sources importantes et utiles sont disponibles (Akkermann 1982; Brooks & Stoneman 1997; BUWAL 1992/2002; Dupieux 1998; Eigner & Schmatzler 1991; Grosvernier, Matthey, Mulhauser 2001; Haab & Jutz 2004; Matthey, Lugon, Grosvernier 1999; Matthey, Lugon, Grosvernier & Grünig 2001; Quinty & Rochefort 2003; Staubli 1997, 2004; Wheeler & Shaw 1995; Wheeler, Shaw, Fojt & Robertson 1995).

1.1.1 Bibliothèques et archives

De nombreuses bibliothèques et archives possèdent de la littérature et des informations pertinentes sur les marais. L'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL à Birmensdorf (von Euw, Grünig & Fischbacher U. 1995) possède sans doute la bibliothèque et les archives les plus complètes sur les marais et leur protection en Suisse. Le site internet du WSL permet de consulter cette banque de données. De même pour la banque de données du «Pôle-relais Tourbières» en France, qui possède des références mondiales sur les marais, leur protection et leur entretien (voir bibliographie). Les archives publiques ou privées (p. ex. propriétaires fonciers comme des corporations, des industries, etc.), les documents officiels comme des permis d'exploitation de la tourbe, des décomptes de subventions, des projets d'améliorations foncières, des études, des projets, des travaux de diplômes ou même des sources orales, sont autant de sources d'informations.

1.1.2 Inventaire des hauts-marais

Entre 1978 et 1984, trois experts ont établi l'inventaire des hauts-marais de Suisse pour le compte de la fondation privée



Fig. 1 Photographie aérienne de la tourbière du Hudelmoos (TG, SG) de 1932

Pro Natura Helvetica. Après des recherches ciblées, les marais repérés ont été visités, relevés sur la carte nationale au 1:25 000 et décrits brièvement. En général, ce descriptif était accompagné d'un commentaire sur les menaces et sur les mesures de protection à prendre. Cet inventaire détaillé peut être consulté auprès de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). C'est sur cette base qu'a été établi l'inventaire fédéral des hauts-marais d'importance nationale qui constitue une annexe de l'ordonnance sur les hauts-marais.

1.1.3 Manuel «Conservation des marais»

L'OFEV a édité en 1992 le manuel «Conservation des marais» (2 classeurs). Celui-ci est périodiquement complété et actualisé. Il contient de nombreuses indications utiles et intéressantes sur les marais et les paysages marécageux. Le premier tome traite des aspects scientifiques et légaux, de la flore et la faune, mais aussi de la méthode pour le suivi. Le deuxième tome contient des indications sur les différentes utilisations, leurs conflits éventuels et leurs solutions.

1.1.4 Banque de données sur les projets de régénération

L'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage tient une banque de données sur le thème de la régénération des marais; on peut la consulter sur le site internet du WSL (voir bibliographie). Les offices fédéraux et cantonaux responsables, ainsi que les spécialistes désignés par ces derniers, ont accès à une version détaillée de cette banque de données, qui donne un aperçu de l'état des projets de régénération des marais en Suisse, ainsi que des techniques employées.

1.1.5 Photographies aériennes

L'office fédéral de topographie à Wabern possède une vaste collection de photographies aériennes d'excellente qualité. Les séries les plus anciennes datent de 1931/32, puis on trouve des photos de 1944/45, ainsi que des années 50, 60 et 70. A partir de 1980 environ, ce sont des photos couleur prises environ tous les 6 ans, jusqu'à aujourd'hui.

Les photos aériennes sont très utiles, à plusieurs points de vue. Elles permettent de reconstituer le développement d'une zone, car les premières prises de vue sont antérieures à la grande période d'exploitation de la tourbe durant la 2e Guerre mondiale. Toutefois, la tourbe était déjà bien exploitée avant 1930, en particulier aux environs des agglomérations ou dans des zones faciles d'accès.

Les anciennes photos aériennes, et bien entendu d'autres photos historiques, donnent des arguments convaincants pour la régénération, car elles permettent aux propriétaires fonciers, aux exploitants ou à toute autre personne concernée, de se souvenir de l'état de la zone avant les modifications, souvent très importantes, survenues au cours des dernières décennies. Comme cette évolution est souvent lente, on s'habitue

facilement au nouvel état. En permettant de rafraîchir les mémoires, les photos facilitent parfois la réalisation de projets de régénération.

1.1.6 Flore et faune

Des données sur la flore et la faune de nombreuses régions existent déjà car les marais, de par leur rareté et leur importance scientifique, ont souvent été l'objet de recherches scientifiques et le sont encore. Ces connaissances permettent de planifier les mesures et de réaliser le suivi et le contrôle des effets en tenant compte des exigences spécifiques de cette faune et de cette flore spécialisée. Les principales sources d'information sont les Hautes écoles, le Centre suisse de cartographie de la faune (SZKF; CSCF) à Neuchâtel et les offices cantonaux.

1.2 Topographie

La connaissance exacte de la topographie du marais est une des données les plus importantes, aussi bien pour juger le milieu que pour planifier, car les marais sont des milieux humides et les mesures de régénération, en modifiant la structure de la surface, touchent en général aussi l'équilibre hydrique. Comme la végétation du marais ne supporte pas d'être submergée, la connaissance exacte de la topographie du site et des conséquences que peuvent avoir, par exemple, des mesures de retenue, sont particulièrement importantes pour la planification et le succès du projet. Différents moyens sont disponibles à cet effet.

Une mesure fréquente lors de régénérations dans des marais boisés ou buissonneux est d'enlever des arbres ou de débroussailler; il est souvent possible d'en estimer l'étendue dès une phase précoce du projet. Il n'est pas inutile de contrôler s'il faut procéder à un éclaircissement ou un débroussaillage avant les relevés sur le terrain ou à tout autre relevé de données.

1.2.1 Cartes et plans

En premier lieu, il s'agit d'utiliser les données existantes. Les moyens techniques développés pour la télédétection et l'exploitation de données ont permis à la Confédération, comme aux cantons, de rassembler un grand nombre de documents utiles. On trouve des plans conventionnels, et en particulier des modèles numériques de terrain, qui représentent aussi de façon très détaillée des zones peu accessibles. Plusieurs cantons mettent des données SIG à disposition sur leur site Internet; ces données recouvrent une large palette d'informations utiles, comme photos aériennes actuelles, cartes historiques ou données sur la nature. En règle générale, les marais sont des zones de protection cantonales pour lesquelles il existe des plans et des mesures dont il faut tenir compte.

1.2.2 Relevés terrestres

En terrain découvert, facile, il est avantageux de travailler avec le GPS. Les données fournies sont suffisantes pour la planification. Si la réception satellite est mauvaise, il faut utiliser les méthodes classiques avec le théodolite ou une des méthodes décrites ci-dessous.

1.2.3 Relevés stéréoscopiques

Des photos aériennes verticales, prises avec un bon recouvrement, peuvent être exploitées par stéréoscopie. Une résolution d'environ 25 cm par courbe de niveau n'est pas toujours suffisante pour la planification détaillée des mesures. Cette méthode connaît aussi ses limites dans des zones boisées ou très embroussaillées.

1.2.4 Scanner laser

Depuis quelques années, il existe une nouvelle technique pour les mesures de terrain et de surface: le scanner laser (LIDAR); il donne de très bons résultats pour un investissement relativement peu important. Un appareil, monté dans un avion, envoie des rayons laser sur la surface de la terre. Comme la réflexion des rayons diffère selon ce qu'ils rencontrent, il est possible de relever avec une précision suffisante les zones avec et sans végétation. Ces données permettent aussi de calculer des modèles hydrologiques ou autres, très utiles pour la connaissance de l'objet et la planification des mesures. Sur mandat de l'OFEV (état 2008), le WSL de Birmensdorf peut fournir gratuitement aux cantons de tels modèles établis à partir des données LIDAR de l'Office de topographie (fig. 2).

1.3 Sol

Les marais sont caractérisés par un sol tourbeux. Connaître l'épaisseur initiale ou actuelle de la tourbe ainsi que la topographie actuelle renseigne largement sur le type de marais et l'histoire de sa formation. On peut en déduire des informations pour les buts du développement et les mesures de régénération.

Il faut veiller à utiliser les méthodes les moins invasives possible, puisque les interventions mécaniques (p. ex rainures de rétropelleuse) sont justement problématiques dans les marais et que, pour des raisons légales, elles ne sont autorisées dans certains cas particuliers.

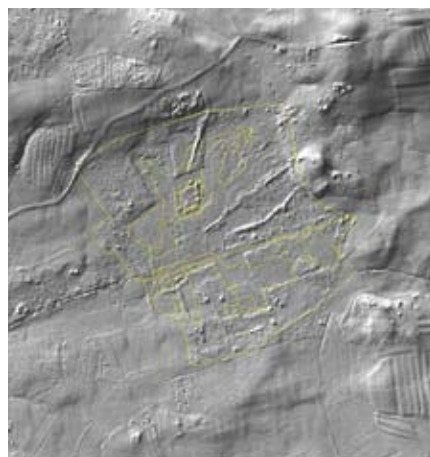
1.3.1 Mesurage de l'épaisseur de tourbe par sondages

La méthode classique pour mesurer l'épaisseur de la tourbe est d'utiliser un carottier ou, pour des épaisseurs de plus d'un mètre, une tarière avec une profondeur maximale de 12 mètres. Ces sondages sont effectués à des endroits précis. Par déduction, en connaissant la surface et l'épaisseur de la couche, il est possible de reconstruire la surface invisible de la couche minérale. On peut la représenter sur des plans sous forme de coupe dans le terrain ou de carte isopach (surfaces présentant la même épaisseur de tourbe).

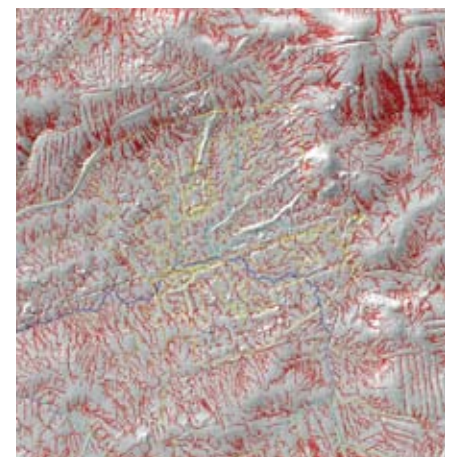
Si la tourbe est dure (p. ex part importante de *Eriophorum vaginatum*), si elle contient beaucoup de bois ou si la transition entre la tourbe et une couche de sol minéral mou ou une couche sédimentaire molle est diffuse, des difficultés peuvent surgir et le travail être accru. L'avantage du carottier et de la tarière sont les échantillons de terre qu'on en retire et qu'on peut analyser (Buttler, Grosvernier & Matthey 1998). Les dé-



a) Situation



b) Modèle numérique de terrain



c) Modèle hydrologique

carte flowaccumulation © WSL 2008

Fig. 2 Interprétation des données LIDAR pour la tourbière du Hudelmoos (TG, SG);

carte nationale: pixmaps © 2008 swisstopo (DV033492.2); modèles LIDAR: DTM-AV DOM-AV © 2008 Eidg. Vermessungsdirektion (DV033531)

savantages sont des dérangements ponctuels et, en particulier pour des marais étendus et ceux dont le corps tourbeux est épais, un travail plutôt important (fig. 3).

1.3.2 Mesurage de l'épaisseur de la tourbe à l'aide d'un géoradar

Le géoradar (ground penetrating radar GPR) est une méthode de mesure de l'épaisseur de la tourbe déjà éprouvée à plusieurs reprises et qui ne perturbe pas le site. Le principe repose sur un émetteur radar dont la fréquence se situe entre 50 MHz et 1000 MHz et qu'on déplace sur le sol du marais en certains points connus, qui ont été définis à l'avance ou sont relevés au fur et à mesure par GPS, on émet un signal radar dans le sol (fig. 4). Une antenne reçoit le signal réfléchi, puis les données sont interprétées et présentées sous la forme désirée (fig. 5 et 6).

Cette méthode géophysique efficace permet aussi d'étudier de grandes surfaces avec un bon résultat et un bon rapport qualité-prix. Les appareils et le procédé dépendent du prestataire de services et du terrain (Meier et al. 2002).

1.4 Hydrologie

1.4.1 Généralités

L'équilibre hydrique est un des facteurs les plus significatifs d'un marais, c'est pourquoi les connaissances sur l'hydrologie du marais sont de la plus grande importance pour la planification des projets de régénération (Steiner & Grünig 1999). Dans un marais naturel, les conditions hydrologiques sont le résultat des conditions géologiques, topographiques et climatiques (Grünig & Steiner 1998). Dans un marais perturbé, d'autres facteurs viennent s'ajouter. Il peut s'agir d'influences directes sur le marais comme des drainages, des modifications de la topographie par extraction de tourbe, remblayage, érosion, etc., mais aussi d'un drain dans le marais ou en périphérie (Grosvernier, Lugon & Matthey 1998). Les influences sont aussi indirectes, comme celle sur le bassin d'alimentation, p. ex des modifications de ce bassin ou une exploitation intensive (Marti, Krüsi, Heeb & Theis 1997).

Suivant l'état et le potentiel de développement, les divers facteurs ont un poids différent. L'attention doit être portée sur ceux qui peuvent être influencés par des mesures. L'équilibre hydrique dans un marais est souvent très complexe; sa compréhension demande quelques recherches. Celles-ci ne sont pourtant qu'un des aspects des études nécessaires à un projet de régénération de haut-marais. Le travail de recherche sur l'équilibre hydrique doit rester dans un rapport équilibré avec les autres recherches nécessaires. Heureusement, on peut souvent mesurer directement les données hydrologiques. Garder la vue d'ensemble sur un marais ou un complexe de marais reste très important.



Fig.3 Tarière (modèle Hiller) avec chambre remplie de marne et de tourbe



Fig.4 Géoradar monté sur un quad

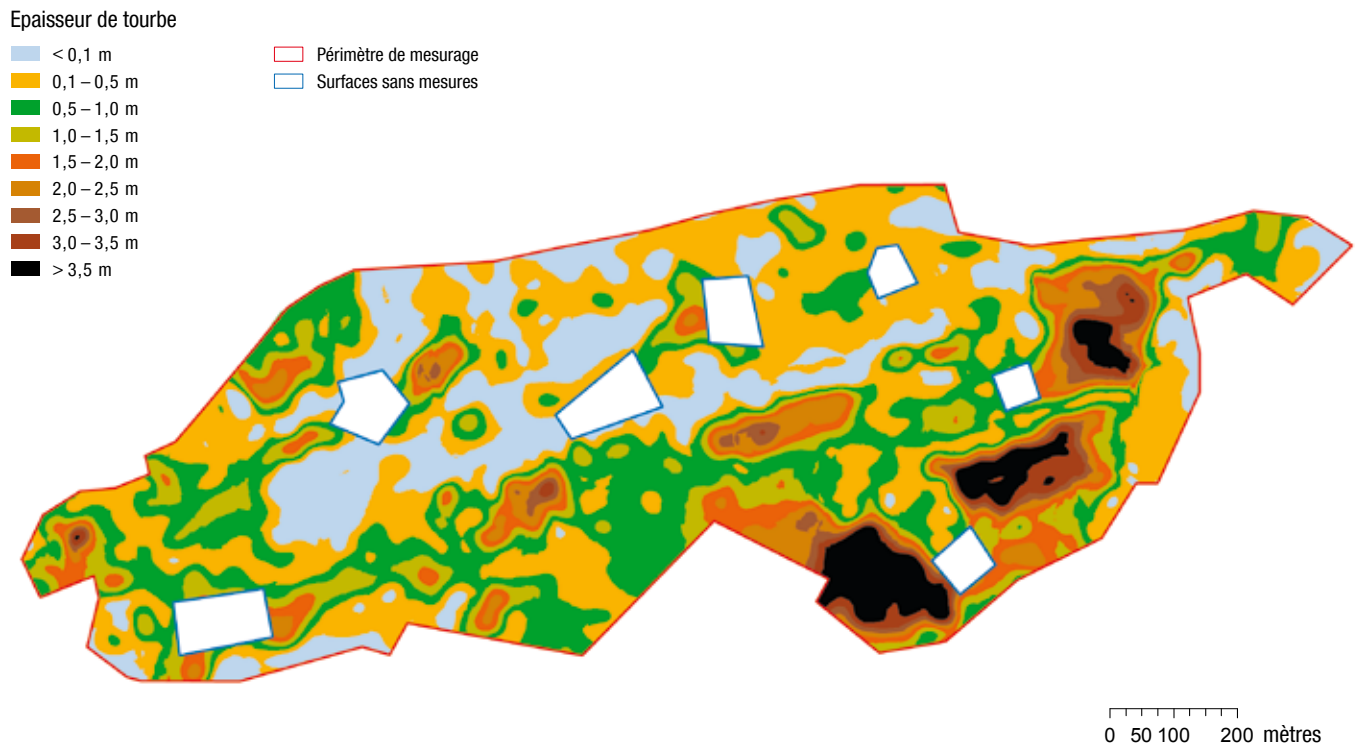


Fig.5 Cartes des isopaques de l'épaisseur de tourbe mesurées au géoradar (Zug/Walchwil, ZG, réserve naturelle cantonale Eigenried)

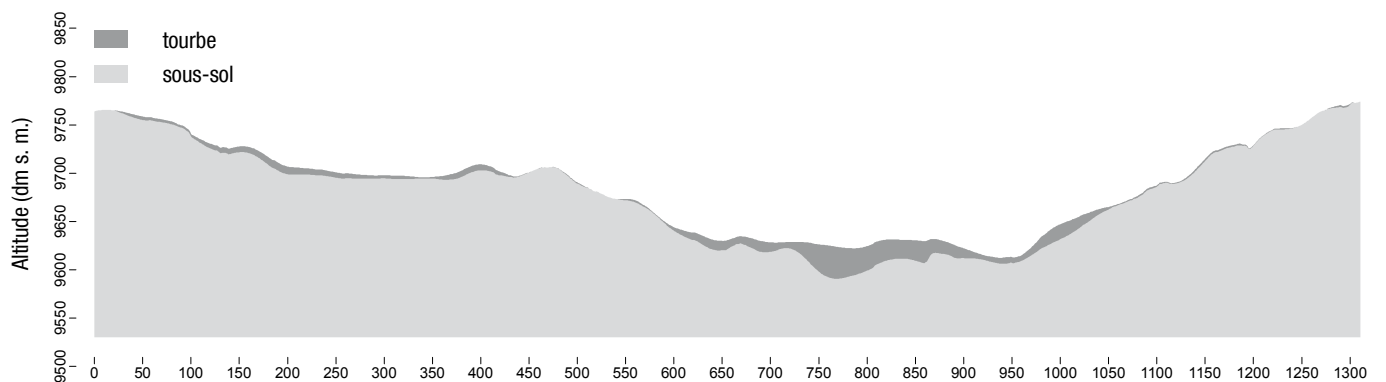


Fig.6 Profil des épaisseurs de tourbe mesurées par géoradar (même site que fig. 5)

1.4.2 Démarche pour l'étude hydrologique

En règle générale, il faut procéder selon la démarche suivante:

a) Rassembler les données et au besoin les compléter

Avant de commencer les études hydrologiques, il faut se procurer un modèle de terrain ou l'établir; il donne des indications importantes pour toutes les autres étapes. Les modèles de terrain et les modèles qui en découlent, calculés sur la base des données LIDAR de l'Office fédéral de topographie, sont une bonne base de départ peu coûteuse (chapitre 1.2.4). Pour la planification, il est aussi essentiel de connaître l'histoire de la formation du marais et ainsi le type hydrologique (Grünig & Steiner 1998).

La cartographie des fossés avec indication de la direction d'écoulement est une donnée indispensable non seulement pour estimer l'apport et l'écoulement d'eau d'un marais, mais aussi pour déterminer les différentes interventions possibles pour la régénération (fig. 7). La fin de l'hiver ou le début du printemps, à la fonte des neiges, sont un moment favorable pour cartographier les fossés. Comme l'eau courante favorise cette fonte, des bandes noires se dessinent sur la couche de neige blanche et les fossés sont alors bien visibles. Au printemps, un ruissellement lent et discret en surface est facile à repérer et cartographier grâce aux bandes jaunes formées par la floraison précoce du Populage des marais (*Caltha palustris*). Une telle cartographie est facile et rapide lorsqu'on s'aide d'orthophotos. Celles-ci et les données LIDAR évoquées ci-dessus sont l'instrument le plus efficace pour une planification judicieuse de mesures de régénération.

b) Etablir un concept de stations de mesure

Ce concept est établi sur la base des travaux réalisés jusque-là, en particulier à partir du modèle de terrain et des interventions



Fig. 7 Exemple de carte du réseau hydrographique superficiel et des formes géomorphologiques

ayant une influence sur l'hydrologie comme les fossés, l'exploitation de la tourbe, etc. Il est important de veiller à ce que les stations de mesure soient situées de façon à obtenir des données sur l'entier de la surface du marais et qu'ils permettent de répondre aux questions principales touchant au projet et aux mesures.

En règle générale, les questions suivantes sont importantes pour tous les projets de régénération:

- > Quels sont les niveaux d'eau moyens, maximum et minimum (avec correction du biais dû à la météo entre les différentes années) en certains points caractéristiques du marais?
- > De combien les niveaux moyens (avec correction du biais dû à la météo entre les différentes années) diffèrent-ils de l'optimum?
- > Quelle est la zone d'influence des fossés et quel est leur effet drainant?
- > Quel taux de minéraux contient l'eau?
- > D'où vient l'eau (des précipitations, du marais ou des alentours plus ou moins exploités)?
- > Les infiltrations et écoulements sont-ils constants?

c) Déterminer les stations et procéder aux mesures hydrologiques

Installer les puits d'observation et les relever régulièrement. Les puits manuels devraient être relevés au moins toutes les deux semaines entre avril et octobre, voire plus souvent. Le reste de l'année, une fréquence de 2 à 4 semaines suffit. Les différents systèmes de mesures sont décrits plus loin.

d) Tenir compte à temps du suivi

Au moment d'établir le concept des stations de mesure, il faut déjà réfléchir au suivi (Haab & Jutz 2003). Il faut p. ex installer les niveaux là où:

- > règnent momentanément des conditions suboptimales qui devraient être améliorées par la régénération;
- > les conditions sont déjà optimales et ne seront pas touchées par les travaux.

1.4.3 Mesures hydrologique

Ce chapitre présente les valeurs les plus importantes et les installations les plus fréquentes avec leurs avantages et leurs inconvénients ainsi que leurs coûts. Ces installations servent en premier lieu à la mesure manuelle ou automatique des facteurs écologiques niveau d'eau et flux. Elles peuvent et devraient aussi servir à mesurer les facteurs chimiques. Le choix du système dépend toujours des réponses qu'il faut apporter. Dans la pratique, la combinaison d'un réseau de puits d'observation du niveau de l'eau avec un nombre plus restreint de stations de mesure du flux dans les fossés principaux et de quelques piézomètres automatiques a donné de bons résultats (Haab & Jutz 2003).

Courbe des profondeurs cumulées de la nappe dans le temps

Cette courbe se calcule en fonction du nombre cumulé de jours où la nappe a été mesurée au-dessus d'un certain niveau, en commençant par les valeurs les plus proches de la surface et en allant vers la profondeur. La forme de la courbe renseigne sur le fonctionnement hydrologique du milieu. On peut également définir les niveaux de profondeur qui sont atteints respectivement 25 %, 50 % et 75 % du temps. La valeur moyenne de profondeur correspond en général assez exactement à la valeur mesurée 50 % du temps.

Trois types de courbes caractéristiques peuvent servir de base à l'interprétation des données:

- 25 %
- 50 %
- 75 %

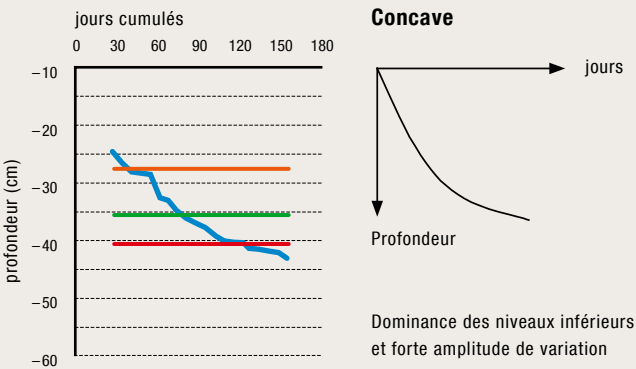


Fig. 9 Courbe typique de forêt de ceinture, avec drainage gravitaire naturel

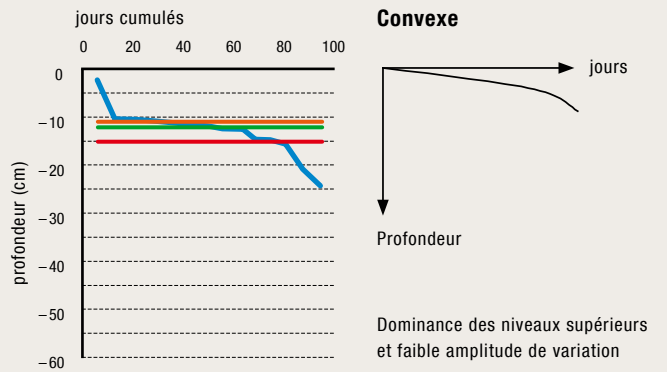


Fig. 8 Courbe typique de haut-marais, replat à sphaignes

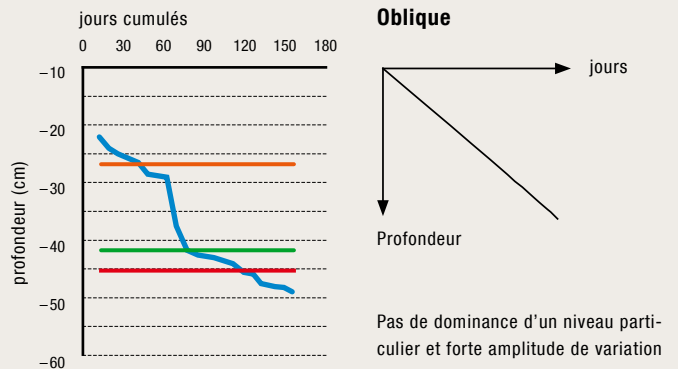


Fig. 10 Courbe typique de milieux drainés avec présence de canaux superficiels

Ces courbes permettent de comparer aisément le comportement de la nappe en différentes stations et par rapport à une ou des stations de référence au sein du même haut-marais. Il faut cependant bien garder à l'esprit que ces différences sont fortement atténuées lors d'années pluvieuses et par contre plus importantes lors d'années sèches. De plus, lors d'années particulièrement pluvieuses, les différences entre stations peuvent être à ce point atténuées qu'elles donnent une fausse impression de bon fonctionnement d'un marais pourtant drainé!

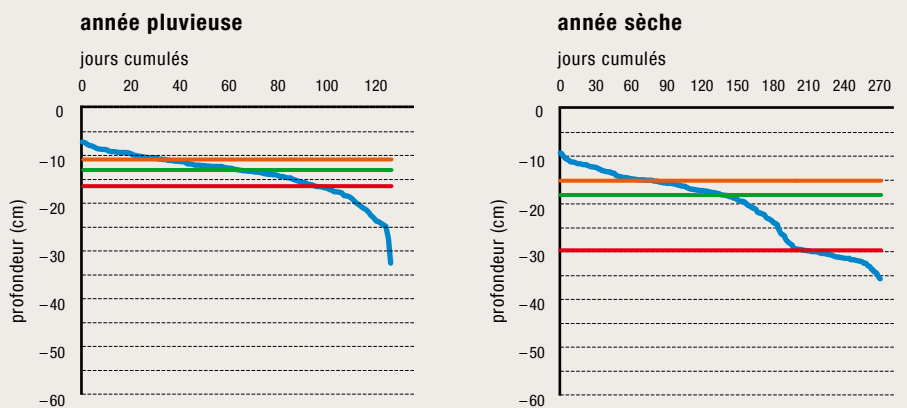


Fig. 11 Comparaison des courbes d'une même station entre une année pluvieuse et une année sèche

Il faut noter que pour certaines questions, seules des sondes de pression de la colonne d'eau à enregistrement automatique peuvent apporter des réponses fiables, rapides et efficaces.

Niveau de la nappe

Le niveau de la nappe dans le sol est le facteur le plus important pour la végétation des hauts-marais. Les mesures quantitatives sont simples et livrent des données très importantes sur l'hydrologie d'un marais.

a) Valeurs

La **valeur moyenne** du niveau de la nappe livre bien des informations. En relevant les mesures une à deux fois par semaine, on obtient une bonne estimation de la valeur moyenne et des valeurs **minimales et maximales** (si les relevés sont effectués entre avril et octobre). Avec ces données, on peut établir une courbe des profondeurs cumulées de la nappe dans le temps (Yerly, 1970), facilement **comparable** avec celle d'autres sites, **informative** et **simple à interpréter** (fig. 8 à 11).

b) Installations de mesures

Les puits d'observation du niveau de l'eau sont des instruments simples à fabriquer et à utiliser. En règle générale, des tubes d'une longueur max. de 150 cm suffisent dans les hauts-marais. Un tube de plastique de 3 cm de diamètre, ouvert aux deux bouts, est troué de part en part tous les 10 cm env. et enveloppé d'une crépine tout en laissant libre les 30 cm du haut. Le tuyau est introduit dans un trou fait au préalable, de manière que 10 à 20 cm dépassent du sol. Le tuyau doit bien tenir dans le sol. Il est facile de l'enfoncer dans un sol tourbeux; par contre, percer la couche minéralisée peut s'avérer

plus difficile. On relève l'emplacement exact du tuyau et l'on mesure la distance entre le bord supérieur et le niveau du sol. Comme le volume de la tourbe varie suivant l'humidité, le tuyau s'enfonce lentement dans le sol. Il est donc recommandé de mesurer aussi, à chaque fois, la distance entre le bord supérieur et la surface du sol, puisque le paramètre recherché est la profondeur de la nappe.

Le niveau de la nappe peut se mesurer facilement en introduisant lentement un tube dans le tuyau tout en soufflant à l'intérieur. Le bruit des bulles signale le niveau de l'eau. L'échelle marquée sur le tube permet de connaître le niveau de la nappe par rapport au bord supérieur du tuyau (tab. 1).

Enregistreur minimum-maximum (Walrag, d'après Bragg et al. 1994): il permet de mesurer le niveau actuel de la nappe ainsi que celui du minimum et du maximum pour une période donnée. Il s'agit d'un tube spécialement équipé, qui s'élève à environ un mètre au-dessus du sol. Il fonctionne selon le principe suivant: un flotteur entraîne vers le bas ou vers le haut deux aimants fixés à une barre métallique en dessus du sol. Cet enregistreur a l'inconvénient d'être assez compliqué à fabriquer et à utiliser. Il est utile sur les sites peu éloignés et faciles d'accès. L'expérience a montré que les relevés périodiques apportent des connaissances supplémentaires et très utiles sur le site étudié (tab. 2).

Piézomètre automatique: cet instrument mesure le niveau de la nappe. Son prix élevé ne permet en général de l'utiliser que dans des cas exceptionnels. Par contre, ses grands avantages sont le relevé continu des données et le dérangement minimum sur le site.

L'installation du tube est semblable à celle décrite pour les puits d'observation du niveau de l'eau. Par contre, on introduit encore dans le tube un piézomètre qui mesure le niveau

Tab. 1 Puit d'observation du niveau de l'eau

Fabrication	Simple, env. Fr. 30.–
Installation	Par tube, env. 5 à 20 Min.; Fr. 10.– à 30.–
Intervention	Relevé toutes les 1–4 semaines suivant la saison
Données	Peu nombreuses
Avantages	Peu de matériel, peu de frais
Désavantages	Peu de données
Remarques	Passages fréquents nécessaires pour les relevés. Ceci augmente les coûts, mais fournit des informations supplémentaires.

Tab. 2 Enregistreur minimum-maximum

Fabrication	Seul fournisseur connu: WSL Birmensdorf. Env. Fr. 150.–
Installation	Env. 0,5 h
Intervention	Relevé toutes les 1–4 semaines avec visite
Données	Peu nombreuses
Avantages	Niveau de la nappe et étendue des variations
Désavantages	Passages fréquentes nécessaires
Remarques	Passages fréquents nécessaires pour les relevés. Ceci augmente les coûts, mais fournit des informations supplémentaires.

de la nappe indirectement au moyen de la pression que génère la colonne d'eau. On peut choisir la fréquence des mesures; l'intervalle le plus court est une seconde. Les mesures sont stockées dans l'instrument et peuvent être relevées directement sur un ordinateur à intervalles choisis (tab. 3).

c) Fréquence des mesures

Pour des mesures manuelles, la fréquence est d'au moins toutes les deux semaines pour la période d'avril à octobre; le reste de l'année, au minimum toutes les quatre semaines. Comme les mesures automatiques ne demandent aucun travail supplémentaire, leur fréquence peut être bien supérieure, en règle générale toutes les heures ou toutes les deux heures. Elles fournissent ainsi des mesures précises pour une station donnée, qui pourront servir de référence pour la comparaison avec d'autres stations.

Flux

Des mesures qualitatives de l'apport et de l'écoulement de l'eau, en particulier pour connaître l'infiltration des cours d'eau en été et l'importance des différents fossés, sont simples à réaliser et livrent des données sur la durabilité des réserves en eau et de l'écoulement hors du marais.

Tab. 3 Piézomètre automatique

Fabrication	Différents produits sur le marché. Du matériel supplémentaire est nécessaire pour l'installation. Appareil neuf: env. Fr. 1 100.-; location: env. Fr. 400.- par année; coûts pour matériel: env. Fr. 200.-
Installation	Simple; env. 1 – 1,5 h; Fr. 100 – 200.-
Intervention	Les données peuvent être relevées par ordinateur à intervalles de quelques mois. Peu de travail.
Données	Très nombreuses, sans interruption.
Avantages	Grande quantité de données, sans interruption et sur une base numérique.
Désavantages	Coûts
Remarques	Adapté à la combinaison avec un puits, une station de mesure du flux, des mesures de température et de conductibilité. Coûts supplémentaires mesure de température: Fr. 150.-; conductibilité électrique Fr. 1 500.- mesure de température: Fr. 150.-; conductibilité électrique Fr. 1 500.-

a) Valeurs

Direction de l'écoulement: pour comprendre l'équilibre hydrique d'un marais, il est important d'avoir au moins des données qualitatives sur les apports et les écoulements principaux. La direction de l'écoulement est déterminée en premier lieu aux stations de mesure du flux.

Quantité d'eau: pour effectuer des mesures quantitatives, il est nécessaire de construire des trop-pleins normalisés qui sont installés dans des fossés ayant un apport ou un écoulement d'eau. En combinant ces données à celles du piézomètre, on peut déterminer avec une grande exactitude la quantité d'eau qui pénètre dans le site ou qui s'en écoule.

b) Installations

Des stations de mesure du flux sont installées dans les fossés principaux avec apport ou écoulement d'eau. On plante des pieux gradués au centimètre dans les fossés. A chaque passage, il faut déterminer par estimation la direction de l'écoulement, le niveau de l'eau et la vitesse d'écoulement en cm/s. On peut aussi utiliser un piézomètre. Cela permet de collecter des données importantes dans des zones où l'alimentation en eau semble insuffisante. Il est facile de fabriquer une telle installation (tab. 4).

Trop-plein normé: le trop-plein doit être fixé solidement au fond et contre les côtés du fossé (fig. 12), afin que l'eau ne s'écoule pas autour. Dans le cas présenté ici, on a pu utiliser une structure en U à angle droit en bois. Le piézomètre servant à mesurer le niveau de l'eau doit être réglé au millimètre près, car les erreurs de mesure se répercutent sur la quantité d'eau calculée.

Tab. 4 Station de mesure du flux

Fabrication	Simple. Peut être fabriqué par l'utilisateur (pieux gradué au cm; centimètre). Env. Fr. 20.-
Installation	Très simple. Env. Fr. 20.-
Intervention	Relevé toutes les 1 – 4 semaines
Données	Peu nombreuses
Avantages	Demande peu de matériel, coûts réduits. Méthode éprouvée et en règle générale judicieuse.
Désavantages	Quantité réduite de données
Remarques	Passages fréquents nécessaires pour les relevés. Ceci augmente les coûts, mais fournit des informations supplémentaires.

Il est aussi possible d'employer des compteurs d'eau pour mesurer le courant (p. ex. moulinets). Toutefois, il faut noter que ces appareils sont conçus pour des conditions homogènes, comme dans les tuyaux, mais qu'ils ne peuvent guère être employés sur le terrain, car les mesures ne sont pas suffisamment précises (tab. 5).

c) Fréquence

Pour des mesures manuelles, au moins toutes les deux semaines d'avril à octobre; le reste du temps, toutes les quatre semaines. Les mesures automatiques doivent être relevées toutes les demi-heures. Les mesures quantitatives sont souhaitables, mais pour des raisons de coûts, elles ne sont possibles que dans des cas particuliers.

Qualité de l'eau

a) Valeurs mesurées

Il est très facile de mesurer la **conductivité électrique**. Ces mesures donnent en très peu de temps une bonne image de la situation des minéraux (calcium en particulier) d'un marais, ce qui est particulièrement important pour la régénération des hauts-marais. En conditions acides, il faut encore corriger les mesures en fonction du pH de l'eau (Sjörs 1950) car, dans ce cas, H₃O⁺-ions influencent la conductivité électrique. Mesurer régulièrement la conductivité électrique livre, de plus, de bonnes indications sur la provenance et la qualité de l'eau.

La **valeur pH** est aussi importante. Elle est en bonne corrélation avec la conductivité électrique, nettement plus simple à mesurer. C'est pourquoi, en général, on peut renoncer aux mesures du pH.

Suivant la situation, il est en plus nécessaire de procéder à des **mesures des substances nutritives** (azote, phosphore, potassium). Les mesures quantitatives sont difficiles du point de vue de la méthode et longues. C'est pourquoi elles devraient être effectuées par des laboratoires spécialisés. Pour l'azote, il existe des mesures simples (qualitatives/semi quantitatives), qui donnent une indication sur la situation. Toutefois, cela demande plusieurs mesures au même endroit.

b) Installations

Les mesures de conductivité électrique et celles du pH peuvent être faites dans l'eau d'un puits d'observation du niveau de l'eau ou d'un enregistreur minimum-maximum (Walrag), aussi bien que d'une station de mesure du flux ou d'un trop-plein normalisé. Il est aussi possible de prélever des échantillons au moyen d'une pompe, si cela s'avère nécessaire p. ex. pour des mesures de substances nutritives. Toutefois, il faut noter que l'on peut observer dans l'eau stagnant dans les tubes fixes, des modifications ponctuelles des propriétés chimiques imputables à plusieurs causes. Dans ce cas, le jour précédent, l'eau est totalement pompée hors du tube afin qu'il se remplisse à nouveau d'eau fraîche pour les mesures.

Si le tube atteint la couche minéralisée, cela peut fausser les résultats des mesures de conductivité électrique à cause des minéraux dissous dans l'eau. Dans ce cas, on peut utiliser un tube plus court ou un tube séparé.

Tab. 5 Trop-plein normé

Fabrication	Complicquée. On peut acheter des trop-pleins normés. Il faut adapter la taille à la situation. Au minimum quelques centaines de francs.
Installation	Très complicquée. Au minimum Fr. 500.- jusqu'à plusieurs milliers.
Intervention	Au minimum, contrôle mensuel
Données	En très grande quantité
Avantages	Données exactes sur l'équilibre hydrique
Désavantages	Coûts relativement élevés
Remarques	Pour des cas particuliers, où l'équilibre hydrique général est important.



Fig. 12 Trop-plein normé

|

|

Tourbe nue

2 > Végétalisation

L'exploitation de la tourbe ou la préparation du terrain, par défrichage et décapage de la végétation, dans le but d'extraire de la tourbe ont parfois laissé derrière elles des surfaces plus ou moins vastes de tourbe nue. En l'absence de mesures actives de restauration de conditions favorables au retour de la végétation, de telles surfaces peuvent rester à nu durant plusieurs décennies. Des mesures de végétalisation, accompagnées d'un réaménagement de la topographie pour améliorer la rétention d'eau et freiner l'érosion permettent un retour rapide d'une couverture végétale.

2.1 Principes généraux

Ce chapitre définit la notion de végétalisation et présente ses divers champs d'application dans les hauts-marais.

Définition

D'une manière générale, la végétalisation vise la restauration de surfaces dont la couverture végétale a été endommagée, voire entièrement supprimée. Dans le cas des hauts-marais, de nombreuses surfaces ont été dénudées pour permettre l'exploitation de la tourbe à des fins calorifiques ou horticoles. Les espèces caractéristiques de hauts-marais (avant tout les sphaignes) sont incapables de s'implanter sur ces terrains, le plus souvent exposés au soleil et partiellement asséchés. Il est donc nécessaire de recréer des conditions microclimatiques propices à leur installation.

Un moyen d'y parvenir consiste à utiliser des végétaux recouvrants capables de modifier le microclimat au niveau du sol. La plantation de linaigrettes engainantes (*Eriophorum va-*

ginatum), prélevées sur des surfaces intactes à proximité, permet d'atteindre cet objectif. Cette espèce forme des touradons, recouvrant parfois jusqu'à 1 m². Ces touradons ménagent une niche microclimatique ombragée et humide (condensation nocturne) sous leur abondant feuillage. Ainsi protégées de la dessiccation, les sphaignes peuvent se développer au pied des touradons et coloniser progressivement la surface dénudée.

D'autres espèces peuvent également être utilisées (linaigrette à feuilles étroites, *Eriophorum angustifolium*; airelle des marais, *Vaccinium uliginosum*). Elles jouent avant tout un rôle de stabilisation et de structuration du milieu, sans toutefois influencer de manière déterminante le microclimat au niveau du sol.

Application

La végétalisation s'applique à tous les types de surfaces tourbeuses partiellement ou totalement dénudées, sur lesquelles les sphaignes peinent à se réimplanter. Elle concerne aussi bien de grandes surfaces décapées pour l'exploitation de la



Fig. 13 Surface de tourbe nue à l'abandon depuis plus de 20 ans et remouillée en vue d'une végétalisation, Eggiwil (BE), réserve naturelle cantonale du Steinmösli

Surface plane (pente < 1 %)

écoulements d'eau limités; faible érosion; aucun aménagement préliminaire ne s'impose → chapitre 2.3.1

Surface en pente faible (entre 1 et 2 %)

nécessité de retenir les écoulements d'eau à l'aide de terrasses et d'andains afin de maintenir des conditions d'humidité élevées → chapitre 2.3.2

Surface en pente forte (entre 2 et 6 %)

nécessité de stabiliser le terrain à l'aide de digues rapprochées pour diminuer l'érosion et les risques de glissement de terrain → chapitre 2.3.3

Pente au delà de 6 %

aucune technique de végétalisation disponible.

tourbe que des surfaces piétinées de quelques mètres carrés (chemins par exemple).

L'efficacité de la végétalisation n'est par contre pas assurée sur des surfaces fortement desséchées. En effet, la recolonisation spontanée par les sphaignes exige des conditions d'humidité élevée. Des tourbes gorgées d'eau seront d'autant plus favorables au succès d'une telle opération.

Dans bien des cas toutefois, des drainages profonds ou superficiels ont fortement perturbé la dynamique de la nappe, asséchant le haut-marais en exportant l'eau de pluie vers la périphérie. Il est alors nécessaire de rehausser le niveau de la nappe dans un premier temps avant d'entreprendre des travaux de végétalisation. Le chapitre 3 présente quelques techniques pour y remédier.

Une étape préliminaire d'aménagement ou de stabilisation du terrain s'impose lors de la végétalisation de terrains en pente, où les écoulements tendent à assécher et à éroder le sol (cas traités dans les chapitres 2.3.2 et 2.3.3).

2.2 Choix de la mesure

Ce chapitre doit permettre au gestionnaire de choisir la mesure appropriée en fonction des caractéristiques morphologiques du terrain à végétaliser.

Choix du type de végétalisation

La pente de la surface à végétaliser conditionne la nécessité ou non de réaménager le terrain avant d'entreprendre les travaux de végétalisation. Sur des terrains faiblement pentus (1 à 2 %), il est nécessaire de retenir les écoulements d'eau en aménageant des andains de tourbe, afin de maintenir une humidité du sol élevée. Sur des terrains plus pentus (> 2 %), la priorité consiste à freiner l'érosion en réaménageant le terrain et en favorisant une recolonisation naturelle par la végétation.

La clé présentée ci-dessus (voir encadré) permet de s'orienter vers la mesure la mieux adaptée en fonction de la pente du terrain.

Chaque haut-marais est un cas particulier, susceptible de présenter une combinaison des trois situations décrites dans la clé. En effet, il n'est pas rare, notamment dans les Préalpes, de rencontrer des hauts-marais présentant une mosaïque de replats et de surfaces en pente. Il est donc important de diagnostiquer avec précision les diverses situations en présence pour appliquer la clé de façon adéquate.



Fig.14 *Surface piétinée*

2.3 Préparation du chantier et remise en état

Quel que soit le type de végétalisation envisagé (chapitres 2.3.1 à 2.3.3), un certain nombre de précautions doivent être prises lors de la préparation du chantier afin de limiter les impacts des travaux. De même, une grande attention doit être portée à la remise en état des sites de prélèvement des plantes.

Préparation du chantier

La végétalisation d'une surface nue entraîne des piétinements importants causés par le déplacement des ouvriers, soit directement sur la surface à végétaliser, soit sur des surfaces attenantes lors du prélèvement et du transport des plants ou des graines. Le piétinement contribue à la disparition rapide du tapis de sphaignes, ouvrant la voie à l'érosion de la tourbe. Sur les surfaces nues, il se traduit par un tassement de la tourbe (fig. 14).

Dans la phase de planification et d'exécution des travaux, il est nécessaire de tenir compte des points suivants:

A. Lors des déplacements

- > Les sentiers d'accès au chantier et au site de prélèvement doivent être déterminés au préalable;
- > si cela est possible, faire passer les sentiers d'accès à travers des zones sèches peu sensibles au piétinement; délimiter les voies d'accès à l'aide de bandes plastiques;
- > si des surfaces sensibles au piétinement doivent tout de même être traversées (tapis de sphaignes, surfaces inondées), il est judicieux dans ce cas de construire des passerelles de planches: utiliser des planches de chantier, posées sur des petits rondins ou sur des branches de conifères pour éviter le tassement et l'asphyxie de la végétation (fig. 15 et 16).



Fig. 15 Passerelle de planches

B. Sur le site de prélèvement des plants ou des graines

- > En cas de transplantation, entreposer les plants prélevés sur une bâche en plastique ou un géotextile, pour éviter de disperser des mottes de tourbe sur la végétation en place (risque d'eutrophisation du milieu);
- > éviter de marcher sur les tapis de sphaignes.

C. Sur le site à végétaliser

- > Éviter tout déplacement inutile;
- > si la surface est très humide, il est souhaitable de construire un passage en planches selon la méthode décrite ci-dessus; si ce n'est pas le cas, délimiter des voies d'accès avec des bandes de marquage.

Les impacts provoqués par le prélèvement varient en fonction du type de plante prélevé et de la méthode choisie.

Remise en état des sites de prélèvement

A. Prélèvement de plants isolés

- > Le prélèvement de touradons isolés (un touradon tous les 10 m² par exemple) de linaigrette engainante (*Eriophorum vaginatum*) génère des trous peu profonds; il est toutefois judicieux de reboucher ces trous; pour ce faire, réserver lors du prélèvement une petite partie du touradon et le replanter sur le lieu d'extraction;
- > le prélèvement de plants isolés d'airelles des marais (*Vaccinium uliginosum*) génère des trous de taille variable en fonction de la grandeur de la plante; il est possible de dégager une partie de la tourbe autour des racines de la plante prélevée et de l'utiliser pour reboucher le trou formé suite au prélèvement.



Fig. 16 Passerelle de planches pour véhicule

B. Prélèvement groupé

- > Un prélèvement groupé (*Eriophorum vaginatum* prélevés au même endroit) génère un impact plus visible; dès lors, il est souhaitable de revégétaliser la zone de prélèvement en réservant quelques plants à cet effet; la mesure peut, en fonction des mesures de gestion prévues, être combinée avec l'aménagement d'un plan d'eau apportant une diversification du milieu;
- > le prélèvement groupé de *Vaccinium uliginosum* n'est pas recommandé.

C. Prélèvement des inflorescences

- > Le prélèvement des inflorescences seules ne nécessite aucune remise en état particulière; dans un secteur donné, il est conseillé de ne pas prélever tous les épillets, mais d'en laisser sur place un sur deux environ.

Remise en état des voies d'accès

Si la tourbe a été mise à nu par les allées et venues des ouvriers, végétaliser les chemins d'accès utilisés en appliquant le procédé présenté dans le chapitre 2.3.1.

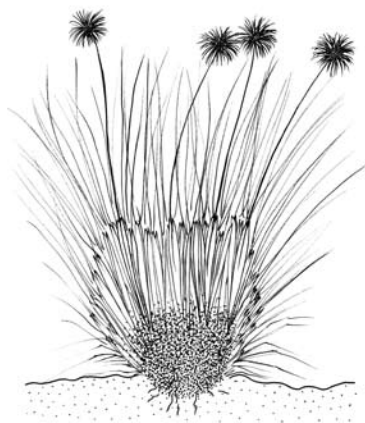


Fig. 17 *Eriophorum vaginatum*, un seul épillet terminal par rejet

2.3.1 Végétalisation de terrains plats

La lecture de ce chapitre requiert d'avoir pris connaissance au préalable des chapitres 2.1 à 2.3. Il illustre de manière détaillée les étapes permettant de végétaliser un terrain plat ou très peu pentu.

Présentation de la mesure

La végétalisation de terrains plats (pente < 1 %) consiste soit à transplanter des touradons de linaiquette engainante (*Eriophorum vaginatum*, fig. 17), fragmentés au préalable en petits plants afin de couvrir de grandes surfaces, soit à semer des graines de cette espèce. Les touradons ou les graines sont prélevés sur des surfaces où l'espèce est très répandue, en vue de limiter les impacts. Il est également possible de structurer le milieu à l'aide de pieds d'airelle des marais, *Vaccinium uliginosum* (fig. 18), notamment sur des terrains trop secs pour accueillir *Eriophorum vaginatum*.

La mesure concerne aussi bien les surfaces planes et dénudées des hauts-marais bombés de l'Arc jurassien que les replats des hauts-marais de pente préalpins et alpins (fig. 19 et 20).

Objectifs

- > Favoriser le retour des sphaignes sur des terrains plats, dénudés suite à des atteintes et des travaux divers, en recréant des conditions microclimatiques propices;
- > retrouver à long terme un fonctionnement similaire à celui d'un haut-marais primaire sur des surfaces perturbées
- > diminuer l'érosion;
- > améliorer l'esthétique et restructurer le milieu.

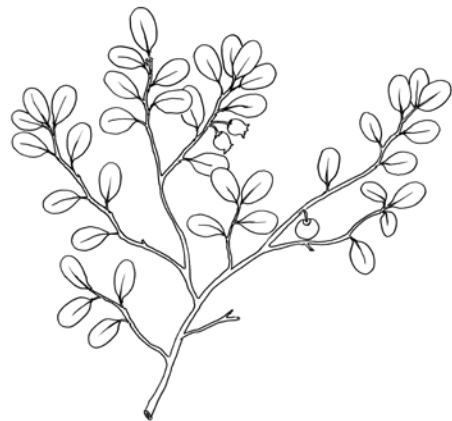


Fig. 18 *Vaccinium uliginosum*: éricacée à baies bleu-gris mat, feuilles caduques, tiges brunes et cylindriques

Choix de la technique appropriée

Choix de l'espèce

En terrain plat, les meilleurs résultats sont obtenus à l'aide de la linaigrette engainante, *Eriophorum vaginatum*. Cette espèce à caractère pionnier supporte bien la transplantation. Elle peut également être semée. D'autre part, elle se développe très rapidement en terrain perturbé (suite à un décapage par exemple). Elle préfère les terrains très humides, voire faiblement inondés.

Eriophorum vaginatum se distingue des autres linaigrettes par sa structure: elle forme de grosses souches appelées touradons, composés de nombreux rejets. Le feuillage persistant et recouvrant des touradons crée des conditions microclimatiques propices à l'apparition des sphaignes (chapitre 2.1).

Il est également possible de transplanter des pieds d'airelle des marais, *Vaccinium uliginosum*, notamment sur des terrains trop secs pour accueillir *Eriophorum vaginatum*. Contrairement à cette espèce, l'airelle ne modifie pas suffisamment le microclimat au niveau du sol pour permettre le retour des sphaignes. Par contre, elle est bien adaptée aux deux situations suivantes: 1) végétalisation de surfaces dénudées en pinède, où la dominance d'*Eriophorum vaginatum* n'est pas naturelle; 2) structuration et diversification du milieu en complément d'une végétalisation de grande ampleur à l'aide de linaigrettes. L'airelle des marais n'apprécie guère les terrains détrempés en permanence.

Il faut donc garder à l'esprit que les objectifs recherchés diffèrent sensiblement avec l'une ou l'autre espèce.

En termes de végétalisation, il est également possible de procéder directement à un semis de sphaignes, accompagné d'un paillis. La technique a été mise au point et décrite de fa-

çon très détaillée par une équipe de chercheur et de techniciens québécois. Cela suppose que l'on ait à disposition un site où prélever des sphaignes qui sont ensuite épandues sur une surface 10 à 20 fois plus grande. Nous renvoyons le lecteur au Guide de restauration des tourbières de Quinty & Rochefort (2003). Ce document de 131 pages est téléchargeable au format pdf sur le site www.gret-perg.ulaval.ca.

Techniques de végétalisation

Deux techniques peuvent être appliquées, soit:

1. transplanter des plants d'*Eriophorum vaginatum* ou des plants entiers de *Vaccinium uliginosum*;
2. semer des graines d'*Eriophorum vaginatum*.

La première méthode a le désavantage de perturber le lieu de prélèvement. Toutefois, elle donne des résultats excellents. Les plants reprennent en principe très bien et poussent vite, structurant ainsi rapidement le milieu. Les impacts peuvent être réduits au minimum en prenant certaines précautions (chapitre 2.3).

La deuxième méthode est plus douce, mais rencontre certaines limites. La croissance des jeunes semis est assez lente; la formation de touradons et l'apparition de sphaignes doivent être envisagées sur le long terme (plusieurs dizaines d'années). D'autre part, la fructification des linaigrettes est variable d'une année à l'autre, rendant la récolte des graines aléatoire.

La transplantation et le semis sont bien adaptés à des sols inondés, même temporairement. En terrains secs, le succès de telles opérations est généralement très faible. Ces deux méthodes sont donc à promouvoir sur des terrains très humides ou en parallèle à des mesures visant à remonter le niveau de la nappe phréatique (chapitre 3).



Fig. 19 Surface de tourbe anciennement exploitée, sans végétalisation, Les Ponts-de-Martel (NE)



Fig. 20 Surface de tourbe anciennement exploitée, voisine de la précédente et végétalisée à l'aide d'*Eriophorum vaginatum*, Les Ponts-de-Martel (NE)

Il faut éviter les transplantations entre régions géographiques éloignées (de la chaîne jurassienne aux Préalpes par exemple) afin de conserver le patrimoine génétique local. Si l'espèce à transplanter est rare sur le site, le prélèvement de plants dans un haut-marais situé dans la même région est envisageable avec l'accord du gestionnaire concerné. Dans ce cas, déposer les plants dans des dépressions inondées pour les maintenir en vie avant leur utilisation sur le site.

Avant l'intervention ... à quoi faut-il faire attention?

Impacts négatifs et précautions

La végétalisation peut générer divers impacts négatifs sur le milieu, dont les plus significatifs sont les suivants:

- > perturbation du milieu de prélèvement;
- > piétinement le long des accès.

Le chapitre 2.3 donne des solutions pour limiter ces impacts. D'une manière générale, favoriser le prélèvement sur des peuplements de grande étendue.

Difficultés de mise en oeuvre et conseils d'exécution

- > Si *Eriophorum vaginatum* est rare dans la région, une solution consiste à agir en 2 étapes: dans un premier temps, transplanter quelques plants sur une portion de la surface à végétaliser; après 4–5 ans, une fois ces plants bien développés en touradons, les prélever une seconde fois, les fragmenter et les replanter en suivant la variante A du procédé d'exécution; il devient alors possible de couvrir une surface bien plus étendue;
- > la production de graines d'*Eriophorum vaginatum* varie d'une année à l'autre et peut hypothéquer en partie le semis.



Fig. 21 Dessouchage d'un touradon

Fiabilité et sécurité

Aucun problème de sécurité ne se pose lors d'une végétalisation de terrains plats. Si des retenues d'eau sont prévues en complément pour remonter le niveau de la nappe, il est par contre nécessaire de se fier aux recommandations exprimées dans le chapitre 3.

Combinaison de mesures

- > Si un terrain est trop fortement drainé et donc très sec, il est conseillé d'accompagner les mesures de végétalisation par la construction de barrages ou le comblement des rigoles ou fossés afin de remonter le niveau de la nappe phréatique (chapitre 3);
- > en fonction des mesures de gestion prévues ou en accord avec le gestionnaire, le prélèvement des plants peut être associé au creusement d'une mare favorisant les communautés aquatiques.

Paramètres techniques

- > Pour la transplantation d'*Eriophorum vaginatum*, estimer le nombre de plants nécessaires afin de trouver une zone de prélèvement adéquate, sachant que:
 - 1) sur la surface à végétaliser, la densité moyenne devrait avoisiner 4–5 plants par m²;
 - 2) un touradon d'*Eriophorum vaginatum* fragmenté procure entre 20 et 40 nouveaux plants, selon sa taille;
- > procéder de même en cas de semis; la densité optimale se situe entre 15 et 20 épillets semés au m²;
- > pour la transplantation de *Vaccinium uliginosum*, une densité de 3–4 plants par m² est optimale.

Période d'exécution

L'humidité du sol est déterminante pour le succès d'une opération de végétalisation. De ce fait, la période printanière



Fig. 22 Fragmentation du touradon

(mai – juin) est la plus favorable. En cas de semis, les inflorescences doivent être récoltées à début juin.

Equipement

Les travaux ne nécessitent que des outils légers.

En cas de transplantation:

- > pelles rondes
- > plantoirs
- > brouettes
- > arrosoir

En cas de semis:

- > ciseaux
- > enveloppes en papier
- > arrosoir

Autre matériel:

- > bandes plastiques de marquage
- > bâche en géotextile ou plastique
- > bottes, gants de jardinier
- > éventuellement hache pour séparer les touradons
- > éventuellement planches de chantier et rondins (passerelle d'accès)

Matériel de construction

Tout le matériel (vivant!) se trouve sur place et est à prélever avec ménagement! Pour la transplantation, prélever les plants en fonction des besoins: les touradons d'*Eriophorum vaginatum* doivent être remis en terre rapidement, sans rester des heures au soleil (risque de dessèchement). Il est possible de les stocker momentanément en les déposant dans une mare ou un étang à proximité du lieu à végétaliser.



Fig. 23 Transplantation d'un fragment de touradon

Main d'œuvre

Cette technique de travail ne nécessite pas une main d'oeuvre spécifiquement qualifiée. Elle peut être envisagée avec des classes d'écoles, des groupes de bénévoles, etc.

Encadrement

Lors d'un travail avec un groupe, il est important qu'un accompagnement régulier soit assuré par le planificateur afin de garantir une répartition des plants ou des graines aussi aléatoire que possible (chacun a tendance à planter «en ligne»).

L'encadrement requiert plus une bonne pratique qu'une formation technique spécifique. Il peut être assuré par des biologistes, des agronomes, des forestiers, des jardiniers.

Coûts

- > salaire des ouvriers
- > honoraires pour l'encadrement et la direction de chantier
- > outillage éventuel

Procédé d'exécution

Variante A: transplantation d'*Eriophorum vaginatum*

Pour la préparation du chantier, consulter au préalable le chapitre 2.3.

- a) Dessoucher un touradon à l'aide d'une pelle ronde, en prenant soin de ne pas abîmer les racines (le volume racinaire est un peu moins important que celui du feuillage; les racines vivantes sont de couleur blanche); transporter les touradons sur le lieu à végétaliser à l'aide d'une brouette; si possible, entreposer momentanément les



Fig. 24 Surface végétalisée avec *Eriophorum vaginatum*, Les Ponts-de-Martel (NE)

touradons dans des dépressions inondées pour les maintenir en vie (fig. 21).

- b) Fragmenter le touradon en le couchant sur le côté et en séparant à la main (ou à l'aide d'une hache) des plants composés de 10 à 15 tiges feuillées environ et de leurs racines enrobées dans une gangue de tourbe; un gros touradon peut ainsi produire près de 40 nouveaux plants (fig. 22).
- c) Creuser un trou au plantoir, en fonction de la taille des racines du plant; mettre le plant en terre et reboucher le trou autour des racines, tasser légèrement la tourbe au pied; l'arrosage n'est pas indispensable; l'espacement des plants doit être variable mais respecter une moyenne de 50 cm environ; la variabilité est primordiale pour éviter de créer des lignes et un quadrillage régulier (fig. 23).

Une fois la végétalisation terminée (fig. 24), consulter le chapitre 2.3 pour la remise en état du terrain.

Variante B: transplantation de *Vaccinium uliginosum*

Pour la préparation du chantier, consulter au préalable le chapitre 2.3.

- a) Dégager un plant à l'aide d'une pelle ronde (fig. 25) en prélevant une masse de tourbe suffisante pour ne pas endommager les racines (il est parfois nécessaire de briser quelques racines); l'idéal consiste à découper un bloc de 50 × 50 cm de côté et de 20 cm d'épaisseur; transporter les plants sur le lieu à végétaliser à l'aide d'une brouette.
- b) Creuser une cuvette, y déposer le plant avec sa masse de tourbe, puis bien tasser pour faire adhérer la masse à la tourbe en place (fig. 26); arroser.
- c) Dans le cas d'une végétalisation d'un sous-bois en pinède, planter assez serré (espacement de 80–100 cm) pour

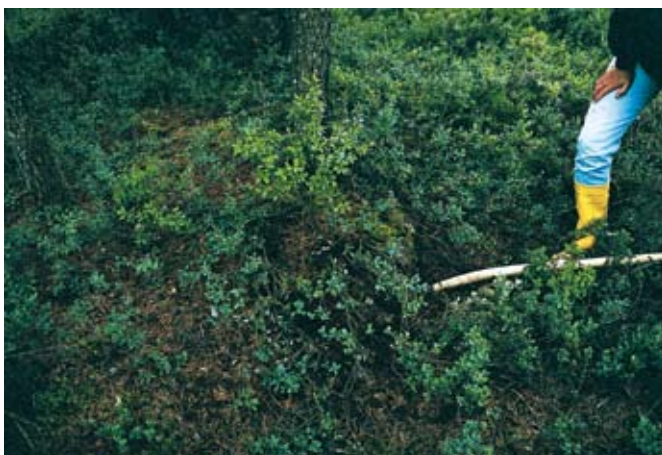


Fig. 25 Prélèvement d'un plant de *Vaccinium uliginosum*

recréer une structure de lande; la variabilité est primordiale pour éviter de créer des lignes et un quadrillage régulier.

- d) Planter de manière plus lâche, en association avec des *Eriophorum vaginatum*, si le but recherché est de diversifier et structurer le milieu.

Une fois la végétalisation terminée, consulter le chapitre 2.3 pour la remise en état du terrain.

Variante C: semis d'*Eriophorum vaginatum*

Pour la préparation du chantier, consulter au préalable le chapitre 2.3.

- a) Plever à l'aide de ciseaux (fig. 27) les inflorescences entières (épillets blancs) à début juin, avant qu'elles ne commencent à tomber; si nécessaire, stocker les inflorescences dans des enveloppes en papier à l'abri de l'humidité.
- b) Enfoncer les inflorescences entières à 1–2 cm de profondeur par simple pression du doigt (fig. 28), en les espaçant de 20–30 cm; arroser copieusement la surface pour bien coller les soies des graines dans la tourbe, en prélevant l'eau dans la tourbière (pas d'eau calcaire!); répéter l'arrosage régulièrement si le sol devient très sec, jusqu'à germination.

Une fois la végétalisation terminée, consulter le chapitre 2.3 pour la remise en état du terrain.



Fig. 26 Transplantation d'un plant de *Vaccinium uliginosum*

Une fois l'intervention terminée ...

Evaluation du succès de la mesure

Transplantation de linaigrettes ou d'airelles:

- > après une année, évaluer le pourcentage de plants qui ont survécu;
- > si plus de 70 % des plants sont en vie, l'opération est un succès;
- > dans le cas contraire, compléter la surface à l'aide de nouveaux plants.

Semis:

- > après une année, évaluer le nombre de pousses au m²;
- compléter si moins de 70 % des semis ont poussé.

Suivi scientifique

La mise en place de la mesure vise à long terme la réapparition des sphaignes sous les abris offerts par les plantes pionnières. Dès lors, il est important de mettre en place un suivi à moyen et long terme (5 à 20 ans).

Les points suivants doivent être évalués dans le cas d'un suivi scientifique complet:

- > recherche de nouvelles espèces végétales caractéristiques de haut-marais (*Drosera rotundifolia*, etc.) et localisation sur carte avec date;
- > carrés ou transects permanents pour déceler la recolonisation de la surface par les sphaignes;
- > recolonisation faunistique induite;
- > mettre en relation la croissance des nouveaux touradons et l'apparition des sphaignes avec l'évolution de la nappe phréatique, plus particulièrement si des retenues d'eau sont mises en place en parallèle (barrages, comblements).

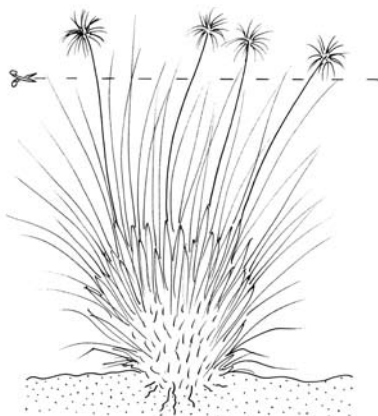


Fig. 27 Prélèvement aux ciseaux des épillets terminaux d'*Eriophorum vaginatum*

2.3.2 Végétalisation de terrains en faible pente

La lecture de ce chapitre requiert d'avoir pris connaissance au préalable des chapitres 2.1 à 2.3. Il illustre de manière détaillée les étapes permettant de végétaliser un terrain en faible pente. L'accent est mis avant tout sur les travaux préparatoires devant être réalisés avant la végétalisation proprement dite et présentée dans le chapitre 2.3.1.

Présentation de la mesure

Cette mesure s'applique avant tout aux hauts-marais préalpins et alpins, présentant souvent des surfaces en pente légère sur lesquelles les écoulements ont tendance à évacuer l'eau vers l'aval et à éroder la couche de tourbe superficielle.

La végétalisation de terrains en faible pente (1 à 2 %) nécessite deux étapes de réalisation. La première étape consiste à réhumidifier le terrain en aménageant des terrasses inondables délimitées par des andains de tourbe. La deuxième étape consiste à végétaliser les surfaces situées en retrait des andains à l'aide de la linaigrette engainante (*Eriophorum vaginatum*).

Le présent chapitre décrit de manière détaillée la première étape d'aménagement:

- > le nivellement des accidents de terrain (tertres, creuses, fossés, etc.) de la surface à régénérer à l'aide d'une rétropelleuse, de façon à créer des paliers plus ou moins plats;
- > la construction d'andains à intervalles réguliers, destinés à retenir l'eau de surface et dont l'espacement est fonction de la pente du terrain;
- > l'aménagement facultatif de sillons et de petits andains rapprochés, perpendiculaires à la pente, simulant une structure de buttes et de gouilles de haut-marais.

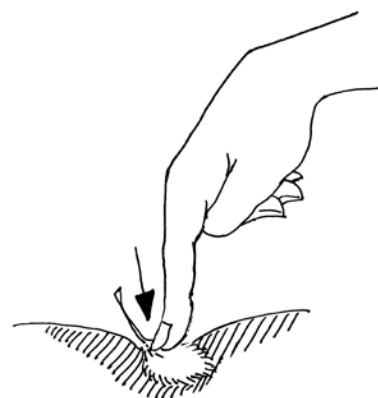


Fig. 28 Transplantation des graines d'*Eriophorum vaginatum*

Les détails ayant trait à la végétalisation à proprement parler (deuxième phase) sont présentés en détail dans le chapitre 2.3.1.

Objectifs

- > Favoriser le retour des sphaignes sur des terrains en faible pente, dénudés suite à des atteintes et des travaux divers, en recréant des conditions hydrologiques et microclimatiques propices;
- > retrouver à long terme un fonctionnement similaire à celui d'un haut-marais primaire sur des surfaces perturbées;
- > réhumidifier le terrain pour assurer le succès de la réimplantation des végétaux (une fluctuation du niveau de l'eau entre +5 cm et -5 cm par rapport à la surface du sol est considérée comme optimale);
- > recréer un marais structuré;
- > ramener la pente du terrain à une valeur si possible inférieure à 5‰ (pour mille) et ainsi diminuer l'érosion;
- > augmenter la capacité de stockage de l'eau et par conséquent diminuer les fluctuations du niveau de l'eau en créant une structure de buttes et de gouilles;
- > améliorer l'esthétique des lieux.

Avant l'intervention ...

à quoi faut-il faire attention?

Impacts négatifs et précautions

La végétalisation et plus particulièrement les travaux préparatoires (construction des andains et travaux de terrassement) ne se conçoivent guère autrement qu'à l'aide d'une rétropelleuse. Ils peuvent générer divers impacts négatifs sur le milieu, dont les plus significatifs sont les suivants:

- > destruction de la végétation existante par la rétropelleuse;
- > tassement et déstructuration de la tourbe.

Le chapitre 2.3 donne des solutions pour limiter les impacts liés à la végétalisation proprement dite. Les précautions supplémentaires suivantes doivent être prises:

- > étudier le parcours de la rétropelleuse à l'avance puis le baliser clairement à l'aide de bandes de marquage; il doit être défini de telle manière à éviter les zones de végétation sensible (fig. 29);
- > commencer de travailler dans la zone la plus éloignée, de façon à revenir progressivement vers le lieu d'accès pour la machine, sans devoir traverser une zone déjà travaillée;
- > circuler obligatoirement sur des tapis de rondins (poutrelles de bois reliées entre elles à l'aide d'un câble) dont le poids et les dimensions sont adaptés au rayon d'action de la rétropelleuse; l'expérience a montré que l'usage complémentaire d'une à deux poutres de grosse section et de 3 à 4 mètres de longueur contribue à augmenter considérablement la stabilité des machines lors des manoeuvres (en y appuyant le bouclier de la rétropelleuse par exemple, ou en avançant les chenillettes dessus);
- > utiliser de préférence une machine assez lourde (10 à 12 tonnes), en mesure de déplacer les tapis de rondins sans



Fig. 29 Surface de tourbe nue en faible pente et marquage préparatoire



Fig. 30 Surface en faible pente réaménagée et végétalisée; on discerne un andain en arrière-plan

difficulté, avec des chenillettes larges en acier (les chenillettes de caoutchouc sont inadaptées sur les tapis de rondins rendus glissants par la tourbe humide);

- > au cas où les machines se déplaceraient sur certains tronçons intacts sans utiliser les tapis de rondins, éviter absolument de pivoter sur place, faute de quoi la végétation, avec sa structure particulière assurant la régulation hydrique du marais, serait détruite.

Difficultés de mise en oeuvre et conseils d'exécution

- > Les terrains ayant subi une exploitation de tourbe ont parfois été passablement remaniés et la tourbe déstructurée; il en résulte une forte instabilité qui n'est pas nécessairement apparente sans un examen attentif; la tourbe de surface peut en effet avoir séché et formé une croûte plus ou moins résistante sur laquelle il est possible de marcher; le risque de s'enfoncer avec des machines lourdes ne doit par contre pas être sous-estimé (fig. 31); il est donc impératif de déceler au préalable les zones d'instabilité (à l'aide d'une tarière par exemple) et de les baliser précisément à l'aide de bandes de marquage;
- > l'épaisseur relative de la couche de tourbe superficielle déstructurée par l'exploitation de tourbe joue un rôle non négligeable sur le déroulement des travaux; en effet, elle ne peut pas être utilisée pour construire les andains et doit donc au préalable être raclée et temporairement mise de côté;
- > si possible, construire les andains en allant de l'amont vers l'aval de la pente et ce d'autant plus si les travaux doivent être répartis sur plusieurs années (plusieurs étapes); en commençant par l'aval, on prendrait en effet le risque de réhumidifier, et donc de rendre impraticable pour les machines, une surface en amont sur laquelle on aurait dû ensuite pouvoir construire un nouvel andain; dans la



Fig. 31 Rétropelleuse enfoncée dans la tourbe

> Attention

Venir réparer et améliorer l'ouvrage peut provoquer des impacts et des coûts importants. Il est dès lors préférable de construire avec toutes les précautions et réussir la première fois.

pratique, les contraintes liées aux possibilités d'accès ainsi qu'aux zones instables à éviter peuvent toutefois amener le gestionnaire à s'écarter de ce principe.

Fiabilité et sécurité

Les petites accumulations d'eau apparaissant en retrait des andains génèrent un risque de rupture ou de glissement de terrain. Ces risques peuvent être limités en prenant les précautions suivantes:

- > la hauteur des andains, une fois la tourbe tassée, ne doit pas dépasser 50 cm pour des raisons de stabilité; leur largeur devrait être d'au moins 2 mètres;
- > la hauteur d'eau derrière la retenue doit être très faible (20–30 cm au maximum) pour limiter la pression à la base de l'andain et permettre la recolonisation par les sphaignes;
- > des trop-pleins stabilisés doivent être aménagés pour chaque andain afin d'empêcher une destruction des aménagements par érosion en cas de fortes pluies et à la fonte des neiges; l'emplacement des trop-pleins doit être défini avec précision là où l'on s'attend à avoir la plus forte accumulation d'eau; leur diamètre doit augmenter vers l'aval, au fur et à mesure de l'augmentation du bassin-versant formé par les terrasses successives;
- > vu les faibles pentes sur lesquelles cette technique est appliquée, une stabilisation et une protection particulière des andains contre l'érosion, comme elle est prévue dans le cas des terrains en forte pente (chapitre 2.3.3), n'est pas nécessaire;
- > le sous-sol minéral doit être imperméable, afin de garantir que l'eau retenue par les andains ne puisse pas s'y infiltrer.

Combinaison de mesures

- > Si des rigoles ou fossés de drainage évacuent l'eau hors du marais et tendent à l'assécher, il est conseillé d'accompagner la création des terrasses par la construction de barrages ou le comblement des rigoles ou fossés (chapitre 3);
- > dans l'optique de végétaliser la surface, le terrain doit être aplani par paliers successifs et les accidents topographiques nivelés; toutefois, pour des raisons de diversification des habitats, il peut aussi être décidé de maintenir des creuses (milieux aquatiques) ou des tertres (milieux secs) existants; ce choix est lié aux objectifs de protection fixés par le gestionnaire;

- > la décision de créer ou non entre les andains une structure artificielle de buttes et de gouilles afin de diversifier le milieu dépend des objectifs de gestion, des moyens à disposition et de la situation initiale;
- > si la surface à restaurer comprend des petites plages de végétation secondaire de haut-marais supportant les conditions de sécheresse des buttes (par exemple des sous-arbrisseaux comme la callune, *Calluna vulgaris*, ou l'airelle des marais, *Vaccinium uliginosum*), il peut être avantageux de créer une structure de buttes et de gouilles afin d'éviter par la suite d'inonder ces plantes.

Paramètres techniques

- > Pour cartographier de manière détaillée la zone à restaurer, les photographies aériennes infrarouges en fausses couleurs de swisstopo constituent une excellente base; la cartographie peut également faire appel à un relevé de terrain à l'aide d'un théodolite; l'avantage de la photointerprétation est de permettre une restitution directe des informations des photographies aériennes (limites de végétation, humidité du sol, emplacement de divers éléments tels que tertres, creuses, rigoles, zones d'érosion ou d'accumulation d'eau, etc.) en plus des courbes de niveau; les orthophotographies offrent une précision maximale de 5 cm au plus; elles sont basées sur des points d'ajustage, de coordonnées connues ou à mesurer sur le terrain à l'aide d'un théodolite ou d'un GPS, et permettent ainsi de corriger les déformations des photographies aériennes (on parle de photographies aériennes restituées);
- > procéder à des sondages de tourbe afin de connaître son épaisseur et sa qualité, en utilisant une tarière de «type russe» (Eijkelpark Agrisearch Equipment, P.O. Box 4, 6987 Giesbeek, The Netherlands; représentant en Suisse: AgroTerra GmbH, Oberfeld 3, 6037 Root; modèle: 04.09 Peat sampler; voir également le modèle présenté par Buttler et al. 1998);
- > évaluer les volumes de tourbe à déplacer; une brouette sur chenillettes peut s'avérer utile pour le transport de tourbe (tourbe dégradée à évacuer par exemple);
- > calculer les besoins en matériel pour les trop-pleins: tuyaux et coudes de différents diamètres, panneaux, pieux, bouillons.

Période d'exécution

Choisir une période sèche pour permettre les accès des machines. La période de juillet à septembre est en général la meilleure. Éviter de travailler en période de gel, la tourbe gelée étant impossible à manipuler et tous les ouvrages risquant de se déformer.

Équipement

Construction des andains:

- > rétropelleuse,
- > tapis de rondins pour stabiliser la rétropelleuse; 1 à 2 longues poutres,
- > bandes de marquage,
- > niveau laser et niveau à bulle,
- > brouettes sur chenillettes (selon les besoins),
- > éventuellement planches de chantier et rondins (passerelle d'accès).

Construction des trop-pleins:

- > masse, pelles rondes, scie, éventuellement tronçonneuse (enfouissement des panneaux);
- > perceuse avec mèches à scie (diamètre adapté à celui des tuyaux PVC).

Végétalisation:

- > voir chapitre 2.3.1.

Matériel de construction

- > Piquets de marquage (au moins 80 cm de longueur);
- > tuyaux PVC avec coudes et manchons de protection contre débris flottants;
- > panneaux de bois (panneaux contre-plaqués, lamellés croisés, non imprégnés); dimension d'un panneau: 100 cm × 50 cm; 1 panneau par trop-plein;
- > pieux de 100 cm de long; 4 par panneau.

Main d'œuvre

- > Ces travaux font appel à une main d'œuvre qualifiée; le machiniste doit être en mesure de fournir un travail précis et consciencieux afin d'assurer la fiabilité et la régularité des andains; l'usage du niveau à laser doit être maîtrisé de façon à assurer que l'altitude relative des andains reste exactement la même sur toute leur longueur;
- > l'assemblage des trop-pleins ne requiert pas d'expérience particulière, sinon un soin apporté à la réalisation des ouvrages pour en garantir l'étanchéité; le transport du matériel peut être effectué par le machiniste et son aide.

Encadrement

- > Le choix de l'emplacement des andains et leur mise en place requièrent de la part du planificateur une bonne connaissance du fonctionnement et de la gestion des milieux tourbeux;
- > un encadrement permanent est indispensable durant toute la phase de chantier.

Coûts

- > Salaire des ouvriers;
- > honoraires pour la planification, l'encadrement et la direction de chantier;
- > location de la rétropelleuse: de Fr. 120.- à Fr. 200.-/heure, salaire du machiniste compris, sans compter le transport;
- > le cas échéant, location de la brouette sur chenillettes;
- > panneaux de bois lamellé croisé: env. Fr. 30.-/m²;
- > tuyaux PVC et coudés, selon diamètre;
- > outillage éventuel, petit matériel (piquets de bois).

Procédé d'exécution

Planification des terrasses

Le positionnement des andains dépend en premier lieu de la topographie locale et doit donc être adapté à chaque situation, en respectant les limites de pente et de taille des andains exprimées plus haut. La démarche de base est la suivante:

- a) établir une carte détaillée (échelle 1:1000 ou 1:500) de la zone à restaurer en y reportant avec précision:
 - > les courbes de niveau (au moins tous les 50 cm)
 - > les différents écoulements d'eau en surface
 - > les zones inondables, souvent recouvertes de tourbe fine, situées sur des replats
 - > les zones d'érosion
 - > les tertres ou les creuses à niveler.
- b) L'analyse de ces informations doit permettre de définir l'arrangement général des terrasses; la règle à suivre consiste à intervenir prioritairement sur les lieux où l'eau

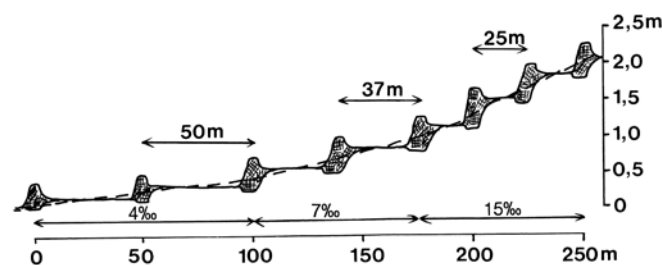


Fig. 32 Espacement des andains en fonction de la pente (coupe transversale; modifié d'après Eggelsmann, in Nick 1993, p. 27)

- s'accumule déjà naturellement, puis à compléter le réseau des andains en fonction de la topographie;
- c) la pente détermine le rapprochement des andains: plus elle est élevée, plus les andains seront rapprochés (fig. 32);
- d) la hauteur finale d'un andain doit être à niveau constant si l'on veut éviter les débordements; il est donc nécessaire de fixer avec précision, à l'aide d'un niveau, la hauteur de chaque andain à partir d'un point fixe d'altitude connue; reporter l'emplacement et la hauteur de chaque andain sur la carte ou sur la photographie restituée;
- e) l'emplacement des trop-pleins détermine la circulation générale de l'eau sur la surface; prévoir ces emplacements et les reporter sur la carte ou sur la photographie restituée;
- f) procéder à des sondages de tourbe afin de connaître son épaisseur et sa qualité (tourbe rousse fibreuse de bonne qualité ou tourbe noire boueuse dégradée); définir les épaisseurs de tourbe de mauvaise qualité à décaper avant de pouvoir ériger les andains et prévoir les lieux où entreposer temporairement cette tourbe; reporter les informations sur la carte ou sur la photographie restituée;
- g) planifier sur la carte l'ordre dans lequel les terrasses seront construites;
- h) définir et repérer sur la carte les tertres ou les creuses à niveler, les zones instables, ainsi que les zones à aménager avec des sillons (structure de buttes et de gouilles);
- i) prévoir les accès pour les machines et les parcours à suivre; organiser la place de chantier (voir aussi chapitre 2.3) et le parcours de la rétropelleuse pour le travail des surfaces et la construction des différents andains.

Préparation des terrasses

1. Aplanissement de la surface

En fonction des besoins, et selon la pente, la surface des terrasses sera nivelée à l'aide de la rétropelleuse en raclant la

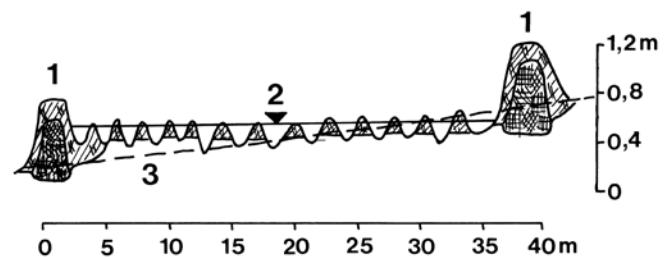


Fig. 33 Structure en buttes et gouilles entre deux andains (coupe transversale; modifié d'après Eggelsmann, in Nick 1993, p. 43); 1: andain; 2: hauteur d'eau maximale; 3: pente d'origine

tourbe superficielle de l'amont vers l'aval jusqu'à l'andain qui délimitera la terrasse. L'objectif général est de ramener la pente des terrasses à une valeur inférieure à 5‰ (pour mille).

Le raclage de la surface permet en outre de casser la croûte qui aurait pu se former suite au gel et au dessèchement et d'ameublir ainsi la tourbe superficielle dégradée.

2. Mise en place d'une structure de buttes-gouilles

Pour autant qu'il ait été décidé de procéder à la réalisation de telles structures, le creusage des sillons peut se faire en même temps que l'aplanissement de la surface. On travaillera ainsi de l'amont vers l'aval, mais les sillons seront orientés perpendiculairement à la pente du terrain.

A l'aide de la rétropelleuse, on creusera des sillons de l'ordre de 30 cm de profondeur et de 50 à 100 cm de largeur, séparés les uns des autres par des buttes de même largeur où l'on aura déposé le matériel excavé pour creuser les sillons (fig. 33).

Il ne faut pas oublier de se réserver un espace de travail vers l'aval de la zone ainsi aménagée pour la construction de l'andain. Cette espace forme un couloir de 4–5 m de large environ, comprenant l'emprise de l'andain lui-même, la zone où l'on extraira le matériel nécessaire à la construction de l'andain vers l'amont et la zone où l'on entreposera temporairement la tourbe superficielle dégradée vers l'aval.

Le sommet des buttes ne doit pas dépasser la hauteur maximale de l'eau retenue dans les terrasses, afin d'y maintenir une humidité élevée. La végétation en place, pour autant qu'elle présente un intérêt en relation avec la conservation des marais, sera préservée et déposée sous forme de mottes sur les buttes. Esthétiquement, il vaut certainement mieux éviter de creuser de longs sillons rectilignes et parallèles sur toute la surface de la terrasse. Une disposition moins régulière sera préférée.



Fig. 34 Marquage du parcours de la rétropelleuse

Construction des andains

La construction d'un andain nécessite trois étapes distinctes:

- 1) marquage de l'emplacement de l'andain sur le terrain;
- 2) construction de l'andain et, en parallèle,
- 3) construction du trop-plein.

1. Marquages

- a) Marquer l'emplacement des andains sur le terrain à l'aide de piquets espacés de 2 à 5 m, en se référant au plan de détail préétabli; une orthophotographie et un GPS assurent une précision maximale;
- b) marquer les emplacements des trop-pleins;
- c) marquer les emplacements instables à éviter;
- d) marquer le parcours de la rétropelleuse (fig. 34).

2. Construction des andains

Il faut procéder à la réalisation par sections successives de 2–3 m en reculant progressivement avec la rétropelleuse. Le procédé suivant ne concerne qu'une section (voir également fig. 37):

- a) à l'aide de la rétropelleuse, décaper la tourbe minéralisée à une extrémité du futur andain sur au moins 2 m de large et une épaisseur variant en fonction de celle de la tourbe superficielle dégradée; entreposer temporairement cette tourbe en aval de l'andain (A, fig. 35);
- b) en amont de l'andain, mais à plus de 1 m de la base de celui-ci, décaper la surface pour atteindre la tourbe rousse fibreuse; entreposer la tourbe dégradée en aval (fig. 36 a);
- c) à l'aide de la rétropelleuse, prélever, dans la zone décapée en amont, des gros blocs de tourbe rousse et fibreuse et les empiler pour construire l'andain; façonner la forme de l'andain en tassant les blocs de tourbe pour bien les faire adhérer les uns aux autres (fig. 36 b);

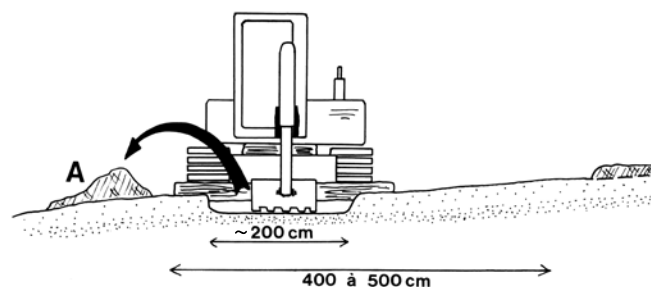


Fig. 35 Décapage de la tourbe dégradée

- d) recouvrir l'andain à l'aide de la tourbe entreposée en aval (5–10 cm d'épaisseur) et déposer le solde de tourbe dégradée dans la fosse en amont de l'andain, tout en aménageant des berges peu pentues afin de conserver une dépression inondable favorable à la faune; une partie des berges peut rester plus abruptes pour diversifier les habitats aquatiques disponibles (fig. 36 c);
- e) la hauteur totale de l'andain, une fois la tourbe tassée, ne doit pas être supérieure à 50 cm; pour la détermination de la hauteur de l'andain lors de la construction, il faut cependant compter avec un tassement de 10 à 20 cm dans les premières années et donc construire l'andain 10 à 20 cm plus haut que la hauteur définitive souhaitée; le sommet de l'andain est en principe aplani et ses bords

talutés en pente douce (rapport 1:2); B = hauteur d'eau maximale (fig. 36 d);

- f) l'altitude relative du sommet de l'andain doit être contrôlée à intervalle régulier (par exemple tous les mètres) à l'aide du niveau à laser; une altitude inférieure à celle du trop-plein donnerait lieu inévitablement à un débordement et à une érosion de l'andain;
- g) les éventuelles mottes de végétation présentes à proximité peuvent être déposées sur l'andain afin d'en amorcer la recolonisation;
- h) reculer la rétropelleuse, éventuellement en déplaçant les tapis de rondins, et répéter toute l'opération pour le tronçon suivant (fig. 37).

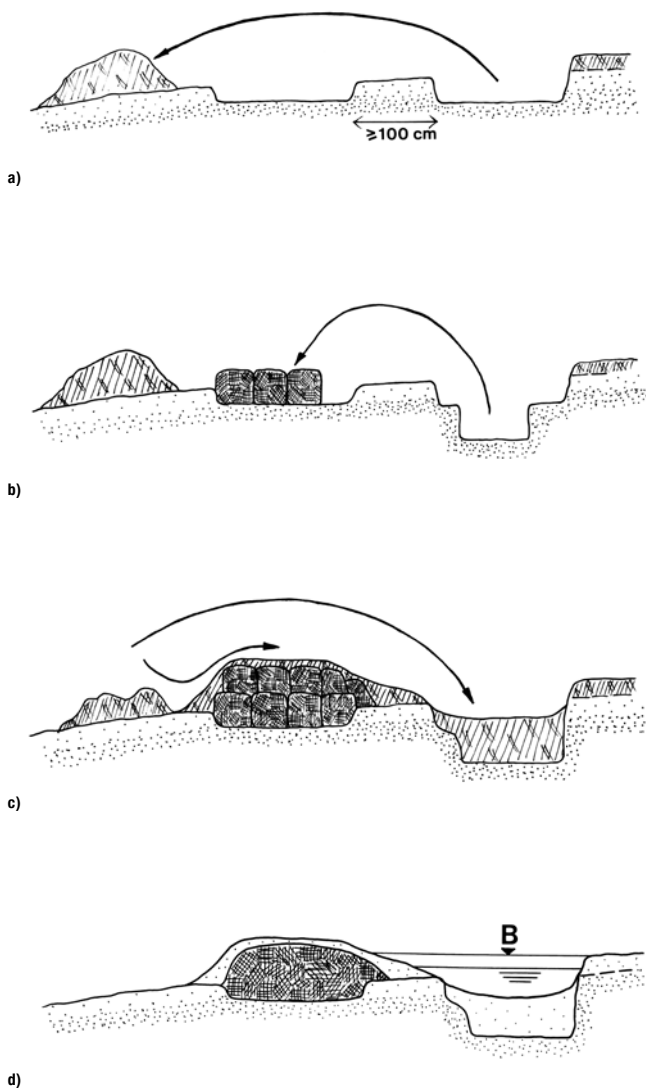


Fig. 36 a – d) *Étapes de la construction d'une digue de tourbe (coupe transversale)*

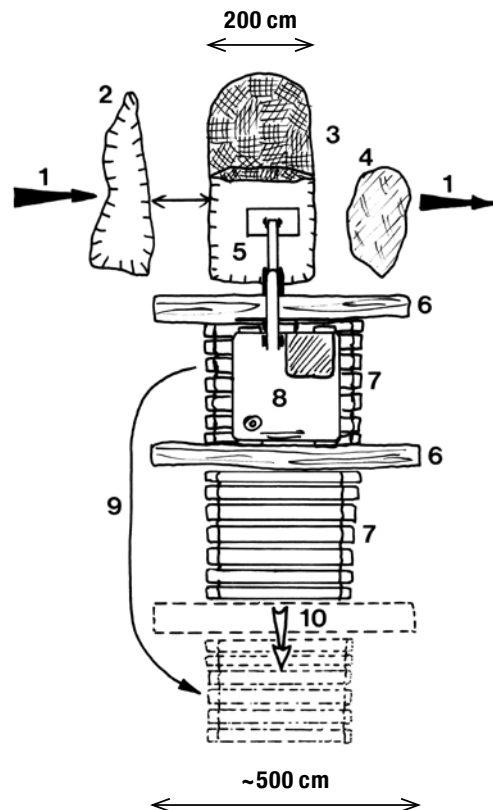


Fig. 37 *Vue du chantier en situation; 1: pente du terrain; 2: zone d'excavation de tourbe fibreuse; 3: andain; 4: dépôt de tourbe dégradée; 5: tranchée décapée; 6: poutre de stabilisation; 7: tapis de rondins; 8: rétropelleuse; 9: rayon d'action pour le déplacement des tapis de rondins; 10: sens du travail de la rétropelleuse*

3. Construction des trop-pleins

- A l'emplacement du trop-plein, la tourbe superficielle dégradée sera décapée non pas seulement sur le tracé de l'andain, mais également sur une distance d'environ 1 m de part et d'autre de la base de l'andain;
- préparer les panneaux de bois en découpant les trous par lesquels passeront les tuyaux de PVC; les trous doivent être découpés aux diamètres exacts des différents tubes qui seront utilisés, de manière à assurer l'étanchéité du contact entre les panneaux et les tubes une fois le bois gonflé d'eau;
- le panneau de bois est ensuite implanté dans la tourbe à l'aide de la rétropelleuse (chapitre 3.3.1 pour plus de détails), légèrement décalé vers l'amont par rapport à l'axe central de l'andain; le panneau ne doit pas être enfoncé directement à sa profondeur définitive, afin de permettre un ajustement après la mise en place du tuyau et de régler ainsi la pente du tuyau;
- enfiler le tuyau dans le panneau et enfoncer ce dernier dans sa position définitive en veillant à ce que la pente du tuyau soit bonne: il est impératif que la sortie du tuyau, en aval, soit légèrement surélevée par rapport au terrain environnant de manière à assurer en tout temps un écoulement libre de l'eau; cependant, cette hauteur ne devrait pas excéder 10 cm pour éviter une trop forte érosion autour de l'embouchure du tuyau; on peut aussi installer une planche sous l'embouchure du tuyau de façon à ce que l'eau y ruisselle avant de s'écouler sur la tourbe, limitant ainsi considérablement les risques d'érosion régressive; en amont, installer l'extrémité de telle façon à ce que l'on puisse ajouter le coude et le tronçon de tuyau à la verticale qui fixera le niveau maximal de l'eau retenue derrière l'andain (maximum

- 30 cm au-dessus du niveau de base de l'andain!); en règle générale, une pente de quelques pour mille suffit à assurer un bon écoulement de l'eau dans le tuyau; à l'inverse, une pente trop forte donnerait à l'eau une force trop importante à sa sortie avec pour conséquence des risques d'érosion autour de l'embouchure du tuyau;
- le panneau est ensuite ancré à l'aide des quatre pieux de bois enfoncés verticalement de part et d'autre des deux extrémités du panneau; les pieux peuvent éventuellement être vissés contre le panneau (fig. 38);
- l'ensemble de l'ouvrage (tuyau, panneau et pieux) sera recouvert de tourbe fibreuse prélevée dans le fossé en amont, jusqu'aux deux extrémités du tuyau (le PVC résiste mal au rayonnement solaire); le coude et le tuyau vertical resteront libres mais seront en principe immergés par la suite;
- installer le coude et le tuyau vertical, ce dernier étant scié à la hauteur voulue;
- un manchon, formé d'une section de tuyau de PVC légèrement plus grande que celle du tuyau d'écoulement du trop-plein, est enfin fixé autour du sommet du tuyau vertical à l'aide de 3 longs boulons; de cette manière, l'eau ne pourra s'écouler par le trop-plein qu'en suivant la chicane formée par les deux tuyaux emboîtés, et le matériel flottant (végétaux morts, bois, mottes de tourbe, etc.) ne pourra pas obstruer l'écoulement (fig. 39 et 40).

Une fois les terrasses aménagées, passer à la végétalisation des surfaces selon les principes présentés dans le chapitre 2.3.1. Les terrasses humides en retrait des andains doivent être végétalisées en priorité. La végétalisation des andains n'est pas nécessaire, à moins que des signes d'érosion n'apparaissent. Elle permet alors de stabiliser l'andain.

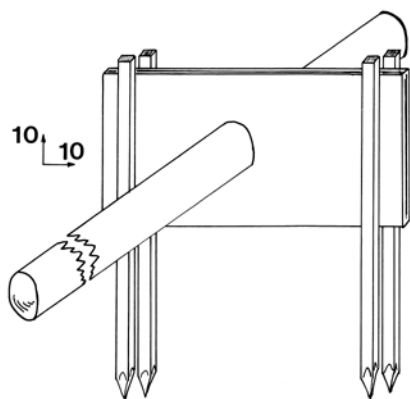


Fig. 38 Tuyau encastré dans un panneau de bois; dimensions en cm

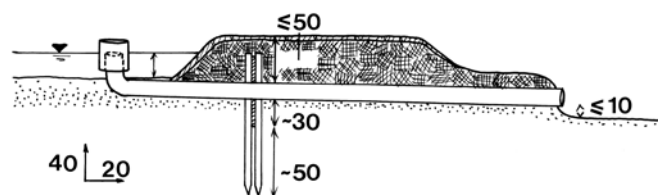


Fig. 39 Coupe longitudinale d'un trop-plein avec tuyau coudé; dimensions en cm

Une fois l'intervention terminée ...

Evaluation du succès de la mesure

- > Evaluer le fonctionnement des trop-pleins; s'ils fonctionnent de manière adéquate, aucune érosion ne doit être visible sur les andains;
- > noter les traces d'érosion sur les terrasses une année ou deux après les travaux; si l'érosion est très marquée, envisager de freiner l'eau par de nouveaux andains ou réaménager des trop-pleins;
- > consolider et végétaliser les andains si des traces d'érosion apparaissent;
- > afin d'évaluer le succès de la végétalisation, se reporter au chapitre 2.3.1.

Suivi scientifique

La mise en place de la mesure vise à long terme la réapparition des sphaignes sous les abris offerts par les plantes pionnières et dans les plans d'eau en retrait des andains. Dès lors, il est important de mettre en place un suivi à moyen et long terme (15–20 ans).

Les points suivants doivent être évalués dans le cadre d'un suivi scientifique complet:

- > recherche de nouvelles espèces végétales caractéristiques de haut-marais (*Drosera rotundifolia*, etc.) et localisation sur carte avec date;
- > placettes ou transects permanents pour déceler la recolonisation de la surface par les sphaignes et les changements de végétation;
- > recolonisation faunistique induite;
- > mesure régulière du niveau des andains pour évaluer le tassement naturel et anticiper tout débordement.

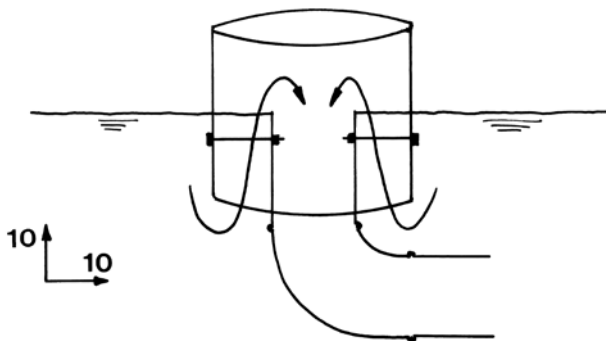


Fig. 40 Coupe radiale du manchon formant une chicane à l'entrée du tuyau; dimensions en cm

2.3.3 Stabilisation et végétalisation de terrains en forte pente

La lecture de ce chapitre requiert d'avoir pris connaissance au préalable des chapitres 2.1 à 2.3. Il illustre de manière détaillée les étapes permettant de stabiliser et de végétaliser un terrain en forte pente, dans le but de freiner les écoulements d'eau et de favoriser le retour de la végétation. L'accent est mis avant tout sur les travaux préparatoires de stabilisation du terrain.

Présentation de la mesure

Cette mesure s'applique avant tout aux hauts-marais préalpins et alpins, présentant souvent des surfaces en pente forte soumises à une importante érosion une fois la tourbe mise à nu. Elle concerne également les surfaces pentues et dénudées des marais jurassiens.

Sur les terrains en forte pente (plus de 2%), il est nécessaire dans un premier temps de stabiliser le terrain en aménageant des digues de tourbe, afin de limiter l'érosion et de réhumidifier le terrain. La mesure consiste à créer une structure réticulée à l'aide de digues rapprochées, séparées par des dépressions inondées, imitant à petite échelle les tourbières réticulées ou «aapa» scandinaves. Le cheminement de l'eau doit être conçu de telle manière à prolonger au maximum l'écoulement et ainsi diminuer sa force érosive (fig. 41). Les conditions ainsi créées favorisent le retour spontané d'une végétation de milieu tourbeux dans les dépressions (linaigrette à feuilles étroites, *Eriophorum angustifolium*, par exemple). La réapparition des sphaignes est possible dans de telles structures, mais à long terme seulement.

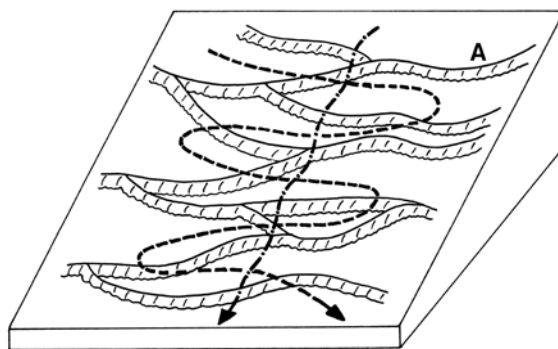


Fig. 41 Cheminement de l'eau avant (---) et après (---) la construction des digues (A); la mesure permet de rallonger le cheminement de l'eau, et ainsi de diminuer son pouvoir érosif, tout en réhumidifiant une grande partie de la surface

> Attention

Venir réparer et améliorer les ouvrages peut provoquer des impacts et des coûts importants. Il est dès lors préférable de construire avec toutes les précautions possibles et réussir la première fois.

Dans un second temps, il est envisageable de faire appel aux techniques de végétalisation classiques pour stabiliser les digues de tourbe si des signes d'érosion se font sentir ou sont à craindre, et pour accélérer la recolonisation des dépressions par la végétation.

Objectifs

- > Stabiliser les terrains tourbeux en forte pente, dénudés suite à des atteintes et des travaux divers;
- > créer des plans d'eau en retrait des digues pour favoriser le retour de la végétation de milieu tourbeux;
- > prolonger le cheminement de l'eau pour en diminuer le flux et limiter sa force érosive;
- > augmenter la capacité de stockage de l'eau et par conséquent diminuer les fluctuations du niveau de l'eau améliorer l'esthétique des lieux.

Avant l'intervention ...**à quoi faut-il faire attention?****Impacts négatifs et précautions**

Les travaux de construction des digues doivent être réalisés à l'aide d'une rétropelleuse. Ils peuvent générer divers impacts négatifs sur le milieu, dont les plus significatifs sont les suivants:

- > destruction de la végétation existante par la rétropelleuse;
- > tassement et déstructuration de la tourbe.

Le chapitre 2.3 donne des solutions pour limiter les impacts liés à la végétalisation proprement dite. Lors de la stabilisation du terrain, les précautions supplémentaires suivantes doivent être prises:

- > étudier le parcours de la rétropelleuse à l'avance puis le baliser clairement à l'aide de bandes de marquage; il doit être défini de telle manière à éviter les zones de végétation sensible;
- > commencer de travailler dans la zone la plus éloignée, de façon à revenir progressivement vers le lieu d'accès pour la machine, sans devoir traverser une zone déjà réaménagée;
- > circuler obligatoirement sur des tapis de rondins (poutrelles de bois reliées entre elles à l'aide d'un câble) dont le poids et les dimensions sont adaptés au rayon d'action de la rétropelleuse; l'expérience a montré que l'usage

complémentaire d'une à deux poutres de grosse section et de 4 à 5 mètres de longueur contribue à augmenter considérablement la stabilité des machines lors des manoeuvres (en y appuyant le bouclier de la rétropelleuse par exemple, ou en avançant les chenillettes dessus);

- > utiliser de préférence une machine assez lourde (10 à 12 tonnes), en mesure de déplacer les tapis de rondins sans difficulté, avec des chenillettes larges en acier (les chenillettes de caoutchouc sont inadaptées sur les tapis de rondins rendus glissants par la tourbe humide);
- > au cas où les machines se déplaceraient sur certains tronçons intacts sans utiliser les tapis de rondins, éviter absolument de pivoter sur place, faute de quoi la végétation, ainsi que l'acrotelm, avec leurs structures particulières assurant la régulation hydrique du marais, seraient détruites.

Difficultés de mise en oeuvre et conseils d'exécution

- > Les terrains ayant subi une exploitation de tourbe ont parfois été passablement remaniés et la tourbe déstructurée; il en résulte une forte instabilité qui n'est pas nécessairement apparente sans un examen attentif; la tourbe de surface peut en effet avoir séché et formé une croûte plus ou moins résistante sur laquelle il est possible de marcher; le risque de s'enfoncer avec des machines lourdes ne doit par contre pas être sous-estimé; il est donc impératif de déceler au préalable les zones d'instabilité (à l'aide d'une tarière par exemple) et de les baliser précisément à l'aide de bandes de marquage;
- > si possible, construire les digues en allant de l'amont vers l'aval de la pente et ce d'autant plus si les travaux doivent être répartis sur plusieurs années (plusieurs étapes); en commençant par l'aval, on prendrait en effet le risque d'inonder, et donc de rendre impraticable pour les machines une surface en amont sur laquelle on aurait dû ensuite pouvoir construire une nouvelle digue; dans la pratique, les contraintes liées aux possibilités d'accès ainsi qu'aux zones instables à éviter peuvent toutefois amener le gestionnaire à s'écarter de ce principe;
- > les digues étant souvent très rapprochées, il peut arriver que la tourbe disponible pour leur construction vienne à manquer; dans ce cas, prévoir une zone d'extraction peu dommageable située à proximité, sur la base d'un plan de gestion ou en accord avec le gestionnaire.

Fiabilité et sécurité

Les accumulations d'eau, parfois conséquentes, apparaissant en retrait des digues génèrent un risque de rupture ou de glissement de terrain qui ne doit pas être sous-estimé. On apportera donc beaucoup de soins à la réalisation des digues, en prenant les précautions suivantes:

- > la mesure ne s'applique qu'à des terrains dont la pente maximale ne dépasse pas 5–6%; le nombre de digues à aménager étant proportionnel à la pente, une pente au-delà de cette valeur exige la construction de digues très rapprochées, rendant leur mise en place impossible;
- > il est impératif de renforcer les digues à l'aide de nattes en fibre de coco ou de jute, sans quoi la stabilité de l'ouvrage ne saurait être garantie; la fibre de coco est plus résistante dans le temps que celle de la jute, c'est pourquoi nous parlons dans ce chapitre de nattes de coco, mais la jute peut aussi être utilisée;
- > la hauteur des digues, une fois la tourbe tassée, ne doit pas dépasser 40 à 50 cm pour des raisons de stabilité; leur largeur devrait être de 1 à 1,5 m;
- > la hauteur d'eau derrière la retenue doit être faible (40 cm au maximum) pour limiter la pression à la base de la digue;
- > des trop-pleins doivent être aménagés pour chaque digue afin d'empêcher une destruction des aménagements par érosion en cas de fortes pluies et à la fonte des neiges; l'emplacement des trop-pleins doit être défini de telle manière à prolonger le cheminement de l'eau au maximum et ainsi limiter les risques d'érosion; contrairement à la mesure 2.4.2, il est préférable d'opter pour des trop-pleins en nattes de coco et non pas des tubes PVC pour des raisons de faisabilité;
- > l'épaisseur relative de la couche de tourbe superficielle déstructurée par l'exploitation de tourbe peut jouer un rôle non négligeable sur le déroulement des travaux; il est en effet primordial que la digue soit construite à l'aide de tourbe intacte (tourbe rousse, fibreuse, imperméable) et que sa base repose également sur de la tourbe intacte afin de limiter les risques d'infiltrations (et donc de rupture); la tourbe dégradée doit donc au préalable être raclée et temporairement mise de côté;
- > lors du prélèvement de la tourbe pour la construction des digues, veiller à ne pas percer le sous-sol imperméable (par exemple la couche argileuse), sans quoi les infiltrations risquent de rendre inefficace le réseau de digues mis en place; il faut donc connaître au préalable l'épaisseur de tourbe disponible.



Fig. 42 Evolution d'une surface aménagée, Eggiwil (BE), réserve naturelle cantonale du Steinmösli; à la fin des travaux en 1998

Combinaison de mesures

- > Si des rigoles ou fossés de drainage évacuent l'eau hors du marais et tendent à l'assécher, il est conseillé d'accompagner la création des digues par la construction de barrages ou le comblement des rigoles ou fossés (chapitre 3).

Paramètres techniques

- > Pour cartographier de manière détaillée la zone à restaurer, les photographies aériennes infrarouges en fausses couleurs (1:5000 ou 1:10000), ou mieux encore, les orthophotographies de swisstopo constituent une excellente base; la cartographie peut également faire appel à un relevé de terrain à l'aide d'un théodolite; toutefois, l'avantage de la photointerprétation est de permettre une restitution directe des informations des photographies aériennes (limites de végétation, humidité du sol, emplacement de divers éléments tels que tertres, creuses, rigoles, zones d'érosion ou d'accumulation d'eau, etc.) en plus des courbes de niveau; les orthophotographies offrent une précision maximale de 5 cm au plus; elles sont basées sur des points d'ajustage, de coordonnées connues ou à

mesurer sur le terrain à l'aide d'un théodolite ou d'un GPS, et permettent ainsi de corriger les déformations des photographies aériennes (on parle de photographies aériennes restituées);

- > procéder à des sondages de tourbe afin de connaître son épaisseur et sa qualité, en utilisant une tarière de «type russe» (Eijelkamp Agrisearch Equipment, P.O. Box 4, 6987 Giesbeek, The Netherlands; représentant en Suisse: AgroTerra GmbH, Oberfeld 3, 6037 Root; modèle: 04.09 Peat sampler; voir également le modèle présenté par Buttler et al. 1998);
- > évaluer les volumes de tourbe à déplacer; une brouette sur chenillettes peut s'avérer utile pour le transport de tourbe (tourbe dégradée à évacuer par exemple);
- > calculer la longueur des digues à aménager afin de déterminer la quantité de natte de coco nécessaire à leur stabilisation.

Période d'exécution

Choisir une période sèche pour permettre les accès des machines. La période de juillet à septembre est en général la meilleure.



Fig. 43 Evolution d'une surface aménagée, Eggiwil (BE), réserve naturelle cantonale du Steinmösli; deux ans après les travaux en 2000

re. Eviter de travailler en période de gel, la tourbe gelée étant impossible à manipuler et tous les ouvrages risquant de se déformer. De plus, le gel détruit la structure de la tourbe, la rendant impropre à l'édification des digues.

Equipement

Construction des digues et des trop-pleins:

- > rétropelleuse (10 à 12 tonnes, chenillettes en acier)
- > tapis de rondins pour stabiliser la rétropelleuse; 1 à 2 poutres de 4–5 m
- > piquets en bois (au moins 80 cm de longueur) et bandes de marquage
- > tarière
- > niveau laser, mire
- > couteau pour façonner la natte de coco
- > pelles rondes
- > brouette sur chenillettes (selon les besoins)
- > éventuellement planches de chantier et rondins (passerelle d'accès)

Végétalisation des digues:

- > pelle ronde
- > brouette
- > plantoir
- > arrosoir
- > bottes, gants de jardinier

Matériel de construction

- > Nattes en fibres de coco tissées 700 g/m², en rouleaux de 2 m de large × 50 m de long;
- > pour les trop-pleins, nattes tridimensionnelles en fibres de coco bouclées 1200 g/m², en rouleaux de 1 m de large × 30 m de long;
- > pieux de 100 cm de long et 8–10 cm de diamètre pour fixation de la natte; compter 1 pieu tous les 2 m de digue environ.

Main d'œuvre

Ces travaux font appel à une main d'oeuvre qualifiée; le machiniste doit être en mesure de fournir un travail précis et consciencieux afin d'assurer la fiabilité et la régularité des di-



Fig. 44 Evolution d'une surface aménagée, Eggiwil (BE), réserve naturelle cantonale du Steinmösli; quatre ans après les travaux en 2002

gues; l'usage du niveau à laser doit être maîtrisé de façon à assurer que l'altitude relative des digues reste exactement la même sur toute leur longueur; de même, il est préférable de faire appel à des personnes ayant de l'expérience dans la pose des nattes de coco, qui requiert une grande dextérité (ancrages, courbes, trop-pleins).

Encadrement

- > Le choix de l'emplacement des digues et leur mise en place requièrent de la part du planificateur une bonne connaissance du fonctionnement et de la gestion des milieux tourbeux;
- > un encadrement permanent est indispensable durant toute la phase de chantier.

Coûts

- > Salaire des ouvriers;
- > honoraires pour la planification, l'encadrement et la direction de chantier;
- > location de la rétropelleuse: de Fr. 120.- à Fr. 200.-/heure, salaire du machiniste compris, sans compter le transport;
- > natte en fibres de coco tissées 700 g/m²: environ Fr. 8.-/m²;
- > natte en fibres de coco bouclées 1200 g/m²: Fr. 12.-/m²;
- > le cas échéant, location d'une brouette sur chenillettes;
- > outillage éventuel, petit matériel (piquets, pieux, etc.).

Procédé d'exécution

Planification des digues

Le positionnement des digues dépend en premier lieu de la topographie locale et doit donc être adapté à chaque situation, en respectant les limites de pente et de taille des digues exprimées plus haut. La démarche de base est la suivante:

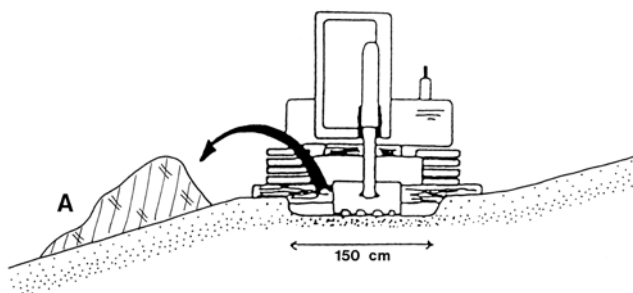


Fig. 45 Décapage de la tourbe dégradée

- a) établir une carte détaillée (échelle 1:1000 ou 1:500) de la zone à restaurer en y reportant avec précision:
 - > les courbes de niveau (au moins tous les 50 cm)
 - > les différents écoulements d'eau en surface
 - > les zones inondables situées sur des replats
 - > les zones d'érosion
 ces informations permettent de se faire une idée précise de la circulation de l'eau sur la surface et déterminent dans une large mesure les aménagements à réaliser;
- b) l'analyse de ces informations doit permettre de définir l'arrangement général des digues; la règle à suivre consiste à intervenir prioritairement sur les lieux où l'eau s'accumule déjà naturellement, puis à compléter le réseau des digues en fonction de la topographie;
- c) la pente détermine le rapprochement des digues: plus elle est forte, plus les digues seront rapprochées (fig. 32, page 33); la règle consiste à espacer les digues de telle sorte que le niveau d'eau maximal retenu par la digue aval atteigne au moins le pied de la digue amont; dans la pratique toutefois, cette règle est rarement applicable: on doit généralement se contenter de faire au mieux en fonction des contraintes imposées par le terrain!
- d) la hauteur finale d'une digue doit être à niveau constant si l'on veut éviter les débordements; il est donc nécessaire de fixer avec précision, à l'aide d'un niveau, la hauteur de chaque digue à partir d'un point fixe d'altitude connue; reporter l'emplacement et la hauteur de chaque digue sur la carte ou sur la photographie aérienne restituée;
- e) l'emplacement des trop-pleins détermine la circulation générale de l'eau sur la surface, en cherchant à prolonger au maximum son cheminement; prévoir ces emplacements et les reporter sur la carte ou sur la photographie aérienne restituée;
- f) procéder à des sondages de tourbe à l'emplacement des futures digues afin de connaître son épaisseur et sa qualité

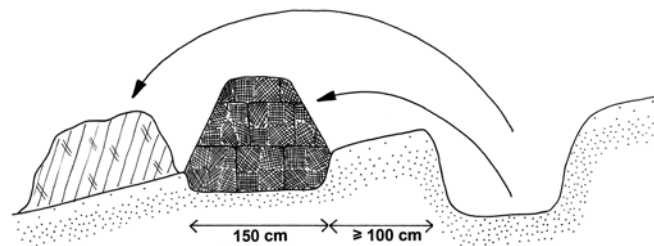


Fig. 46 Construction de l'andain avec de la tourbe de bonne qualité prélevée en amont

(tourbe rousse fibreuse de bonne qualité ou tourbe noire boueuse dégradée); définir les épaisseurs de tourbe de mauvaise qualité à décaper avant de pouvoir ériger les digues et prévoir les lieux où entreposer temporairement cette tourbe; reporter les informations sur la carte ou sur la photographie aérienne restituée;

- g) planifier sur la carte l'ordre dans lequel les digues seront aménagées;
- h) définir et repérer sur la carte les zones instables;
- i) prévoir les accès pour les machines et les parcours à suivre; organiser la place de chantier (voir aussi chapitre 2.3) et le parcours de la rétropelleuse pour le travail des surfaces et la construction des différentes digues.

Construction des digues

La construction des digues nécessite trois étapes distinctes:

- 1) marquage de l'emplacement des digues sur le terrain;
- 2) construction des digues et, en parallèle,
- 3) aménagement des trop-pleins.

1. Marquages

- a) marquer l'emplacement des digues sur le terrain à l'aide de piquets espacés de 2 à 5 m, en se référant au plan de détail préétabli; une orthophotographie et un GPS assurent une précision maximale;
- b) marquer les emplacements des trop-pleins;
- c) marquer les emplacements instables à éviter;
- d) marquer le parcours de la rétropelleuse.

2. Construction des digues

Il faut procéder à la réalisation par sections successives de 2–3 m en reculant progressivement avec la rétropelleuse. Un soin tout particulier doit être porté à la mise en place de la natte de coco. Ce travail détermine en grande partie la stabi-

lité des digues. Le procédé suivant ne concerne qu'une section. Il s'agit d'un procédé standard, qui doit régulièrement être adapté en fonction des particularités du terrain:

- a) à l'aide de la rétropelleuse, décaper la tourbe minéralisée (noire, boueuse, peu structurée) à une extrémité de la future digue sur environ 1,5 m de large et une épaisseur variant en fonction de celle de la tourbe superficielle dégradée; entreposer temporairement cette tourbe en aval de la digue (A, fig. 45);
- b) en amont de la digue, mais à plus de 1 m de la base de celle-ci, décaper la surface pour atteindre la tourbe rousse fibreuse; entreposer la tourbe dégradée en aval; prélever des gros blocs de tourbe rousse et fibreuse dans la zone décapée et les empiler pour construire la digue; façonner la forme définitive de la digue en tassant les blocs de tourbe pour bien les faire adhérer les uns aux autres et étancher la digue; la base de la digue doit mesurer environ 1,5 m de large; dans le cas de digues très rapprochées, il est conseillé de choisir un autre lieu de prélèvement (fig. 46);
- c) pour des questions pratiques, il est conseillé de découper à l'avance une portion de natte de coco 700 g/m² (A, fig. 47) de 8–10 m de longueur (ou d'une longueur permettant d'atteindre le premier trop-plein) afin de ne pas devoir manipuler le rouleau entier; dérouler la natte sur la digue; du côté aval de la digue, replier la natte dans la tourbe à la main ou à l'aide d'une pelle, en veillant de ne pas la déchirer; du côté amont, ancrer la natte à l'aide de pieux en bois, plantés tous les 2 m à 45° environ; fixer également la natte à l'extrémité de la digue avec 1 ou 2 pieux;
- d) recouvrir la digue à l'aide de la tourbe entreposée en aval et bien la tasser (10 cm d'épaisseur); ajouter quelques blocs de tourbe fibreuse sur les pieux pour bien les faire adhérer; bien couvrir la natte de coco du côté amont de la digue en tirant la tourbe vers la digue, ce qui permet

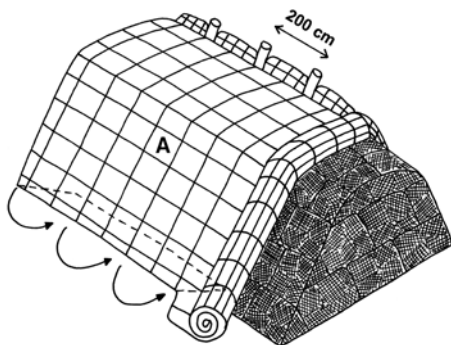


Fig. 47 Pose de la natte de coco

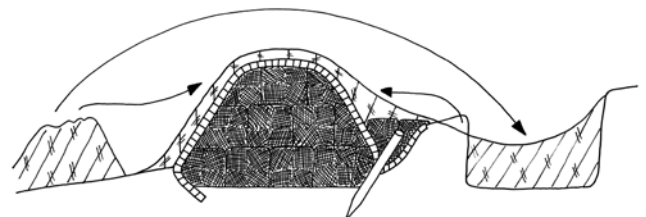


Fig. 48 Coupe transversale de la digue avec natte de coco ancrée et recouverte de tourbe

- d'adoucir la pente de la future gouille; puis déposer le solde de tourbe dégradée dans la fosse en amont de la digue (fig. 48);
- e) la hauteur totale de la digue, une fois la tourbe tassée, ne doit pas être supérieure à 40–50 cm; pour la détermination de la hauteur de la digue lors de la construction, il faut cependant compter avec un tassement d'une dizaine de cm dans les premières années et donc construire la digue 10 cm plus haut que la hauteur définitive souhaitée; le sommet de la digue est en principe aplani et ses bords talutés en pente de rapport 1:1 à 1:2;
- f) l'altitude relative du sommet de la digue doit être contrôlée à intervalle régulier (par exemple tous les mètres) à l'aide du niveau à laser; une altitude inférieure à celle du trop-plein donnerait lieu inévitablement à un débordement et à une érosion de la digue;

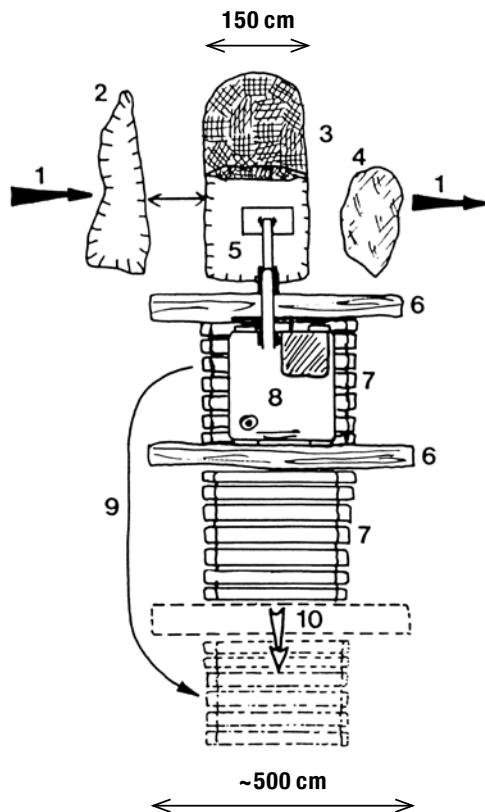


Fig. 49 Vue du chantier de dessus; 1: pente du terrain; 2: zone d'excavation de tourbe fibreuse; 3: digue; 4: dépôt de tourbe dégradée; 5: tranchée décapée; 6: poutre de stabilisation; 7: tapis de rondins; 8: rétropelleteuse; 9: rayon d'action pour le déplacement des tapis de rondins; 10: sens du travail de la rétropelleteuse

- g) les éventuelles mottes de végétation présentes à proximité peuvent être déposées sur la digue afin d'en amorcer la recolonisation;
- h) reculer la rétropelleteuse, éventuellement en déplaçant les tapis de rondins, et répéter toute l'opération pour le tronçon suivant (fig. 49);
- i) lors de la construction de longs tronçons de digue, il est parfois nécessaire d'utiliser plusieurs morceaux de natte de coco; ces morceaux doivent être fixés les uns aux autres très solidement, de la manière suivante: réserver à cet effet environ 40 cm à chacune des extrémités des deux nattes, les apposer l'une contre l'autre puis les rouler ensemble, enfin les fixer sur la digue à l'aide de 4 pieux (fig. 50).

3. Aménagement des trop-pleins

- a) La mise en place du trop-plein est réalisée pendant la construction de la digue; à l'emplacement du futur trop-plein, diminuer la hauteur de la digue de 15 à 20 cm, en aménageant un seuil d'environ 80 cm de large; le niveau du seuil détermine la hauteur d'eau que la digue peut retenir; cette hauteur ne doit pas dépasser 40 cm (fig. 51);
- b) couper la natte de coco tissée (700 g/m²) de telle manière qu'elle atteigne le seuil du trop-plein; découper un morceau de natte de coco bouclée (1200 g/m²) de 2 × 1 m, en lui donnant une forme de croix, et le placer sur le seuil; replier la natte de coco tissée sur la natte bouclée au niveau du seuil (E, fig. 52), et fixer la natte tissée dans la tourbe en aval de la digue; on pratiquera de même pour l'autre côté du seuil; déposer quelques blocs de tourbe fibreuse sous la partie aval de la natte bouclée pour donner une pente douce à la sortie du seuil; ancrer la natte bouclée des deux côtés à l'aide de pieux (coupes A–B et C–D) (fig. 52 à 54);

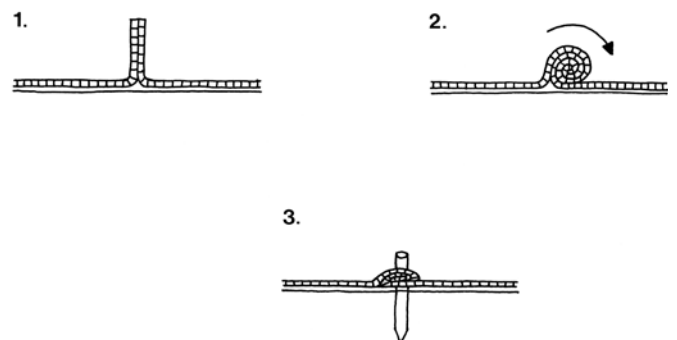


Fig. 50 Raccordement des nattes de coco

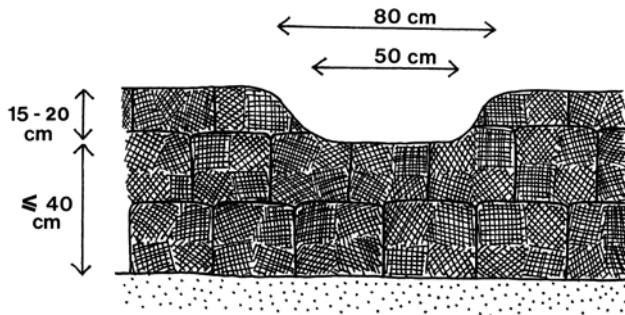


Fig. 51 Coupe longitudinale de la digue de tourbe avec découpe du futur trop-plein

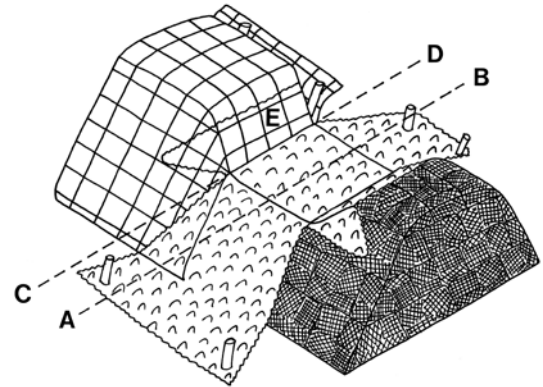


Fig. 52 Poses des nattes de coco; coupes transversales A-B et C-D: voir fig. 53 et 54

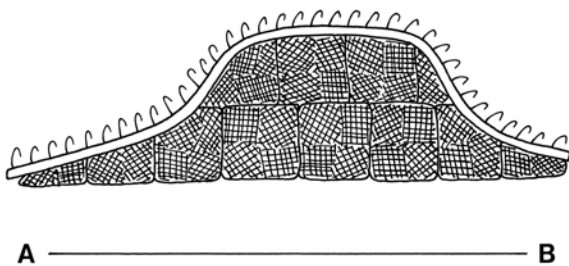


Fig. 53 Coupe transversale A-B de la fig. 52

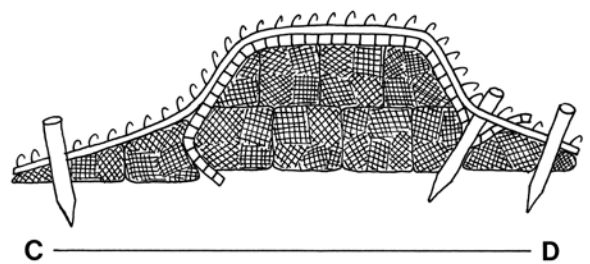


Fig. 54 Coupe transversale C-D de la fig. 52

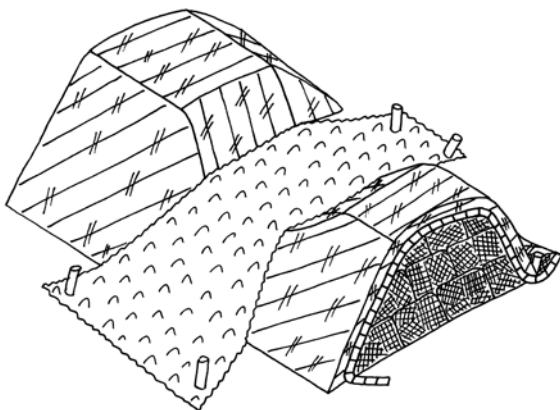


Fig. 55 Trop-plein terminé



Fig. 56 Trop-plein aménagé sur digue de tourbe avec natte de coco, Eggiwil (BE), réserve naturelle cantonale du Steinmösli

c) idéalement, la natte bouclée doit dépasser de 30–40 cm vers l’aval pour éviter que l’eau n’affouille la base de la digue; contrairement au reste de la digue, le seuil ne doit pas être recouvert de tourbe; les boucles de la natte emprisonnent le matériel fin et permettent de limiter l’érosion au niveau du seuil en freinant la vitesse de l’eau (fig. 55 et 56).

Végétalisation des digues

La végétalisation des digues est facultative. Elle est toutefois conseillée, afin d’éviter que des orages violents ou la fonte des neiges lessivent la tourbe et mettent à nu la natte de coco (fig. 57). L’utilisation d’*Eriophorum angustifolium*, une plante stolonifère à forte vitalité, permet de stabiliser assez rapidement les ouvrages, pour autant que les conditions d’humidité soient favorables. Le procédé est le suivant (consulter également au préalable le chapitre 2.3.1):

- prélever à la pelle des mottes de linagrettes (20 × 20 cm environ) en prenant les racines; transporter les mottes entières vers la digue à stabiliser (fig. 58);
- fragmenter les mottes à la main en 5 ou 6 plants, en conservant une masse suffisante de tourbe, racines et stolons (fig. 59);
- mettre en terre les plants en les espaçant de 20 à 30 cm; les enfoncer à la main si la tourbe est suffisamment saturée en eau, ou à l’aide d’un plantoir; retasser la tourbe à la main autour du plant (fig. 60);
- le nouveau plant poussera d’autant mieux s’il est situé à proximité de l’eau, soit au pied des digues; il peut s’avérer nécessaire d’arroser les plants si une période de sécheresse prolongée fait suite à leur mise en terre.



Fig. 57 Traces d’érosion sur une digue, Eggwil (BE), réserve naturelle cantonale du Steinmösli



Fig. 58 Prélèvement d’*Eriophorum angustifolium*



Fig. 59 Séparation des plants



Fig. 60 Transplantation d’*Eriophorum angustifolium* sur les talus des digues

Une fois l'intervention terminée ...

Evaluation du succès de la mesure

- > Evaluer le fonctionnement des trop-pleins afin de déceler la présence éventuelle de fuites à colmater;
- > noter les traces d'érosion sur les digues quelques mois après les travaux; si l'érosion est très marquée, redéposer une couche de tourbe et la stabiliser à l'aide de pieds d'*Eriophorum angustifolium*;
- > noter la présence de jeunes pousses d'arbres sur les digues et les enlever avant qu'elles n'endommagent les ouvrages;
- > afin d'évaluer le succès de la végétalisation, se reporter au chapitre 2.3.1.

Suivi scientifique

La mesure proposée cherche à stabiliser le terrain en créant des structures colonisables par la flore et la faune des hauts-marais. Dès lors, il est important de mettre en place un suivi à moyen et long terme (15–20 ans).

Les points suivants doivent être évalués dans le cadre d'un suivi scientifique complet:

- > recherche de nouvelles espèces végétales caractéristiques de haut-marais ou marais de transition (*Eriophorum vaginatum*, *Eriophorum angustifolium*, etc.) et localisation sur carte avec date;
- > placettes ou transects permanents pour déceler la recolonisation de la surface par la végétation;
- > recolonisation faunistique induite, notamment dans les plans d'eau;
- > mesure régulière du niveau des digues pour évaluer le tassement naturel et anticiper tout débordement;
- > envisager d'organiser tous les 5 ans un vol pour réaliser une photographie aérienne infrarouge en fausses couleurs afin de décrire la progression de la végétation.

Canaux et fossés de drainage

3 > Retenues d'eau

Le facteur essentiel pour la restauration de conditions favorables aux plantes et animaux caractéristiques des hauts-marais est un niveau d'eau en permanence proche de la surface. Diverses techniques permettent de bloquer efficacement les anciens canaux ou fossés de drainage.

3.1 Principes généraux

Ce chapitre présente les différentes mesures permettant de contrer l'effet asséchant des systèmes de drainage à ciel ouvert dans les hauts-marais.

Définitions

Le drainage des hauts-marais se présente sous diverses formes dont les trois principales sont:

- > réseaux denses de tuyaux perforés, s'écoulant vers des collecteurs et des exutoires situés en dehors des marais; ces tuyaux sont enfouis aussi profond que possible, souvent au contact entre la tourbe et le substrat minéral;
- > rigoles et fossés creusés en surface de la masse de tourbe; leurs dimensions et leurs pentes varient passablement; l'eau est évacuée en bordure du marais ou dans des fosses de grande dimension creusées au sein même de la tourbière;
- > percement de fronts morainiques ou argileux jouant un rôle de barrage naturel; ce type de drainage s'observe régulièrement dans les tourbières des Alpes septentrionales

Les rigoles et fossés de surface sont parfois superposés aux réseaux de drainage souterrains dans les mêmes zones de haut-marais.

Quatre types de mesures peuvent être envisagés pour contrer l'effet asséchant des systèmes de drainage à ciel ouvert:

- > **barrage:** ouvrage visant à retenir l'eau s'écoulant dans une rigole de drainage ou un fossé; les barrages n'ont qu'un effet localisé sur la nappe phréatique, dans la périphérie de l'ouvrage (fig. 62 A); les débordements latéraux qu'ils occasionnent peuvent également contribuer à humidifier les surfaces avoisinantes; un plan d'eau, aménagé en amont de l'ouvrage, peut être colonisé par certaines espèces de sphaignes et offre une diversification du milieu favorable à la petite faune (coléoptères aquatiques, odonates);
- > **comblement:** colmatage d'une rigole de drainage ou d'un petit fossé à l'aide de tourbe ou de sciure; le comblement est la seule technique permettant de remonter le niveau de saturation hydrique sur l'ensemble de la surface asséchée, en annulant totalement le fonctionnement des rigoles (fig. 62 B); elle nécessite une importante quantité de tourbe



Fig. 61 Retenue d'eau aménagée sur un ancien fossé de drainage, Les Enfers (JU)

dont la qualité doit être en adéquation avec les conditions minérotophiques du site à restaurer;

- > **caisson de bois** (caisson de régulation): ouvrage visant à réguler le niveau d'eau dans les anciennes fosses de tourbage (creuses) ou les petites combes d'accumulation fermées par une masse de tourbe et présentant un seul exutoire; les caissons de régulation permettent de remonter progressivement le niveau hydrique en contrôlant la surface inondée et la dynamique de la recolonisation végétale; ces ouvrages sont particulièrement bien adaptés pour être installés dans la tourbe, idéalement au contact du substrat minéral;
- > **chambre de ciment avec vanne**: ouvrage installé dans une moraine ou un bourrelet d'argile, permettant de remonter de manière progressive et contrôlée le niveau hydrique de petites combes d'accumulation présentant un seul exutoire; pour des questions d'étanchéité, cet ouvrage n'est pas adapté pour être installé directement dans la tourbe.

Les quatre types de mesures permettent de remonter le niveau de la nappe phréatique et créent ainsi des conditions favorables à la dynamique des sphaignes.

Application

Les différentes mesures présentées ci-dessus ne s'appliquent qu'aux réseaux de drainage de surface; ils ne s'appliquent ni aux drains souterrains ni aux zones où les deux structures sont superposées. L'élimination d'un drainage profond requiert des techniques spécifiques pour lesquelles on ne bénéficie actuellement pas encore de suffisamment de recul.

3.2 Choix de la mesure

Ce chapitre doit permettre au gestionnaire de choisir la mesure appropriée en fonction des caractéristiques du réseau de drainage à supprimer. La démarche aboutissant au choix est la suivante: 1) définir l'objectif visé; 2) choisir le type de mesure (barrage, comblement, etc.) à l'aide d'une clé; 3) si des barrages sont prévus, définir le nombre et l'emplacement des ouvrages; 4) mesurer sur le terrain les caractéristiques des rigoles à l'emplacement des futurs ouvrages; 5) choisir le type de barrage approprié à l'aide d'une clé.

Introduction

Le choix d'une mesure appropriée est un sujet complexe, car il intègre un grand nombre de facteurs. La diversité des hauts-marais de Suisse empêche de proposer une marche à suivre rigide. Le but de ce chapitre est plutôt d'orienter la réflexion des gestionnaires appelés à intervenir sur des systèmes de drainage à ciel ouvert. Pour simplifier, le choix d'une méthode dépend à la fois de critères techniques (pente, hauteur d'eau à retenir) et des objectifs de protection (diversifier le milieu ou retrouver un fonctionnement de haut-marais primaire).

Objectifs

L'objectif recherché prioritairement est la restauration de conditions hydrologiques typiques d'un haut-marais dans des milieux asséchés artificiellement.

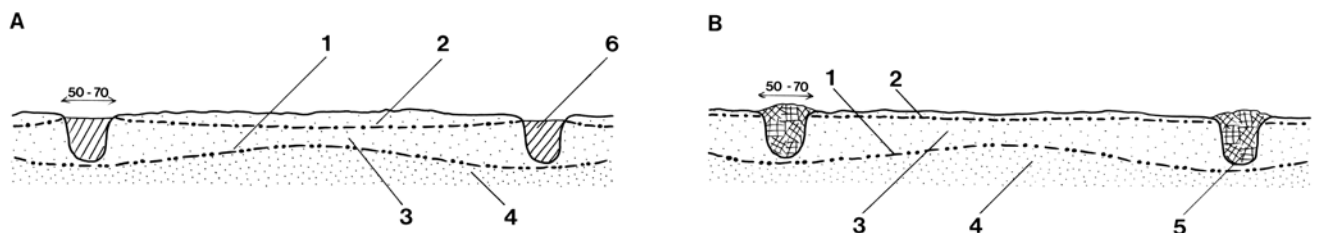


Fig. 62 Effet des barrages (A) et des comblements (B) sur le niveau de la nappe phréatique; coupes transversales; dimensions en cm; 1: niveau de la nappe phréatique avant intervention; 2: niveau de la nappe phréatique après intervention; 3: tourbe drainée; 4: tourbe intacte; 5: tourbe ou sciure tassée après comblement; 6: eau

Choix de la mesure

Le comblement d'une rigole de drainage permet de s'approcher au mieux de la restauration des conditions hydrologiques caractéristiques du haut-marais. Par contre, lorsque l'on procède par barrage des drains, sans comblement, les objectifs diffèrent selon la pente du terrain (fig. 63):

- A) la **restauration** est possible en priorité sur des terrains plats (pente < 1 %); elle cherche à rétablir la fonctionnalité du haut-marais en remontant la nappe au niveau de la surface, afin de recréer des conditions optimales pour la croissance des sphaignes; la meilleure manière d'y parvenir consiste à combler les rigoles à l'aide de tourbe; la construction de barrages permet également de remplir cet objectif, à condition de construire des barrages très rapprochés les uns des autres;
- B) sur des terrains en pente moyenne (1 à 2 %), l'effet des retenues d'eau est limité par le drainage naturel de la surface; une restauration n'est guère envisageable; il est néanmoins possible de **réhumidifier** le milieu, c'est-à-dire de remonter partiellement le niveau de la nappe sans pour autant influencer de manière optimale la dynamique des sphaignes; le comblement est la technique la plus fiable, le nombre de barrages à construire pour atteindre le même objectif s'avérant le plus souvent trop élevé;
- C) la construction de barrages espacés, notamment sur des terrains en forte pente (> 2 %), ne permet ni de restaurer ni de réhumidifier le terrain, mais peut répondre à un objectif de **diversification** uniquement, c'est-à-dire une augmentation de la disponibilité en milieux aquatiques, favorables à une recolonisation spontanée, mais seulement locale, par les sphaignes et offrant des milieux propices à la faune invertébrée aquatique.

Le comblement d'un drain ne constitue pas toujours une garantie d'arriver à une restauration complète des conditions hydrologiques du haut-marais. La pente trop forte du terrain ou la présence, même à plusieurs dizaines voire centaines de mètres, d'un ancien front d'exploitation par exemple, exercent un effet drainant sur toute la surface du marais, même si les drains ont été comblés. Le choix de la mesure à entreprendre sera ainsi déterminé de cas en cas, en fonction des objectifs, des chances de succès et des moyens à disposition.

L'objectif prioritaire est la restauration du marais. Dans certains cas, avec l'accroissement de la pente du terrain, seule une réhumidification ou une diversification du milieu est envisageable.

Nombre et emplacement des ouvrages

Dans le cas de la construction de barrages sur des structures linéaires (rigoles, fossés), le choix de leur emplacement (et par conséquent leur nombre) est un problème complexe, dépassant le cadre de cette publication. Il est nécessaire de faire appel à un spécialiste des marais expérimenté pour effectuer ce choix. La marche à suivre est brièvement présentée ci-dessous à titre d'information.

La pente du terrain détermine de manière prioritaire l'espacement entre les barrages: le premier ouvrage est placé à l'amont de la rigole; l'objectif étant de remonter le niveau de la nappe au maximum, le deuxième barrage sera d'autant plus rapproché du premier que la pente du terrain est élevée. Dans le cas de barrages très peu espacés, il est préférable d'opter pour un comblement de la rigole.

Si des barrages sont construits sur des rigoles parallèles, il est possible de les décaler les uns par rapport aux autres afin

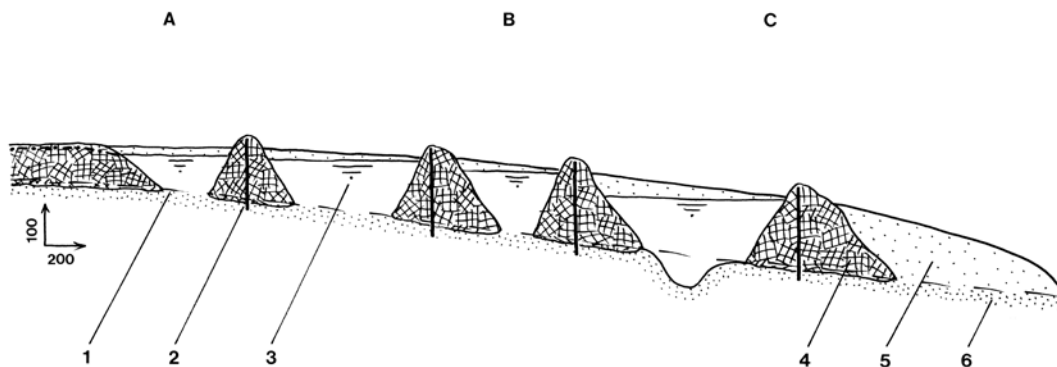


Fig. 63 Illustration des différents objectifs de gestion par barrage des drains, en relation avec la pente du terrain: coupe transversale; dimensions en cm; restauration (A), réhumidification (B) ou diversification (C); 1: fond de la rigole; 2: barrage; 3: mare; 4: tourbe tassée; 5: tourbe dégradée; 6: tourbe intacte

de réhumidifier la surface en mosaïque. Il est nécessaire de bien distinguer l'orientation des rigoles de drainage et l'orientation générale du terrain. Il n'est pas rare en effet que les rigoles ne soient pas orientées dans le sens de la pente. Dans cette situation, des débordements latéraux sont inévitables, et peuvent contribuer à réhumidifier les terrains situés en contrebas. Il est judicieux d'en tenir compte pour positionner les ouvrages (fig. 64).

Variables à mesurer sur le terrain

Pour adapter la mesure aux caractéristiques de la rigole, il est nécessaire de mesurer au préalable les variables suivantes (fig. 65): la profondeur (a) et la largeur (b) de la rigole à l'emplacement du futur ouvrage, l'épaisseur de tourbe dégradée, donc perméable, au fond (c_1) et de chaque côté (c_2) de la rigole, et la présence ou non de bois mort (kerbs) ou de racines dans la tourbe. La hauteur de la colonne d'eau à retenir est donnée par $h = a + c_1$ (hauteur d'eau maximale). Le cas échéant, en combinant cette hauteur avec la largeur du fossé ($b + 2c_2$), on peut calculer la section du drain et, en fonction de la longueur du tronçon à combler, le volume de matériel nécessaire (tourbe ou sciure).

Choix du type de barrage

L'expérience pratique montre qu'il est préférable de construire les barrages avec des moyens mécaniques (rétropelleteuse). La construction d'un barrage à la main nécessite de creuser une tranchée et de la combler à l'aide de tourbe une fois l'ouvrage installé, avec des risques importants d'infiltrations dans la tourbe déstructurée. Il faut donc être conscient que la fiabilité d'un ouvrage construit à la main est moindre.

Pour les ouvrages de petite dimension (100 cm de largeur et 50 à 70 cm de profondeur), les barrages en panneaux de bois ou métalliques représentent un bon compromis entre coût, facilité de mise en place et efficacité de la mesure (bonne étanchéité).

Lorsque les fossés sont plus larges (> 100 cm) ou plus profonds (> 70 cm de profondeur), il faut construire des palissades (chapitre 3.3.4), seules à même de garantir l'étanchéité des ouvrages à long terme.

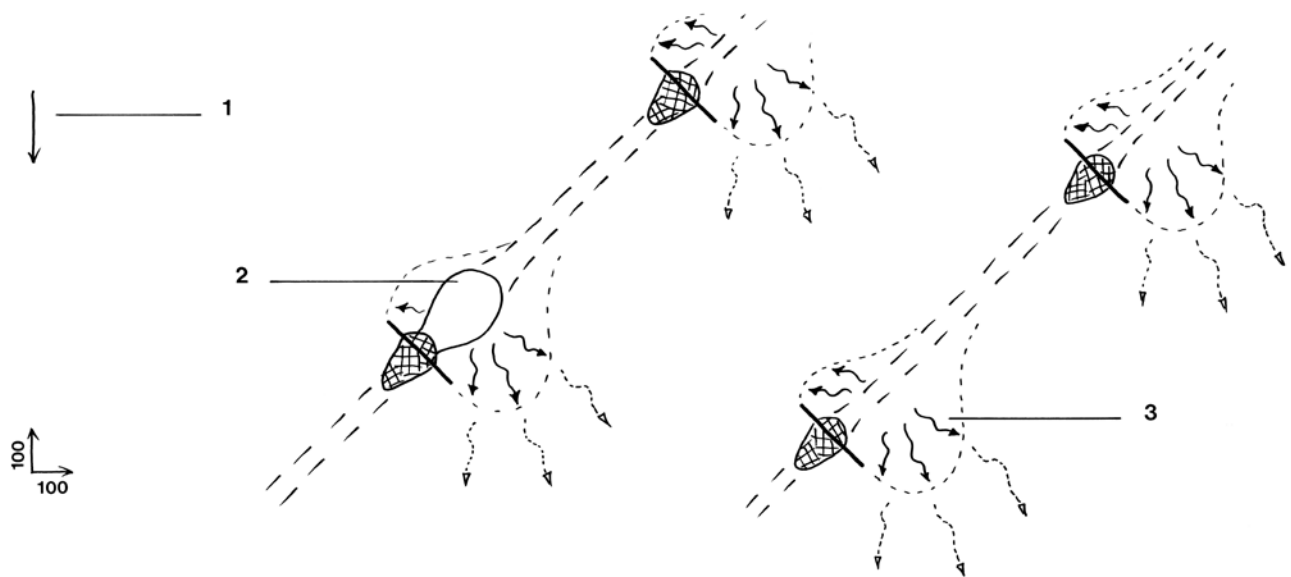


Fig. 64 Exemple de positionnement de barrages sur des rigoles dont l'orientation diffère de celle du terrain (vue de dessus); les barrages et leur zone d'influence sont décalés d'une rigole à l'autre, de même que les débordements latéraux; 1: sens de la pente du terrain; 2: mare; 3: zone d'influence du barrage sur la nappe; flèches pleines: réhumidification maximale; flèches pointillées: réhumidification diffuse; dimensions en cm

Définitions

- | | |
|---|--|
| 1. Profondeur de la rigole: a | → La profondeur se mesure à partir de la surface du sol, sans tenir compte de la végétation. |
| 2. Largeur de la rigole: b | → Mesurer la plus grande largeur – ATTENTION aux surplombs de végétation. |
| 3. Épaisseur de tourbe dégradée: c_1 et c_2 | → Le fond et les berges des rigoles présentent souvent une tourbe dégradée non étanche, provoquant des infiltrations. À l'aide d'une tarière, évaluer l'épaisseur de la tourbe dégradée au fond et latéralement; la tourbe dégradée est partiellement minéralisée, sombre, peu fibreuse, d'aspect boueux; elle passe entre les doigts et dégage une eau noire et trouble quand on la presse; la tourbe intacte est plus claire, fibreuse, structurée en feuillets compacts; quand on la presse dans la main, l'eau est légèrement colorée, mais limpide. |
| 4. Hauteur d'eau à retenir: h | → Pour les barrages, la hauteur d'eau maximale pouvant être retenue est égale à la profondeur de la rigole (a) + l'épaisseur de tourbe dégradée (c_1) à excaver au début des travaux. |
| 5. Présence de bois morts ou de racines d'arbres: d | → Les bois morts emprisonnés dans la masse de tourbe (kerbs) posent des difficultés lors de la mise en place des barrages: l'enfoncement des panneaux de bois pousse le bois mort vers le bas et provoque des brèches dans la tourbe par lesquelles l'eau peut s'infiltrer.

→ Réaliser plusieurs sondages en profondeur à l'aide d'une tarière ou, plus simplement, d'une longue tige métallique (2–3 m) à proximité du site de travail; les bois morts et les racines bloquent la tige. |

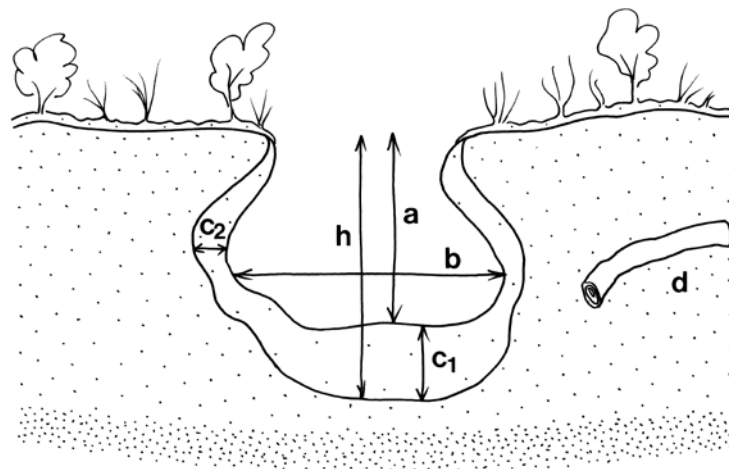


Fig. 65 Coupe transversale d'une rigole: a : profondeur; b : largeur; c_1 : épaisseur verticale de tourbe dégradée; c_2 : épaisseur latérale de tourbe dégradée; h : hauteur d'eau à retenir; d : bois morts (kerbs)

Barrages en rondins de bois: une technique fortement déconseillée

Outre les barrages en panneaux, de bois ou métalliques, ou les palissades, d'autres types de barrages ont été expérimentés en Suisse, plus particulièrement divers types de barrages en rondins de bois. La technique consiste à dresser sur une rigole des palissades de rondins, empilés les uns sur les autres ou plantés verticalement les uns contre les autres. Ces palissades, souvent doubles, permettent de retenir une certaine masse de tourbe. C'est la tourbe, et non les rondins, qui assure l'étanchéité, contrairement aux barrages en panneaux de bois. Une bâche géotextile est parfois utilisée pour renforcer l'étanchéité de l'ouvrage.

Cette technique a été régulièrement pratiquée, pour diverses raisons: utilisation de matériaux naturels dans un milieu protégé, possibilité de coupler la construction des barrages avec des mesures de gestion (coupes forestières), coûts réduits, construction manuelle envisageable, etc.

Les expériences entreprises dans divers hauts-marais suisses montrent toutefois les limites de la méthode. La tourbe n'est jamais totalement étanche, et l'utilisation d'un géotextile s'avère obligatoire. D'autre part, cette technique nécessite de creuser une large tranchée, comblée en fin de travaux avec de la tourbe tassée. Cette tourbe ainsi déstructurée est sujette à des infiltrations, sans doute à l'origine des nombreux cas de dysfonctionnement observés. Pour ces raisons, les barrages en rondins devraient progressivement être abandonnés au profit des barrages en panneaux de bois ou métalliques, ou encore des palissades, seules techniques en mesure de freiner les écoulements de manière efficace et durable.



Fig. 66 Brouette à moteur sur chenillettes pour le transport du matériel

3.3 Préparation du chantier et remise en état

Quel que soit le type de retenue d'eau envisagé (chapitres 3.3.1 à 3.3.6), un certain nombre de précautions doivent être prises lors de la préparation du chantier afin de limiter les impacts des travaux. De même, une grande attention doit être portée à la remise en état du terrain.

Préparation du chantier

Dans la phase de planification et d'exécution des travaux, il est nécessaire de tenir compte des points suivants:

A. Lors des déplacements:

La plupart des techniques de retenues d'eau proposées nécessitent de faire appel à une rétropelleuse, voire à une brouette à moteur sur chenillettes (fig. 66 et 67) pour le transport du matériel. Le déplacement de machines lourdes peut s'avérer délicat dans un milieu aussi sensible qu'un haut-marais.

Pour cette raison, il faut:

- > choisir les machines de chantier adéquates; préférer à cet effet des machines à chenillettes larges; une rétropelleuse trop lourde tendra à tasser la tourbe, alors qu'une machine de petite taille manquera de stabilité sur des terrains très détremés et peut manquer de force ou de rayon d'action; une pelleuse à godet de taille moyenne (10 à 12 tonnes), constitue un compromis idéal;
- > bien étudier les possibilités d'accès et planifier le tracé à l'avance; dans certains cas (tapis végétal très fragile, zone éloignée de toute voie de communication), il est préférable de renoncer à toute machine lourde et de se tourner vers des interventions réalisables manuellement;



Fig. 67 Rétropelleuse 10 à 12 tonnes à chenillettes

- > le machiniste doit être en possession d'un plan précis du tracé à suivre et s'y tenir;
- > le chemin d'accès doit être délimité à l'aide de bandes plastiques;
- > si des milieux très humides doivent impérativement être traversés, aménager un chemin d'accès à l'aide de petits conifères entiers (troncs et branches); une dizaine d'arbustes suffisent; les remettre progressivement devant la machine lorsque celle-ci avance; l'utilisation de tapis ou matelas (poutrelles de bois reliées entre elles à l'aide d'un câble) est aussi envisageable;
- > éviter de pivoter sur place avec la pelleuse: les chenillettes détruisent irrémédiablement les tapis de sphaignes.

L'accès au chantier par les ouvriers et le transport du matériel de construction (panneaux, tourbe, sciure) et des outils peuvent également engendrer des dégâts. Les recommandations suivantes doivent être appliquées:

- > délimiter des sentiers d'accès à l'aide de bandes plastiques de chantier, en contournant soigneusement les zones les plus sensibles au piétinement (tapis de sphaignes, surfaces inondées);
- > dans certaines situations (franchissement obligatoire de surfaces inondées par exemple), il peut s'avérer utile de construire des passerelles de planches: utiliser des planches de chantier posées sur des petits rondins ou sur des branches de conifères pour éviter le tassement et l'asphyxie de la végétation.

B. Sur les lieux d'implantation des ouvrages:

Avant la construction d'un ouvrage, il est nécessaire de préparer le terrain en excavant la couche de tourbe dégradée ou la couche superficielle recouverte de végétation. Pour éviter de



Fig. 68 Mare aménagée en amont d'un barrage, en guise de diversification des habitats

dispenser cette tourbe sur la végétation en place (risque d'eutrophisation du milieu), on déposera la tourbe et la végétation sur une bâche plastique ou un géotextile; la tourbe de bonne qualité et la végétation seront utilisées pour recouvrir l'ouvrage une fois celui-ci terminé.

C. Sur le site de prélèvement de tourbe ou d'argile

Tous les types de retenues d'eau présentés nécessitent de la tourbe de bonne qualité (tourbe fibreuse imperméable), de la sciure ou de l'argile, dans des proportions variables; le prélèvement de ce matériel *in situ* engendre inévitablement des impacts, qu'il convient de minimiser:

- > définir un lieu d'extraction adéquat de faible intérêt biologique (Küttel 1994);
- > associer la construction des barrages au creusement de plans d'eau en amont des ouvrages;
- > possibilité de diversifier le milieu en fonction des objectifs de protection définis au préalable, en créant des mares au sein du haut-marais (fig. 68).

Dans tous les cas, il faut éviter de brasser la tourbe lors du prélèvement afin de conserver sa structure naturelle en feuillet, garante d'une perméabilité minimale. On cherchera par conséquent à prélever et à mettre en place des blocs de tourbe aussi gros et aussi peu fragmentés que possible.

Remise en état du terrain

Le passage de machines lourdes entraîne des perturbations, notamment lors de comblements de grands fossés de drainage. Ce type d'intervention s'accompagne le plus souvent de la mise à nu des surfaces bordant le fossé ou la rigole, ainsi que des voies d'accès (fig. 69).



Fig. 69 Surface mise à nu par le passage répété d'engins de chantier

Un impact similaire, parfois même plus important, résulte du piétinement par les ouvriers. Dans ce cas, il est recommandé de végétaliser les surfaces endommagées pour éviter que des plantes à fort pouvoir de colonisation ne s'implantent (*Epilobium sp.*, etc.), en se référant au chapitre 2.

3.3.1 Barrages en panneaux de bois ou métalliques

La lecture de ce chapitre requiert d'avoir pris connaissance au préalable des chapitres 3.1 à 3.3. Il illustre de manière détaillée les étapes de mise en place de barrages en panneaux de bois.

Présentation de la mesure

La construction d'un barrage en panneaux de bois sur une rigole ou un fossé de drainage consiste à enfoncer dans la tourbe un panneau de bois (panneau contre-plaqué, lamellé croisé, non imprégné, ou panneau métallique), si possible jusqu'à la marne imperméable. Il est nécessaire de prélever une petite quantité de tourbe pour recouvrir l'ouvrage, idéalement juste

en amont du barrage en y aménageant une mare. La tourbe stabilise et habille l'ouvrage; seul le panneau assure l'étanchéité.

L'utilisation d'une rétropelleuse est souhaitable. Le travail peut également être réalisé manuellement, mais avec une efficacité moindre. L'étanchéité du panneau de bois stoppe tout écoulement dans la rigole. Selon la taille de la rigole à barrer, seule la construction d'une palissade (chapitre 3.3.4) permet de garantir un résultat satisfaisant.

Le schéma de la fig. 70 ci-dessous illustre un barrage construit à l'aide d'un panneau.

Objectifs

- > Retenir l'eau s'écoulant dans les rigoles de drainage et les petits fossés;
- > remonter localement le niveau de la nappe afin de recréer des conditions favorables à la dynamique des sphaignes et autres espèces caractéristiques des hauts-marais;
- > créer des plans d'eau en amont des ouvrages dans le but d'augmenter la diversité des habitats;
- > dans certains cas, favoriser la végétalisation des surfaces nues à proximité des rigoles en réhumidifiant le sol.

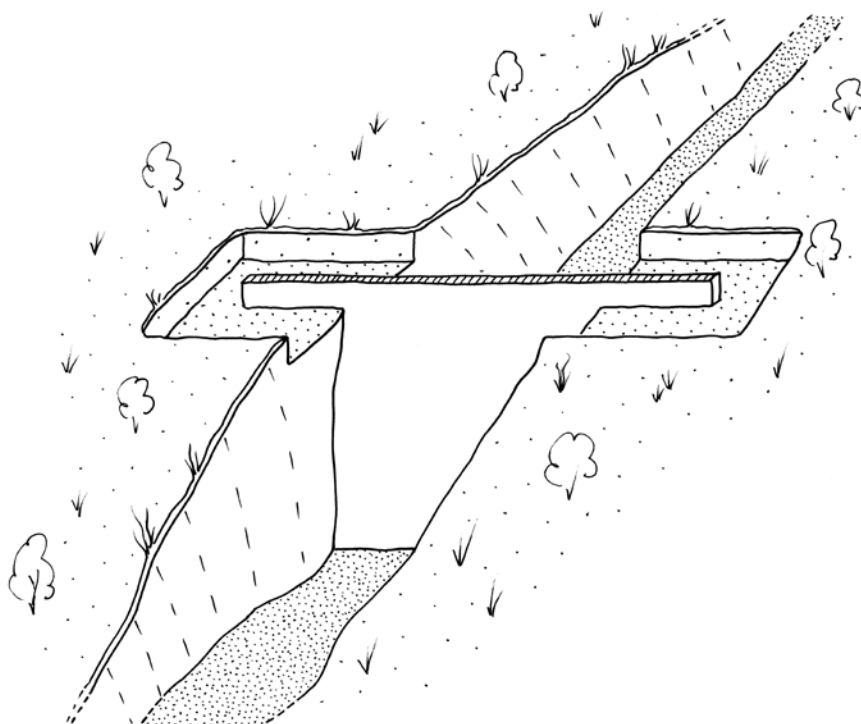


Fig. 70 Barrage composé d'un panneau de bois ou panneau métallique (avant d'être recouvert de tourbe); le panneau est enfoncé verticalement dans la tourbe intacte

Avant l'intervention ...

à quoi faut-il faire attention?

Impacts négatifs et précautions

La construction d'un barrage en panneaux de bois ou métalliques peut générer divers impacts négatifs sur le milieu, dont les plus significatifs sont les suivants:

- > dommages causés à la végétation par le piétinement des ouvriers autour de l'ouvrage et sur les chemins d'accès, et par l'utilisation d'une rétopelleuse;
- > besoin de prélever une petite quantité de tourbe pour recouvrir le barrage;
- > eutrophisation des abords du barrage par des déchets de tourbe minéralisée.

Le chapitre 3.3 donne des solutions pour limiter ces impacts. En outre, les précautions supplémentaires suivantes doivent être prises:

- > prélever la tourbe juste en amont de l'ouvrage, tout en façonnant une petite mare aux berges peu pentues, favorables à la recolonisation par les sphaignes;
- > si l'on utilise une tronçonneuse pour faciliter la mise en place des panneaux (voir procédé d'exécution), utiliser de l'huile végétale afin d'éviter toute pollution de la tourbe;
- > s'assurer de la provenance du bois constituant les panneaux; choisir du bois d'origine européenne et non tropicale.

Difficultés de mise en oeuvre et conseils d'exécution

- > La pose des panneaux à la main nécessite de creuser une tranchée, avec des problèmes d'étanchéité à la clé (risques d'infiltrations latérales); il est fortement recommandé de faire appel à une rétopelleuse;
- > la présence de bois mort (kerbs) dans la tourbe complique la pose des panneaux; dans cette situation, il est indispensable de faire une entaille à la tronçonneuse dans la tourbe pour couper les kerbs;
- > la présence d'eau au fond du drain complique la construction du barrage; dans ce cas, il est conseillé d'assécher localement le drain à l'aide d'une pompe à eau;
- > en enfonçant les panneaux à l'aide du godet d'une rétopelleuse, le risque de les briser est élevé; pour cette raison, il est nécessaire d'utiliser une traverse métallique jouant le rôle d'enclume (fig. 71); des rainures en V inversé, soudées sous la traverse, permettent de maintenir le panneau; ce dernier s'enfonce en appuyant sur la traverse avec le godet de la machine; s'il ne descend pas bien, il est nécessaire de frapper légèrement sur la traverse;
- > en cas de fortes pluies, l'eau aura tendance à déborder sur le barrage et latéralement, en érodant le talus aval; si ces débordements ne sont pas souhaités, aménager un trop-plein.

> Attention

Venir réparer et améliorer l'ouvrage peut provoquer des impacts et des coûts importants. Il est dès lors préférable de construire avec toutes les précautions nécessaires et réussir la première fois.

Fiabilité et sécurité

Les problèmes de fiabilité et de sécurité des barrages ne doivent pas être sous-estimés (risque de rupture de barrage, de glissement de terrain, etc.). En particulier, il est nécessaire de tenir compte de la hauteur d'eau maximale pouvant être retenue par le barrage: au delà de 0,5 m, il est recommandé de faire appel à un spécialiste de la gestion des marais ou à un ingénieur hydraulicien. La brochure «Wildbach- und Hangverbau» (Böll 1997) traite en détail des problèmes d'ingénierie touchant la construction de retenues d'eau sur des petits cours d'eau (voir bibliographie).

D'autre part, les infiltrations dans le sous-sol sont une cause fréquente de dysfonctionnement, réduisant fortement la fiabilité des ouvrages. Les risques d'infiltration sont particulièrement élevés sur des marnes graveleuses perméables. Dans ce cas, il est préférable d'opter pour un comblement (chapitre 3.3.2).

Combinaison de mesures

- > Si la surface bordant la rigole est dénudée, il est recommandé de combiner la construction de barrages avec une végétalisation de cette surface, sans quoi les sphaignes auront de la peine à se réimplanter (voir contributions au chapitre 2); la régénération peut toutefois s'initier directement dans la rigole de manière naturelle;
- > l'aménagement d'un plan d'eau en amont du barrage permet de satisfaire les besoins en tourbe nécessaire pour la construction et augmente la diversité des milieux;



Fig. 71 Traverse en métal

- > pour une restauration aussi complète que possible des conditions hydrologiques, procéder à un comblement du drain selon le chapitre 3.3.2.

Paramètres techniques

- > Pour permettre à l'équipe de construction d'exécuter correctement le travail planifié, un plan du réseau des rigoles doit être dressé (chapitre 1.4.3) avec les accès et la position des barrages à construire; le type d'ouvrage à réaliser (barrage simple ou double, composé d'un panneau ou d'une palissade) doit être précisé sur ce plan; l'emplacement des barrages doit être signalé sur le terrain à l'aide de piquets;
- > évaluer les accès pour les machines et le matériel ainsi que l'organisation de la place de chantier (chapitre 3.3);
- > calculer le nombre de panneaux nécessaires.

Période d'exécution

La période idéale s'étale d'août à octobre, période généralement assez sèche; il faut éviter de travailler en période hivernale, quand le sol est gelé, la tourbe étant alors impossible à manipuler et les ouvrages risquant de se déformer. D'autre part, une forte humidité complique singulièrement les travaux et augmente l'impact des machines; des travaux printaniers ne sont donc pas recommandés.

Équipement

Outillage: tige en métal de 1,5 m, masse de nylon; pelles, pioches, brouette.

Machines: rétropelleuse, scie circulaire et guide de coupe, perceuse-visseuse, génératrice, tronçonneuse à plateau long (130 cm), éventuellement pompe à eau, éventuellement brouette à moteur pour transporter les panneaux.

Autre matériel: traverse en métal avec rainure, bâche en géotextile ou plastique, bottes, gants de jardinier, roulotte de chantier (à placer en dehors du marais).

Matériel de construction

- > Panneaux de bois (panneaux contre-plaqués, lamellés croisés, non imprégnés, de provenance européenne); dimension standard d'un panneau dans le commerce: 250 cm × 125 cm; 2,5 cm d'épaisseur; ou panneau métallique: 270 cm × 130 cm et 6 mm d'épaisseur;
- > éventuellement planchettes de bois, colle à bois expansive hydrofuge et vis pour le trop-plein.

Main d'œuvre

- > Le transport des panneaux ne requiert pas d'expérience particulière; compter 4 à 5 personnes pour réaliser ces travaux;

- > pour la pose des panneaux à l'aide d'une rétropelleuse, deux personnes suffisent: le machiniste et un aide; le travail en tourbière à l'aide d'une rétropelleuse est délicat; il est donc nécessaire que le machiniste possède une bonne expérience dans le domaine des travaux de terrassement;
- > pour la pose manuelle des panneaux, 3 personnes suffisent; un travail consciencieux de tassement de la tourbe est nécessaire.

Encadrement

L'encadrement varie en fonction de l'expérience des praticiens. Il est à mener par le gestionnaire afin de définir et d'orienter les petites adaptations liées aux spécificités locales. L'expérience montre qu'en ouvrant un chantier pour plusieurs barrages, l'encadrement est nécessaire les premiers jours pour présenter les travaux et résoudre les petits problèmes pratiques; par la suite, un passage quotidien de 2–3 heures est suffisant.

Coûts

- > Panneau de bois: Fr. 30.–/m²;
- > fabrication de panneaux métalliques: Fr. 4700.– respectivement Fr. 5057.20 TVA incluse;
- > colle à bois expansive hydrofuge, boulons, vis;
- > location de la rétropelleuse: de Fr. 120.– à Fr. 200.–/heure, salaire du machiniste compris, sans compter le transport;
- > location éventuelle de différentes machines: tronçonneuse à long plateau, scie circulaire, perceuse-visseuse, génératrice, pompe, brouette à moteur;
- > salaire des ouvriers;
- > honoraires pour l'encadrement et la direction du chantier.

Procédé d'exécution

Généralités

Dans le commerce, la dimension standard d'un panneau de bois est de 250 cm × 125 cm. L'usage de panneaux plus grands ou l'assemblage de panneaux, verticalement ou latéralement, ne sont pas à recommander. De tels ouvrages finissent en effet par céder, au bout de quelques années, à la pression de la masse de tourbe et d'eau et par se déformer. Leur étanchéité n'est alors plus garantie. Il en va de même des palissades construites à l'aide d'éléments plastiques, PVC etc.

Le panneau doit être fixé latéralement et en profondeur dans 60 cm de tourbe intacte au moins (30 cm dans la marne) pour éviter les infiltrations sur les côtés ou sous le barrage. Pour un panneau, la surface utilisable pour retenir l'eau se réduit ainsi à 130 cm sur 60–70 cm (fig. 72). Cette surface

comprend à la fois la profondeur a et la largeur b de la rigole, ainsi que l'épaisseur c_1 et c_2 de tourbe dégradée très perméable (voir schéma chapitre 3.2, p. 53). La surface utilisable théorique correspond à $b + 2c_2$ (largeur) sur $a + c_1$ (hauteur). Si les dimensions de la rigole et de la tourbe dégradée dépassent l'une ou l'autre de ces deux valeurs, il faut envisager de barrer le drain à l'aide d'une palissade (chapitre 3.3.4).

Variante type: barrage simple composé d'un panneau

1. Mise en place à l'aide d'une rétopelleuse

Pour la préparation du chantier, consulter au préalable le chapitre 3.3. Voir également les vues d'ensemble en pages 61 et 63.

- Dégager une tranchée superficielle à l'emplacement du futur ouvrage, en fonction de la taille des panneaux, en prélevant à la rétopelleuse des mottes de végétation; excaver le fond de la rigole et les parois latérales pour enlever la tourbe dégradée, afin d'assurer un bon contact avec la tourbe tassée en fin de travail; réserver les mottes et la tourbe dégradée sur une bâche plastique ou un géotextile pour la végétalisation finale (fig. 73);
- sonder le long de la tranchée à l'aide de la tige de métal pour définir la présence de bois mort; à l'aide de la tronçonneuse, creuser une fente dans la masse de tourbe, perpendiculairement à la rigole et aussi profondément que possible, en respectant la dimension du panneau; le plateau long (130 cm) de la tronçonneuse est très utile

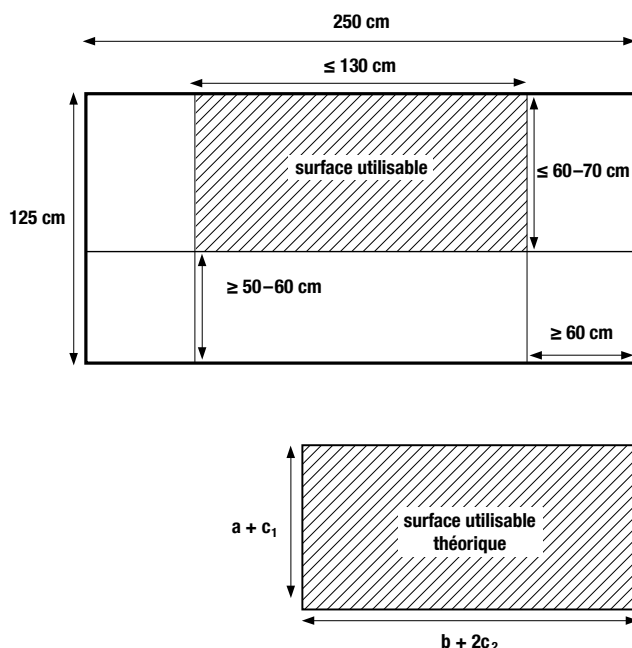


Fig. 72 Dimensions d'un panneau de bois standard et surface utilisable pour barrer une rigole; pour la définition de a , b et c , se référer à la fig. 65, page 53

Les variantes de construction suivantes peuvent être envisagées:

- si $a + c_1 < 50$ cm: barrage simple
- si $a + c_1 > 50$ cm: barrage double

pour couper des kerbs éventuels sans créer une tranchée large et détruire la structure étanche en feuillets horizontaux de la tourbe (fig. 74);

- dresser le panneau sur la fente et placer la traverse métallique; enfoncer le panneau en appuyant avec le bras de la rétopelleuse sur la traverse; parfois, il faut un peu frapper si la planche ne descend pas bien; maintenir le sommet du panneau hors du sol à la hauteur choisie pour l'ouvrage; enlever la traverse (fig. 75);
- aménager un talus de tourbe en amont et en aval du panneau; la rétopelleuse permet de bien tasser la tourbe pour éviter les infiltrations et rigidifier le barrage; l'idéal est de prélever cette tourbe en amont du barrage, sur les berges, une fois la végétation vivante extraite et réservée sur la bâche; une petite mare est ainsi aménagée; façonner des berges en pente faible pour favoriser la recolonisation par la végétation; la tourbe dégradée excavée au début des travaux est utilisable pour l'aménagement du talus aval (fig. 76);
- si le risque de débordement est élevé, rehausser le barrage de façon à ce que l'eau excédentaire s'écoule en surface de part et d'autre du barrage; pour plus de sécurité, aménager un trop-plein: découper une encoche sur le haut du panneau; fixer 3 listes de bois autour de l'encoche; coller 3 planchettes sur ces listes (fixer et visser) et construire ainsi un caniveau étanche en aval du barrage; prolonger

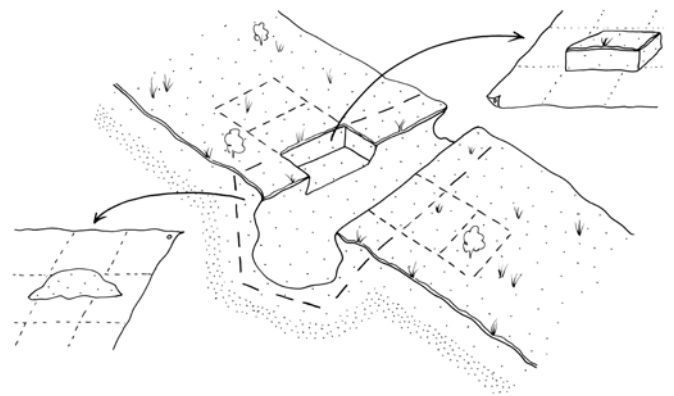


Fig. 73 Rafraîchissement des bords de la rigole et préparation de la surface avant l'enfoncement du panneau

Remarques

- > l'étanchéité du barrage est assurée par les panneaux de bois; la tourbe ne fait que stabiliser le panneau et «habiller» l'ouvrage pour protéger le bois de la décomposition et pour permettre une recolonisation par la végétation
- > pour stopper totalement l'écoulement dans une rigole, plusieurs ouvrages indépendants doivent très souvent être réalisés

ce trop-plein le long du talus aval jusqu'au fond de la rigole; ce trop-plein n'est censé fonctionner qu'en cas de catastrophe (précipitations extrêmes) et assurer un écoulement, sans érosion du talus de tourbe (fig. 77);

- f) recouvrir l'ouvrage avec les mottes de végétation mises de côté; si nécessaire, végétaliser les surfaces de tourbe nue en se référant au chapitre 2 (fig. 78).

2. Mise en place à la main

- a) Tailler les berges pour enlever la couche de tourbe dégradée; creuser une tranchée perpendiculaire à la rigole en fonction de la taille du panneau; déposer la tourbe sur une bâche plastique ou un géotextile; installer le panneau dans la tranchée (fig. 73);
- b) combler la tranchée à l'aide de la tourbe; bien la tasser pour limiter les risques d'infiltrations latérales et sous le panneau;
- c) procéder ensuite comme décrit pour la variante type, points d) à f).

Une fois la construction du barrage terminée, consulter le chapitre 3.3 pour la remise en état du terrain.



Fig. 74 Incision de la tourbe et sciage, à l'aide d'une tronçonneuse à long plateau, des bois enterrés

Variante: barrage double composé de deux panneaux indépendants

Si la hauteur d'eau à retenir dépasse 50 cm, il est important de mettre en place un barrage plus épais. Pour ce faire, il suffit de procéder à la mise en place de deux panneaux parallèles l'un à l'autre. Leur espacement est de 3 à 4 m pour 1 m de hauteur de barrage. La portion de rigole entre les 2 panneaux est remplie de tourbe tassée ou d'argile.

- a) Dégager la végétation à l'emplacement du futur ouvrage sur 4 mètres de long environ, en prélevant à la rétropelleuse ou à la main des mottes de végétation; réserver ces mottes sur une bâche plastique ou un géotextile pour la végétalisation finale; retailler soigneusement les berges et réserver la couche de tourbe dégradée, boueuse, sur la bâche (fig. 80);
- b) commencer par l'ouvrage aval; construire un premier barrage comme décrit pour le barrage type, sans aménager de mare en amont;
- c) à 3–4 m en amont du premier ouvrage, construire un deuxième barrage sur le modèle du premier;
- d) combler l'espace entre les deux ouvrages à l'aide de tourbe ou d'argile, en se référant au chapitre 3.3.2, page 64; prélever la tourbe ou l'argile en amont de l'ouvrage en y aménageant une mare aux pentes douces; aménager un talus de tourbe en aval de l'ouvrage; on peut aussi planter des pieux, au contact direct des panneaux du côté aval, pour renforcer la stabilité de l'ouvrage (fig. 82);
- e) si le risque de débordement est élevé, rehausser le barrage de façon à ce que l'eau excédentaire s'écoule en surface de part et d'autre du barrage et aménager un trop-plein en bois, conduisant l'eau du panneau amont vers le panneau aval avant de suivre le talus jusqu'au fond de la rigole (voir étape e) de la variante type, (fig. 81);



Fig. 75 Enfoncement du panneau à l'aide de la rétropelleuse et d'un profil métallique

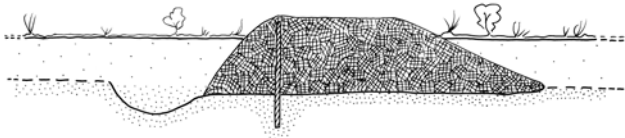


Fig. 76 Coupe longitudinale du barrage avec le panneau enfoncé recouvert de tourbe (côté aval à droite)

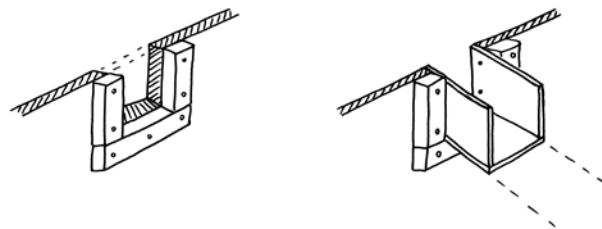


Fig. 77 Principes de construction d'un trop-plein de sécurité en bois

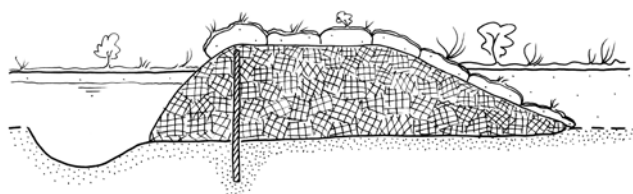


Fig. 78 Coupe longitudinale du barrage recouvert des mottes mises de côté au préalable

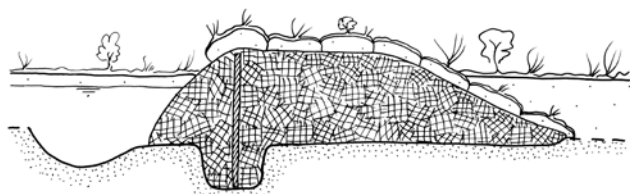


Fig. 79 Comme fig. 78. Noter le fait que le panneau, au lieu d'être enfoncé dans la tourbe intacte, est posé dans une tranchée creusée sur toute la hauteur puis comblée avec de la tourbe

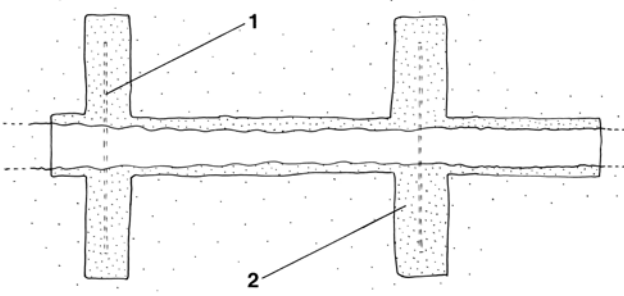


Fig. 80 Barrage à double panneau, situation; 1: Emplacement de l'ouvrage amont; 2: emplacement de l'ouvrage aval

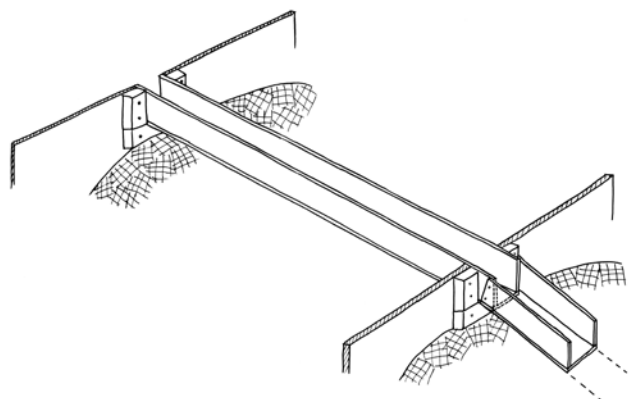


Fig. 81 Trop-plein de sécurité sur barrage à double panneau

f) recouvrir l'ouvrage et les talus avec les mottes de végétation mises de côté; si nécessaire, végétaliser les surfaces de tourbe nue en se référant au chapitre 2.

Une fois l'intervention terminée ...

Evaluation du succès de la mesure

Afin d'évaluer l'efficacité d'un ouvrage, les éléments suivants devraient être relevés (premier contrôle à effectuer suite aux travaux, dès la première chute de pluie, puis par la suite une fois par année lors d'un passage de routine):

- > étanchéité du barrage: mesurer la différence de niveau d'eau en amont et en aval de l'ouvrage; si les niveaux sont semblables, il y a probablement des fuites rendant l'ouvrage inefficace; il est alors possible de combler la rigole sur quelques mètres à l'aide de tourbe de bonne qualité juste en amont du barrage (chapitre 3.3.2);
- > noter la présence de signes d'érosion provoquée par des débordements latéraux; si l'érosion est forte, aménager un trop-plein (voir procédé d'exécution);
- > noter les signes de recolonisation par la végétation (sphaignes, linaigrettes, etc.), en amont du barrage et sur ses abords.

Pour chaque ouvrage, il est recommandé d'inscrire sur une fiche les données suivantes: données techniques (type d'ouvrage, date de construction, dimensions) et suivi annuel (étanchéité, érosion latérale, signes de recolonisation).

Un barrage bien réalisé doit fonctionner sans problème plus de 50 ans.

Suivi scientifique

La mise en place de la mesure peut s'accompagner d'un suivi scientifique à moyen et long terme, afin de mieux caractériser l'évolution du milieu et, si nécessaire, de corriger les problèmes survenant après plusieurs années. Selon le type de suivi projeté, il peut s'avérer judicieux de mandater un bureau spécialisé. Les principaux aspects à prendre en considération sont:

- > le relevé régulier de carrés permanents pour évaluer la recolonisation par les sphaignes sur le pourtour de l'ouvrage;
- > la recolonisation du plan d'eau en amont du barrage par la faune (notamment par les coléoptères aquatiques et les odonates);
- > la mesure du niveau de la nappe par des piézomètres ou des tensiomètres, le long du drain en amont et en aval du barrage, pour constater une élévation de la nappe; les appareils doivent être installés au moins 2 années avant la construction du barrage pour avoir des données comparatives.

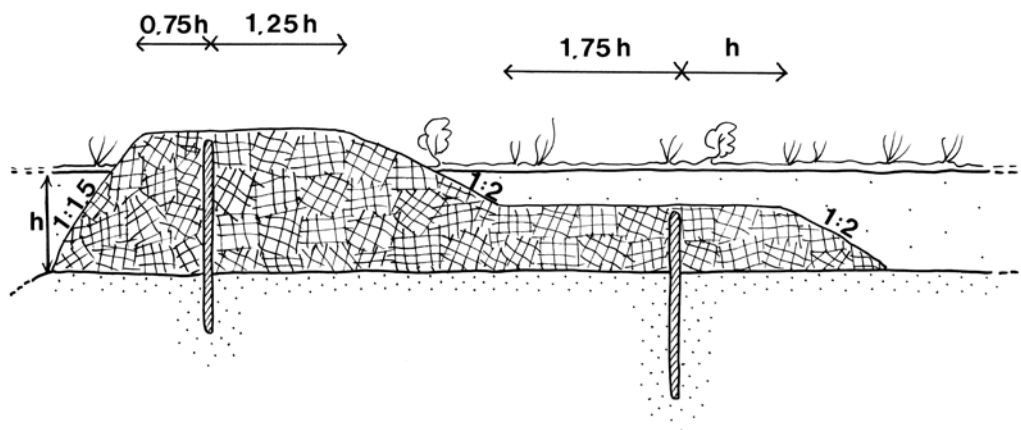


Fig. 82 Dimensions standards d'un barrage à double panneau; coupe longitudinale, d'après Eigner & Schmatzler (1991), p. 99

Vues d'ensemble

(variante type: barrage simple composé d'un panneau, hauteur d'eau à retenir = 50 cm)

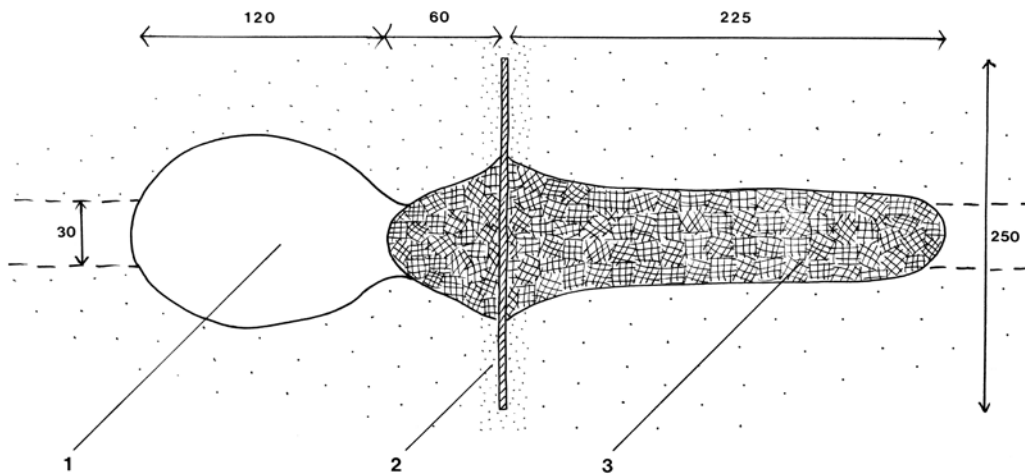


Fig. 83 Barrage simple, situation;

1: mare; 2: panneau de bois; 3: tourbe tassée (dimensions en cm)

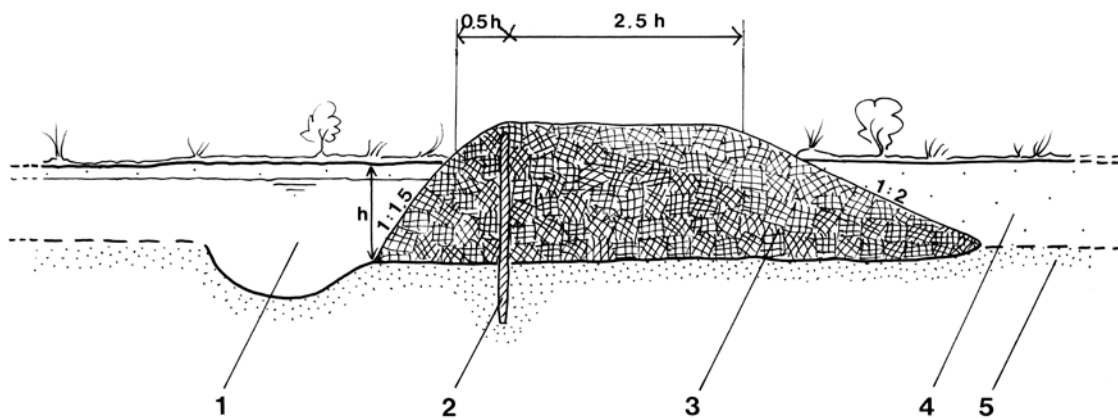


Fig. 84 Barrage simple, coupe longitudinale;

1: mare; 2: panneau de bois; 3: tourbe tassée; 4: rigole; 5: fond de la rigole; h : hauteur d'eau à retenir

3.3.2 Barrages et comblement d'une rigole ou d'un fossé au moyen de tourbe

La lecture de ce chapitre requiert d'avoir pris connaissance au préalable des chapitres 3.1 à 3.3.1. Il illustre de manière détaillée les étapes requises pour le comblement d'une rigole de drainage creusée dans la tourbe d'un haut-marais.

Présentation de la mesure

Le comblement d'une rigole (ou d'un petit fossé de drainage) consiste, en plus de la construction de barrages à intervalles réguliers, à remplir cette structure à l'aide de tourbe, puis de la tasser pour bien la faire adhérer à la tourbe en place (fig. 85). Le présent chapitre constitue par conséquent un complément aux chapitres 3.3.1, 3.3.3 et 3.3.4 dont il est indissociable. Dans certaines situations, l'argile peut remplacer partiellement la tourbe. Le comblement permet ainsi d'annuler l'effet asséchant de la rigole, tout en reconstituant une nappe phréatique d'un seul tenant. Pour une bonne efficacité, cette mesure nécessite de faire appel à des moyens mécaniques pour le transport et le tassement de la tourbe (ou de l'argile).

Lorsque les conditions hydrologiques sont bien restaurées, la tourbe nue est rapidement recolonisée par les sphaignes et autres plantes de haut-marais. Dans le meilleur des cas, il y a formation de petites gouilles typiques du complexe végétal du centre de la tourbière (*Sphagnetum magellanicum*). Si la végétation peine à repousser, il faut envisager une végétalisation des surfaces nues (chapitre 2).

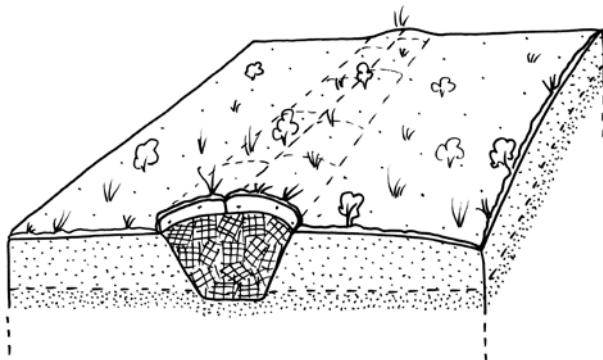


Fig. 85 Rigole comblée par une masse de tourbe tassée

Objectifs

- > Supprimer l'effet drainant des rigoles et des petits fossés en reconstituant la topographie du sol tourbeux; ainsi, le sol peut se saturer en eau sur toute la surface du marais;
- > retenir l'eau s'écoulant dans les rigoles et fossés pentus (> 2%); dans ces situations, les barrages ne peuvent assurer totalement l'étanchéité;
- > augmenter l'efficacité des barrages en milieu faiblement pentu (1 à 2%) par un comblement en amont, d'où une diminution de la perméabilité du sol et de la pression de l'eau; de plus, le barrage retient la tourbe tassée en limitant les risques d'érosion.

Avant l'intervention ...

à quoi faut-il faire attention?

Impacts négatifs et précautions

Le comblement d'une rigole peut générer divers impacts négatifs sur le milieu, dont les plus significatifs sont les suivants:

- > tassement du sol et destruction des sphaignes et de la végétation à proximité du chantier et sur le parcours du transport; l'utilisation de machines (rétropelleuse et brouette à moteur) cause moins d'impacts qu'un travail à la main, nécessitant de très nombreux déplacements et provoquant des piétinements importants;
- > eutrophisation des abords de la rigole par des déchets de tourbe minéralisée;
- > suppression de milieux secondaires ombragés et froids, abritant une faune et une flore diversifiée; cet aspect est à évaluer et à admettre dans les objectifs de la mesure.

Le chapitre 3.3 donne des solutions pour limiter ces impacts.

Difficultés de mise en oeuvre et conseils d'exécution

- > La principale difficulté de mise en oeuvre réside dans le tassement efficace de la tourbe; la tourbe importée doit être intégrée aux parois de la rigole et à son fond afin de recréer des conditions physiques homogènes entre la rigole comblée et ses berges; une tourbe mal tassée ne stoppe pas le ruissellement dans la rigole;
- > l'eau qui coule ou stagne au fond de la rigole complique le chantier car il est difficile de bien préparer les berges et le fond, puis d'y tasser la tourbe; il faut alors pomper cette eau;
- > s'il n'est pas possible de collecter suffisamment de tourbe pour colmater l'ensemble du drain, commencer par remblayer la partie amont puis continuer vers l'aval; ce comblement doit obligatoirement être couplé avec la construction d'un ou plusieurs barrages pour renforcer l'étanchéité et assurer la stabilité de la tourbe ainsi déposée;

- > si la tourbe utilisée pour le comblement est de mauvaise qualité, le colmatage a toutes les chances de s'avérer inefficace à la suite d'infiltrations;
- > le transport manuel (brouette) de grosses quantités de tourbe est très fastidieux; de même, le tassement à l'aide des pieds n'a qu'une efficacité très limitée; l'usage d'une rétropelleuse permet de bien contourner ces problèmes et s'avère donc incontournable.

Fiabilité et sécurité

Les problèmes de fiabilité et de sécurité ne doivent pas être sous-estimés, notamment le risque de glissement de terrain une fois la rigole comblée. Un événement particulier de fortes précipitations peut provoquer un flux d'eau temporairement et subitement très important, qui pourrait emporter toute la tourbe déposée dans le drain. C'est pourquoi il est indispensable de procéder à la construction de barrages selon les chapitres 3.3.1 ou 3.3.3, ou, pour les fossés plus larges, à l'aménagement de palissades selon le chapitre 3.3.4.

La qualité de la tourbe, plus ou moins fibreuse, et l'efficacité du tassement (tourbe plus ou moins jointée à la tourbe en place) jouent également un rôle important.

En cas de doute, il est recommandé de faire appel à un ingénieur hydraulicien.

Combinaison de mesures

Le comblement doit être associé à la construction de barrages (problèmes de solidité, risques d'infiltrations); se référer aux chapitres 3.3.1, 3.3.3 ou 3.3.4.

Paramètres techniques

- > Estimer le volume de la rigole à combler pour connaître les besoins en tourbe;
- > pratiquer des sondages à proximité pour évaluer tant la quantité (profondeur) que la qualité de tourbe à disposition (tourbe rousse compacte et fibreuse, malléable); une tourbe peu fibreuse, d'aspect boueux, ne se laisse pas tasser;
- > choisir un lieu de prélèvement de la tourbe sur la base d'un plan de gestion ou en accord avec le gestionnaire (voir aussi encart sur la bourse de la tourbe), en tenant compte de:
 - 1) la qualité de la tourbe disponible (utiliser de la tourbe rousse, peu dégradée),
 - 2) l'accessibilité du milieu pour les machines,
 - 3) le mode de transport, en fonction de la quantité utilisée et de l'éloignement du lieu de prélèvement,
- > dans le cas d'utilisation d'argile (voir procédé d'exécution: Remarque), estimer le volume d'argile nécessaire ainsi qu'un lieu de prélèvement adéquat;
- > préciser l'accès pour la rétropelleuse (fossés à franchir, murs de tourbage, etc.) en se référant au chapitre 3.4.

Une bourse fournit de la tourbe aux projets de régénération

Il arrive que des travaux d'excavation mettent au jour de la tourbe à l'extérieur des marais. En général, cette tourbe aboutit dans une décharge, où elle n'est guère appréciée en tant que matériau non solide et purement organique, et où elle occasionne des coûts. Depuis 2006, une bourse offre à la tourbe une possibilité de recyclage judicieux, en l'affectant à la régénération de hauts-marais et de bas-marais. Lorsque de la tourbe propre et aussi peu décomposée que possible est découverte lors de travaux d'excavation, elle peut être signalée à la bourse en question, qui vérifie si cette tourbe convient à des projets de régénération et s'efforce de la transmettre directement aux gestionnaires du marais à régénérer. A l'inverse, les projets de régénération peuvent solliciter la bourse pour obtenir de la tourbe en cas de besoin.

Contact bourse de la tourbe:

contact@beckstaubli.ch, tél. 041 / 750 24 62

Période d'exécution

La période idéale s'étale d'août à octobre, période généralement assez sèche; il faut éviter de travailler en période hivernale, quand le sol est gelé, la tourbe étant alors impossible à manipuler et les ouvrages risquant de se déformer. D'autre part, une forte humidité complique singulièrement les travaux et augmente l'impact des machines; des travaux printaniers ne sont donc pas recommandés.

Equipement

Outillage: pelles, pioches, brouettes.

Machines: brouettes à moteur, rétropelleuse, éventuellement pompe à eau.

Autre matériel: bâche plastique ou géotextile, bottes, gants de jardinier, roulotte de chantier (à placer en dehors du marais).

Matériel de construction

- > Tourbe (éventuellement argile),
- > panneaux de soutènement (en bois ou métalliques).

Main d'œuvre

- > Pas de qualification particulière requise;
- > pour un travail à la rétropelleuse et avec un transport mécanique, les machinistes et un ou deux aides suffisent;
- > pour un travail sans machine, une équipe de 10–15 personnes est optimale, en fonction de l'ampleur du travail.

Encadrement

Dans tous les cas, un encadrement régulier est requis, par une personne qui a déjà pratiqué un tel travail. Il faut que cette personne puisse attester la qualité de la tourbe utilisée, la préparation de la rigole, la mise en place et le tassement de la tourbe. Une présence permanente est indispensable.

Coûts

- > Location de la rétropelleuse: de Fr. 120.- à Fr. 200.-/ heure avec le salaire du machiniste, sans compter le transport;
- > location d'une brouette à moteur;
- > salaire des ouvriers;
- > honoraires pour la planification et la direction du chantier.

Procédé d'exécution

Pour la préparation du chantier, consulter au préalable le chapitre 3.3.

- a) Si nécessaire, vider l'eau de la rigole à l'aide d'une pompe ou barrer provisoirement la rigole à l'aide d'un panneau en bois ou métallique pour retenir les écoulements (chapitre 3.3.1);
- b) organiser le chantier en petites sections de 5 à 10 mètres de longueur afin d'achever le travail avant que la tourbe mise à nu ait le temps de se minéraliser; le travail doit débuter en amont de la rigole, puis se prolonger progressivement vers l'aval;
- c) dégager les berges de la rigole, en prélevant à la rétropelleuse des mottes de végétation; réserver cette végétation

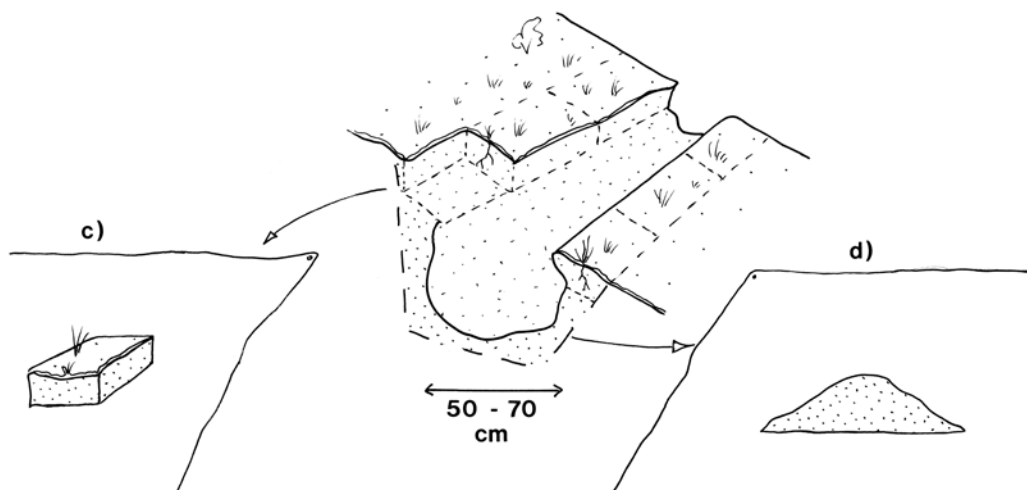
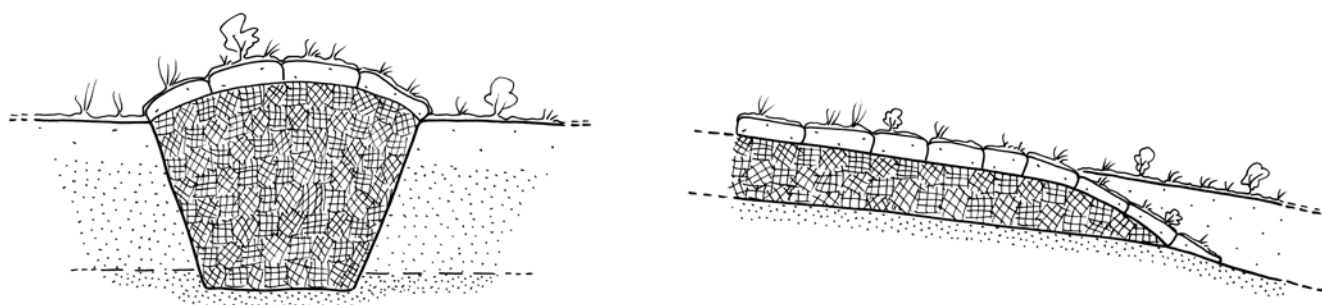


Fig. 86 *Rafraîchissement des bords de la rigole avant comblement*



A) coupe transversale

B) coupe longitudinale

Fig. 87 *Rigole comblée avec de la tourbe et recouverte des mottes mises de côté au préalable*

sur une bâche plastique ou géotextile à proximité; elle sera utilisée pour couvrir la tourbe importée, une fois la rigole comblée; déraciner les arbres colonisant les berges de la rigole (fig. 86);

- d) excaver la tourbe dégradée des berges et du fond en retaillant des pentes nettes et une base plate et entasser cette tourbe sur une bâche; ce matériel boueux, non étanche, minéralisé, doit être éliminé, si possible en dehors du marais; cette opération est très importante car elle assure que la tourbe en place et celle importée et tassée seront de qualité identique et se joindront bien pour ne former qu'une masse homogène et fibreuse saturée en eau;
- e) remplir la section de la rigole préparée avec la tourbe transportée en la tassant au fur et à mesure avec le godet de la rétropelleuse; ce travail doit être mené par piétinement s'il n'est pas possible d'utiliser une machine; selon les dimensions de la rigole, il est utile de placer des panneaux verticaux à l'aval de la section à remplir afin d'éviter que la tourbe parte latéralement lors du tassement;
- f) il est indispensable de placer un excès de tourbe et de créer un andain (30–50 cm d'épaisseur) car la tourbe va obligatoirement se tasser et diminuer de volume; l'objectif est de stabiliser un sol aussi plat que possible après le compactage; replacer les blocs de végétation sur la tourbe nue (fig. 87 A);
- g) en parallèle au tassement de la tourbe dans la première section, préparer la suite (rajeunir le profil puis placer de la bonne tourbe en vrac); ainsi, le bouchon mis en place permet de retenir la tourbe lors du tassement de la section amont;
- h) achever le comblement par un talus en pente douce couvert de végétation (fig. 87 B);
- i) s'il manque de la végétation pour couvrir l'andain de tourbe tassée, végétaliser la surface en se référant au chapitre 2.

Une fois la rigole comblée, consulter le chapitre 3.3 pour la remise en état du terrain.

> Remarque

Dans certains cas, les rigoles sont partiellement creusées dans la marne. Il est alors recommandé de combler le fond de ces rigoles (jusqu'au niveau supérieur de la couche de marne) à l'aide d'argile, puis de les recouvrir d'une couche de tourbe dépassant idéalement 50 cm de hauteur, afin de créer une couverture tourbeuse homogène saturée d'eau et d'isoler la végétation en surface de l'influence du substrat marneux.

Une fois l'intervention terminée ...

Evaluation du succès de la mesure

- > Le comblement peut être qualifié de réussi si la masse de tourbe est saturée d'eau jusqu'en surface; dès lors, il n'y a plus d'écoulement dans la rigole;
- > le tassement naturel de la tourbe importée, et donc le niveau du sol final, est un élément clé du succès; en cas de trop fort tassement, une nouvelle dépression va se former; il faut dès lors retirer provisoirement les végétaux et replacer un complément de tourbe avant une nouvelle végétalisation;
- > la reprise de la végétation déposée sur la tourbe est importante pour le succès de l'opération, car elle assure une protection contre l'érosion;
- > la végétation ne doit pas rester marquée par les passages répétés causés par le transport et la mise en place de la tourbe.

Suivi scientifique

La mise en place de la mesure peut s'accompagner d'un suivi scientifique à moyen et long terme, afin de caractériser l'évolution du milieu et, si nécessaire, de corriger les problèmes survenant après plusieurs années. Selon le type de suivi projeté, il peut s'avérer judicieux de mandater un bureau spécialisé. Les principaux aspects à prendre en considération sont:

- > le relevé régulier de carrés permanents pour suivre la recolonisation végétale (les sphaignes en particulier) et animale, tant sur la rigole comblée qu'à proximité;
- > la mesure du niveau de la nappe par des piézomètres ou des tensiomètres, placés le long de la rigole à combler, pour constater une élévation de la nappe; les appareils doivent être installés au moins 2 années avant le comblement pour avoir des données comparatives.



Fig. 88 Pose de panneaux en commençant par l'amont de la rigole



Fig. 89 Rigole barrée par des panneaux à intervalles réguliers et comblement avec de la tourbe



Fig. 90 Recouvrement des panneaux avec de la tourbe



Fig. 91 Recouvrement de la tourbe avec les mottes de végétation mises de côté au préalable



Fig. 92 Rigole comblée et recouverte de végétation, Einsiedeln (SZ), tourbières de Rothenthurm



Fig. 93 Variante: comblement de la rigole avec de la sciure («méthode zougoise»)

3.3.3 Barrages et comblement d'une rigole ou d'un fossé avec de la sciure de bois (méthode zougoise)

La lecture de ce chapitre requiert d'avoir pris connaissance au préalable des chapitres 3.1, 3.2, 3.3 et 3.3.1. Elle illustre de manière détaillée les étapes nécessaires pour rendre des fossés de drainage inactifs en combinant retenue et comblement avec de la sciure (méthode zougoise).

Présentation de la mesure

Enfoncer dans le sol à travers la couche de végétation des panneaux de bois espacés de 2 à 15 mètres selon la pente (chapitre 3.3.1). Prélever la végétation du fossé et la stocker à proximité. Sur des sols nus, ôter la couche supérieure et la stocker. Comblent les tronçons de fossé avec de la sciure jusqu'au bord supérieur, puis les couvrir avec la végétation ou le matériel mis de côté.

La sciure s'est avérée être un bon substitut pour la tourbe. Purement organique et pratiquement inerte, la sciure ne se dégrade pas en conditions mouillées, elle est légère à transporter, de forme stable, bon marché, à faible porosité et, en général, facile à trouver sur place.

Le comblement associé à la retenue permet de supprimer l'effet asséchant du fossé et de reconstituer une nappe phréatique d'un seul tenant, dont idéalement le niveau atteint la surface. Sur des terrains en pente, cette mesure permet à l'eau de s'écouler sur l'ensemble de la surface du marais. Cette méthode combinant la retenue au moyen de panneaux de bois et le comblement avec de la sciure a été développée et appliquée en premier dans le canton de Zoug; c'est pourquoi elle porte le nom de «méthode zougoise» (Staubli 2004).

Objectifs

- > Supprimer l'effet drainant des rigoles et des fossés en reconstituant la topographie d'origine;
- > retenir efficacement l'eau s'écoulant aussi par des fossés dont la pente est supérieure à 2 %;
- > retenir efficacement l'eau s'écoulant par des fossés dont les dimensions sont d'environ. 50 cm de large et 50 à 70 cm de profondeur au moyen de panneaux trouvés dans le commerce de 250 cm de large sur 125 cm de profondeur;
- > permettre à l'eau de s'écouler à nouveau sur toute la surface des marais en pente;
- > retenir l'eau aussi longtemps que possible dans le marais, ce qui doit faire remonter le niveau de la nappe phréatique et le maintenir près de la surface, si possible sans grandes variations.

Avant l'intervention ...

à quoi faut-il faire attention?

Impacts négatifs et précautions

Le comblement d'une rigole peut aussi générer des impacts négatifs sur le milieu. Les plus significatifs sont les suivants:

- > tassement du sol et destruction des sphaignes et de la végétation à proximité du chantier et sur les voies d'accès;
- > suppression de milieux secondaires ombragés, abritant une faune et une flore diversifiées; il faut évaluer cet aspect et en tenir compte dans les objectifs.

Difficultés de la mise en oeuvre et conseils d'exécution

La pose des planches peut être difficile, voire impossible, si la tourbe contient beaucoup de morceaux de bois ou de racines. On peut en établir la présence en pratiquant des sondages à l'aide d'une tarière. Le cas échéant et si possible, on déplace les panneaux. Le bois ou les racines proches de la surface peuvent être coupés dans le sol au moyen d'une tronçonneuse à plateau long.

La sciure est en général sèche lorsqu'elle est livrée, ce qui est pratique pour le transport, par contre il est alors presque impossible de la tasser. Il s'est avéré utile, après le comblement, d'attendre qu'elle se mouille ou, comme le barrage du fossé est en général déjà posé, de simplement la tasser légèrement avec une pelle ou avec les pieds, pour accélérer ce processus.

Comme la sciure n'est pas très lourde, on peut facilement la transporter avec une brouette. Les pistes de transport en planches de chantier sont tout à fait adaptées pour préserver la végétation et faciliter le travail (chapitre 2.3). Si les voies d'accès sont mauvaises, on peut aussi transporter la sciure et les autres matériaux au moyen d'un câble. Dans ce cas, on peut mettre la sciure dans un Big-Bag ou dans une grande toile.

La sciure est très sensible à l'érosion; si la couverture de tourbe et de végétation est peu épaisse, la sciure risque facilement d'être emportée par l'eau. Il faut veiller à la recouvrir entièrement avec une couche de tourbe et des plantes. Si la quantité de plantes n'est pas suffisante, on peut recouvrir la sciure avec de la litière fraîchement coupée et, le cas échéant, même avec de la paille.

Dans le cadre d'un projet pilote dans le Jura neuchâtelois, comme le transport pour enlever les arbres abattus et pour apporter les matériaux aurait été très long, le matériau de remplissage a été constitué de 50 % de sciure et de 50 % de copeaux très fins (1 à 2 cm), bien mélangés. Cela s'est avéré efficace (fig. 94).

Pour diminuer les coûts et limiter les trajets à vide des camions, il faut vérifier s'il y a un abattage dans les environs du marais pour essayer de combiner le transport des matériaux de comblement et celui pour emporter le bois.

L'exécution peut demander beaucoup de travail, ce qui entraîne des coûts élevés. L'emploi de groupes de volontaires a été efficace, le cas échéant en collaboration avec des professionnels qui effectuent au préalable les travaux avec les machines. La demande d'engagement pour des volontaires dépasse largement l'offre en chantiers.

Fiabilité et sécurité

La technique en elle-même ne présente pas de danger particulier. Toutefois, la portance des sols tourbeux et la fragilité de la végétation des marais sont souvent sous-estimées, car peu de conducteurs de machines ont déjà l'expérience de ce type particulier de sol. Il est donc important d'insister sur ces points et de signaler le risque que le sol cède. Il est recommandé de passer sur une piste en planches ou en branches et éventuellement de travailler sur un support particulier (p. ex. tapis pour rétropelleuse).

Combinaison de mesures

La méthode zougoise est une combinaison de différentes mesures (retenue et comblement de fossé). En tenant compte des conditions-cadres, il est possible de combiner d'autres techniques et matériaux, comme de la tourbe pour combler le fossé ou une palissade de madriers pour la retenue.

Paramètres techniques

- > Pour déterminer la quantité de sciure nécessaire, il faut calculer le volume à combler. Comme la sciure ne se tasse presque pas, on peut commander la quantité correspondant au volume du fossé concerné;
- > déterminer l'emplacement des barrages en panneaux de bois en tenant compte des données relevées (chapitre 1.1 et 1.2) et des sondages faits à l'aide d'une tarière;
- > évaluer l'accessibilité du terrain pour les machines ainsi que les voies d'accès;
- > déterminer l'emplacement des pistes de transport ou de la ligne de câble;
- > déterminer les synergies possibles entre d'éventuelles coupes de bois et les moyens de transport utilisés (câble, etc.).

Période d'exécution

En premier lieu, il faut tenir compte des dispositions sur la protection du site. La période souvent idéale, car généralement plus sèche, s'étale d'août à octobre. Les dégâts sur le sol sont moindres lorsqu'on travaille sur un sol légèrement gelé ou sur une fine couche de neige. Si les températures sont très basses, le travail est déconseillé, car il est alors très difficile sinon impossible de creuser ou d'enfoncer.

Équipement

Outillage: pioches, pelles, bêches.

Machines: rétropelleuse à chenilles, brouette à moteur, brouettes, éventuellement câble, pompe à eau.

Autre matériel: géotextile, Big-Bag, pièce métallique pour protéger les planches lorsqu'on les enfonce, planches de chantier.

Matériaux de construction

Sciure: relativement fine (c'est-à-dire sans copeaux ou au maximum avec 50% de copeaux d'une taille de 1 à 2 cm), feuillus ou résineux sans importance.

Matériaux de construction pour la retenue: planches en bois massif 3 couches non imprégnées. La taille couramment utilisée est 250 cm × 125 cm. Le bord inférieur est taillé en pointe à l'aide de la tronçonneuse.

Main d'oeuvre

- > Un machiniste et un aide.
- > Pas de qualification particulière requise. Toutefois, il faut informer tous les participants de la fragilité des milieux tourbeux et exiger que le travail soit fait avec précaution.
- > Un groupe de 10 à 25 personnes est optimal pour un travail effectué à la main.

Un groupe de 10 à 25 personnes est optimal pour un travail effectué à la main.

Encadrement

La direction de chantier doit être assumée par une personne ayant de l'expérience dans les projets de régénération.

Coûts (état 2008)

Chantier

- > Location rétropelleuse entre Fr. 120.– et Fr. 200.–/h (y compris salaire du machiniste, carburant, petit matériel).
- > Location brouette à moteur entre Fr. 60.– et Fr. 80.–/h (y compris salaire du machiniste, carburant, petit matériel).

Salaires des ouvriers

- > Honoraires pour planification et direction de chantier.
- > Coûts pour groupes de volontaires entre Fr. 4000.– et Fr. 5000.– par semaine.
- > Sciure Fr. 15.– à 20.–/m³.
- > Coûts pour le transport du matériel de remplissage.
- > Planches en bois massif 3 couches, 27 mm, collé Fr. 30.–/m².
- > Big-Bag (occasion, volume env. 1 m³) Fr. 5.–.
- > Câble: installation (à partir de Fr. 450.–) et location (Fr. 1500.–/jour).
- > Location planches de chantier.



Fig.94 *Mélange optimal de sciure et de copeaux très fins*



Fig.95 *Transport de la sciure à l'aide de brouettes*



Fig.96 *Transport de sciure à l'aide d'un câble-grue, Schwarzenberg (LU), tourbière de Foremoos im Eigental*

> Remarques

Suivant la topographie, on peut ne combler que partiellement certaines sections de fossé avec de la sciure ou de la tourbe, afin que des gouilles ouvertes se forment; celles-ci sont importantes pour les associations végétales d'atterrissement et pour la faune.

Procédé d'exécution

- a) Enfoncer les panneaux de bois dans le sol à travers la couche de végétation, espacés de 2 à 15 mètres suivant le terrain;
- b) si les portions de fossé sont remplies d'eau, pomper ou vider à la main;
- c) dégager les fossés. Déposer les mottes de végétation le long du fossé sur une bâche plastique ou un géotextile;
- d) excaver le fond de la rigole et les parois latérales pour enlever la tourbe dégradée et la réserver également sur une bâche ou un géotextile;
- e) remplir les tronçons préparés avec de la sciure. Laisser la sciure se mouiller en la tassant avec la machine ou avec les pieds. La sciure mouillée perd un peu de volume, il faut donc compléter le remplissage jusqu'au bord du fossé ou même un peu plus haut. Répartir de la tourbe par-dessus, puis couvrir avec les mottes de végétation réservées à cet effet.

Une fois l'intervention terminée ...**Evaluation du succès de la mesure**

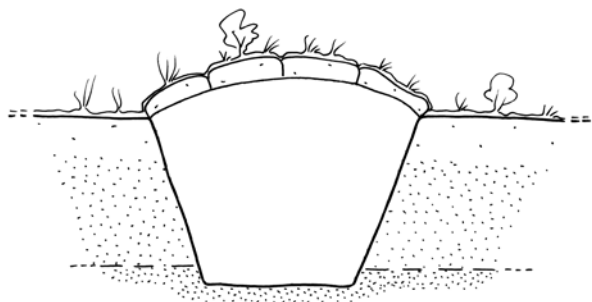
Le comblement peut être qualifié de réussi si la masse de tourbe est presque toujours saturée d'eau jusqu'en surface.

Sur une pente, le comblement peut être qualifié de réussi si l'eau s'écoule sur toute la largeur et que la masse de tourbe est presque toujours saturée d'eau jusqu'en surface.

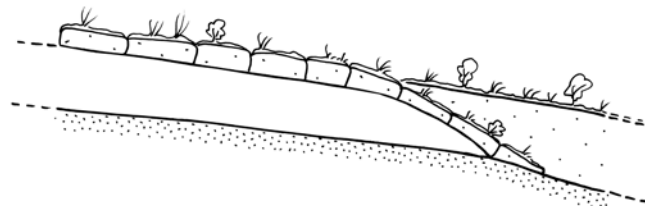
Suivi scientifique

La mise en place de la mesure doit s'accompagner d'un suivi scientifique de moyen à long terme (Habb & Jutz 2003). Cela permet de caractériser l'évolution du milieu et, si nécessaire, de corriger les problèmes qui surviennent. Il est recommandé de mandater un spécialiste pour cette tâche. Les méthodes suivantes sont adaptées:

- > mesurer le niveau de la nappe phréatique à l'aide de piézomètres ou de tensiomètres; relever des carrés permanents pour suivre le développement de la végétation.
- Dans les zones boisées, la mort des arbres indique rapidement l'efficacité de la mesure.



A) coupe transversale



B) coupe longitudinale

Fig. 97 Rigole comblée avec de la sciure et recouverte des mottes mises de côté au préalable

3.3.4 Barrages à l'aide d'une palissade de bois

La lecture de ce chapitre requiert d'avoir pris connaissance au préalable des chapitres 3.1, 3.2, 3.3 et 3.3.1. Il illustre de manière détaillée les étapes nécessaires pour rendre des fossés de drainage inactifs en construisant une retenue en madriers.

Présentation de la mesure

Pour construire une paroi en bois, on enfonce des planches à travers la végétation jusqu'au sol (Krüger 1998). Suivant le type de sol et la longueur de la planche, on peut le faire à l'aide d'une rétropelleuse ou à la main. Afin d'augmenter l'imperméabilité et d'enfoncer les planches avec plus de sûreté, celles-ci sont fabriquées rainées-crêtées (fig. 98 et 99). La partie inférieure est sciée en biseau, afin que la pression du sol pousse la planche contre la planche voisine lorsqu'on l'enfonce. Pour éviter tout déboîtement, on place horizontalement de chaque côté de la paroi une latte en guise de «pince». Durant la construction, ces pinces sont fixées à l'aide de serre-joints. Les lattes sont vissées à la fin de la construction (fig. 101 à 105, page 75).

Objectifs

- > Retenir l'eau à l'écoulement dans les marais plutôt plats, les gouilles, les fossés profonds ou larges.
- > Retenir l'eau aussi longtemps que possible dans le marais, ce qui doit faire remonter le niveau de la nappe phréatique et le maintenir près de la surface, si possible sans grandes variations.



Fig. 98 Planches taillées en biseau à une extrémité

Avant l'intervention ...

à quoi faut-il faire attention?

Impacts négatifs et précautions

Construire une retenue sur une gouille ou un fossé peut aussi avoir des effets négatifs sur le milieu. Les plus importants sont:

- > inonder et donc détruire des surfaces de marais qui peuvent héberger une faune et une flore diversifiées; il faut évaluer cet aspect et en tenir compte dans les objectifs;
- > tasser le sol et détruire les sphaignes ainsi que la végétation dans les environs immédiats du chantier et sur les voies de transport;
- > modifier négativement la qualité de l'eau, p. ex trop de substances nutritives (tenir aussi compte de l'eau provenant de surfaces avoisinantes: il vaut mieux laisser s'écouler l'eau riche en substances nutritives ou la détourner, puis construire la retenue).

Difficultés de la mise en oeuvre et conseils d'exécution

La pose des planches peut être compliquée, voire impossible, si la tourbe contient beaucoup de morceaux de bois ou de racines. On peut en établir la présence en pratiquant des sondages à l'aide d'une tarière. Le cas échéant et si possible, on déplace les panneaux. Le bois ou les racines proches de la surface peuvent être coupés dans le sol au moyen d'une tronçonneuse à plateau long.

Si le transport est difficile, on peut aussi amener les matériaux de construction au moyen d'un câble.

Fiabilité et sécurité

Avec des parois en planches, il est possible de construire des retenues larges et hautes. La pression en amont peut alors être très élevée; elle doit être diminuée en prenant les mesures



Fig. 99 Planches rainurées-crêtées

adéquates comme des ancrages latéraux et verticaux suffisants dans la tourbe, des étais horizontaux, l'implantation de la paroi dans un barrage en tourbe ou en glaise, le comblement des fossés avec de la sciure de bois, de la tourbe ou de la glaise.

Il faut veiller à poser la paroi de telle façon qu'elle soit constamment mouillée et sans apport d'oxygène, afin d'éviter tout problème lié à l'influence du climat ou à la pourriture.

Pour cela, il faut élever le niveau de l'eau et le maintenir élevé, en appliquant les mesures adéquates comme construire d'autres parois, entourer et recouvrir la paroi avec de la tourbe, combler les fossés, etc.

Si l'eau s'écoule par-dessus la couronne de la digue, il faut créer un trop-plein résistant à l'érosion (chapitre 3.3.1).

La technique en elle-même ne présente pas de danger particulier. Toutefois, la portance des sols tourbeux et la fragilité de la végétation des marais sont souvent sous-estimées, car peu de conducteurs de machines ont déjà l'expérience de ce type particulier de sol. Il est donc important d'insister sur

ces points et de signaler le risque que le sol cède. Il est recommandé de passer sur une piste en planches ou en branches et éventuellement de travailler sur un support particulier (p. ex tapis pour rétropelleuse).

Combinaison de mesures

Dans le but d'augmenter l'imperméabilité et l'étanchéité à l'air, on peut compléter la paroi en amont par une natte dans une matière minérale, non calcaire et qui gonfle avec l'eau (p. ex. natte de bentonite). Cela exige par contre que durant la construction au moins un côté de la paroi soit périodiquement au sec.

Paramètres techniques

- > Déterminer l'emplacement des barrages en panneaux de bois en tenant compte des données déjà relevées (chapitres 1.1 et 1.2) et des sondages faits à l'aide d'une tarière.
- > Evaluer l'accessibilité du terrain pour les machines ainsi que les voies d'accès.

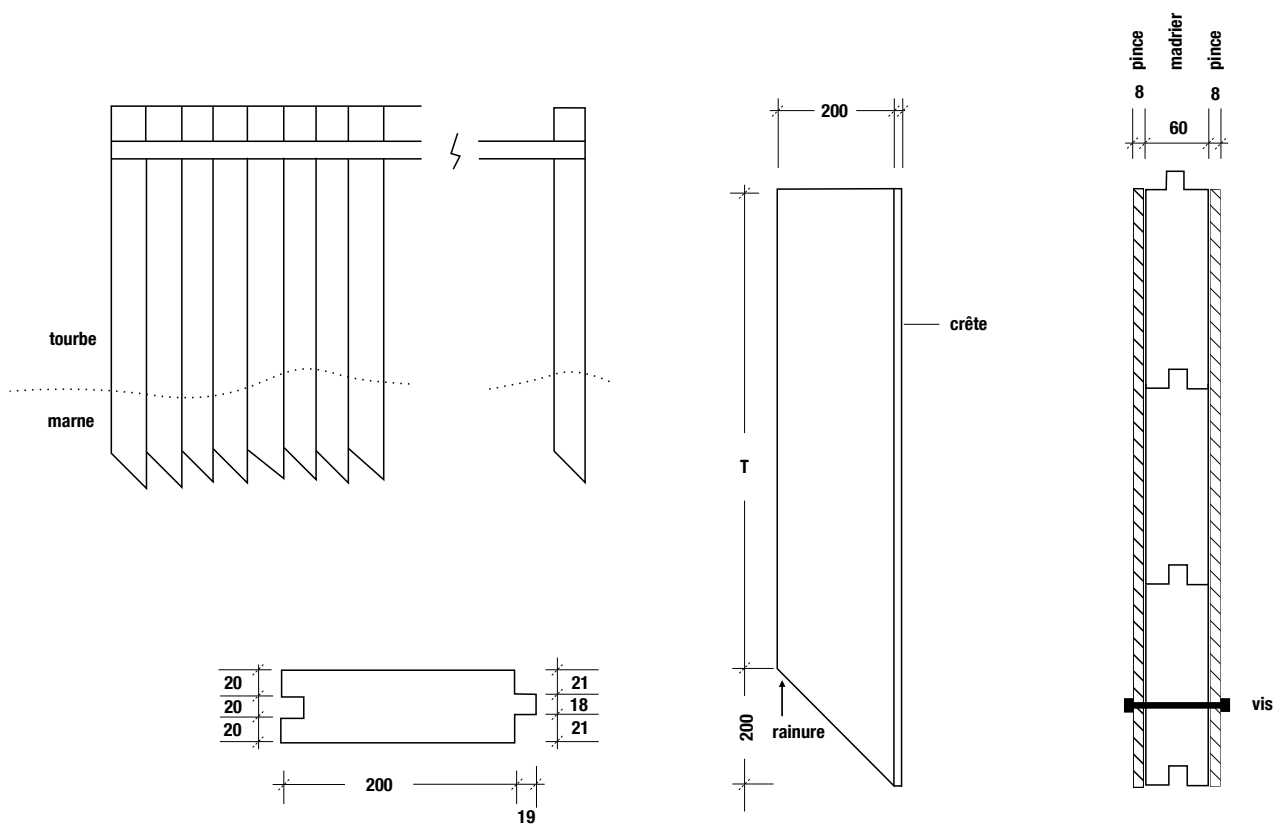


Fig. 100 Plan de construction pour une palissade de bois; selon la hauteur et la largeur, d'autres dimensions sont possibles; types de bois: sapin, mélèze, chêne, pin; bois frais, sciage brut; dimensions en mm



Fig.101 *Enfoncement des planches à la rétropelleuse*



Fig.102 *Profils métalliques servant de guide pour l'enfoncement des planches*



Fig.103 *Sciage des planches en biseau à la tronçonneuse*



Fig.104 *Palissade implantée, avant recouvrement avec de la tourbe, Walchwil (ZG), tourbière de Früebüelmoos*



Fig.105 *La méthode permet de construire des barrages sur une très grande longueur*

- > Déterminer l'emplacement des pistes de transport ou de la ligne de câble.
- > Déterminer les synergies possibles entre d'éventuelles coupes de bois et les moyens de transport utilisés (câble, etc.).

Période d'exécution

En premier lieu, il faut tenir compte des dispositions sur la protection du site. La période souvent idéale, car généralement plus sèche, va d'août à octobre. Travailler dans des conditions sèches ou sur une couche de neige de 20 à 30 cm diminue les dégâts sur le sol. Si les températures sont très basses, le travail est déconseillé car il est alors difficile, voire impossible, de creuser ou d'enfoncer, de plus il est souvent impossible de tasser les matériaux de comblement de manière étanche.

Equipement

Outillage: tronçonneuse, serre-joints, éventuellement natte de bentonite.

Machines: rétropelleuse à chenilles, brouette à moteur, éventuellement câble.

Autre matériel: pièce métallique pour protéger les planches lorsqu'on les enfonce, planches de chantier.

Matériaux de construction

Planches: sapin blanc, pin, chêne, épicéa.

Dimensions: largeur 100 à 200 mm; profondeur 60 à 120 mm; longueur selon besoin, partie inférieure en biseau; crête 20 × 20 mm dans le sens de la longueur; rainure 18 × 19 mm sur le côté court; non raboté, sans noeuds traversants et sans fissures. Si on les enfonce à la main, on a avantage à prendre des planches rabotées et plutôt étroites.



Fig. 106 Palissade de bois recouverte de tourbe, Le Cerneux-Péquignot (NE), Marais des Saignes-Jeanne

Main d'oeuvre

Un machiniste et un aide. Pas de qualification particulière requise. Toutefois, il faut informer tous les participants de la fragilité des milieux tourbeux et exiger que le travail soit fait avec précaution.

Encadrement

La direction de chantier doit être assumée par une personne ayant de l'expérience dans les projets de régénération.

Coûts

Chantier

- > Location rétropelleuse entre Fr. 120.– et Fr. 200.–/h (y compris salaire du machiniste, carburant, petit matériel).
- > Location brouette à moteur entre Fr. 60.– et Fr. 80.–/h (y compris salaire du machiniste, carburant, petit matériel).

Salaires des ouvriers

- > Honoraires pour planification et direction de chantier.
- > Coûts pour le transport du matériel de remplissage.
- > Planches pour 10 m² de paroi avec une épaisseur de 5 cm: sapin blanc: Fr. 300 à 400.–, chêne: Fr. 900.–.
- > Câble: installation (à partir de Fr. 450.–) et location (Fr. 1500.–/jour).
- > Location planches de chantier.



Fig. 107 Protection de la digue contre l'érosion à l'aide d'une natte de paille tissée, Saignelégier (JU), Etang de la Gruère

Procédé d'exécution

- a) Enlever la végétation dans la zone prévue pour l'implantation de la paroi et l'entreposer sur une bâche plastique ou un géotextile.
- b) Enfoncer deux planches dans le sol avec un écart de plusieurs mètres (fig. 101); une des planches étant enfoncée à la profondeur définitive. La deuxième sert à fixer provisoirement les lattes transversales (voir point suivant). Le cas échéant, couvrir le haut de la planche avec un profil métallique solide.
- c) A l'aide de serre-joints, fixer sur les planches deux lattes ou profils métalliques transversaux pour servir de guide («pince», fig. 102).
- d) Couper la pointe des autres planches en biseau (fig. 103), puis les placer contre la planche déjà posée définitivement, pointe vers celle-ci, puis les enfoncer dans le sol. La résistance du sol pousse alors la planche contre celle déjà dans le sol.
- e) Fixer si possible près de la planche à enfoncer un deuxième serre-joint pour maintenir les deux lattes transversales et ainsi éviter que la planche ne se déboîte.
- f) Ajuster la hauteur finale souhaitée à la tronçonneuse car les planches ne peuvent pas toutes être enfoncées à la même profondeur (fig. 104 et 105).
- g) Si l'eau s'écoule par-dessus la couronne, découper un profil correspondant et prendre des mesures pour éviter l'érosion.
- h) Des deux côtés de la paroi, compléter avec le matériau approprié (comblement ou étanchéité). D'abord pomper l'eau ou la vider si les fossés en sont remplis. Couvrir les zones mises à nu avec la végétation réservée à cet effet (fig. 106).
- i) Eventuellement, prendre des mesures contre l'érosion (fig. 107).

> Remarques

Suivant la topographie, on peut laisser des gouilles ouvertes se former; celles-ci sont importantes pour les associations végétales d'atterrissement et pour la faune.

Une fois l'intervention terminée ...

Evaluation du succès de la mesure

On peut qualifier la restauration de réussie si la masse de tourbe est presque toujours saturée d'eau jusqu'en surface.

Suivi scientifique

La mise en place de la mesure doit s'accompagner d'un suivi scientifique de moyen à long terme (Habb & Jutz 2004). Cela permet de caractériser l'évolution du milieu et, si nécessaire, de corriger les problèmes qui surviennent. Il est recommandé de mandater un spécialiste pour cette tâche. Les méthodes suivantes sont adaptées:

- > mesurer le niveau de la nappe phréatique à l'aide de piézomètres ou de tensiomètres; relever des carrés permanents pour suivre le développement de la végétation.
- Dans les zones boisées, la mort des arbres indique rapidement l'efficacité de la mesure.

3.3.5 Régulation hydrique contrôlée par un caisson de bois

La lecture de ce chapitre requiert d'avoir pris connaissance au préalable des chapitres 3.1 à 3.3. Il illustre de manière détaillée les étapes de construction d'un caisson de régulation en bois. Ce type d'ouvrage est conçu pour être installé dans un substrat tourbeux.

Présentation de la mesure

La plupart des anciennes fosses de tourbage (creuses) présentent un seul exutoire creusé dans la tourbe. La remise en eau de ces creuses, souvent en voie d'atterrissement, nécessite de construire une retenue à l'emplacement de l'exutoire. La construction d'un caisson de régulation permet de remonter le niveau d'eau progressivement, sans noyer brutalement le tapis de sphaignes en place. L'inondation permanente qui en résulte permet de lutter contre la fermeture du milieu par la végétation arbustive, notamment par les bouleaux. Par analogie, les caissons de régulation permettent également de fermer de larges fossés délimités par deux murs de tourbage.

Les caissons sont bien adaptés à des exutoires en principe de petite taille (largeur de 1 m au plus), mais peuvent néanmoins être construits sur des exutoires plus larges en étant intégrés à une palissade (chapitre 3.3.4).

Les caissons de régulation sont conçus pour être installés dans un talus tourbeux, car il est possible de rendre la construction étanche, contrairement aux chambres en ciment (chapitre 3.3.4), mieux adaptées aux talus morainiques ou argileux. Il est par contre indiqué de pouvoir implanter les caissons dans le sous-sol argileux, faute de quoi il faudra envisager de les intégrer à une palissade, sur le modèle présenté au chapitre 3.3.4, pour assurer l'étanchéité sous le caisson.

La régulation du niveau d'eau est quant à elle assurée par la pose de planchettes superposables, tandis que l'espace entre les planchettes est rendu étanche à l'aide d'argile prélevée sur place et fortement tassée (fig. 108).

La construction d'un caisson de régulation est une mesure relativement lourde à réaliser, autant techniquement que financièrement. Elle doit donc être appliquée en priorité aux creuses fortement atterries mais présentant un potentiel de régénération important (présence de sphaignes, épaisseur de tourbe suffisante).

D'autre part, cette technique permet d'inonder des surfaces importantes, et nécessite donc de bien mesurer à l'avance les conséquences d'une telle opération (risques d'inondation de surfaces avoisinantes, etc.).

Objectifs

- > Assurer la régénération par inondation permanente et progressive de surfaces de hauts-marais en voie d'atterrissement, plus particulièrement d'anciennes fosses de tourbage (creuses);
- > contrôler le niveau de l'eau (profondeur et surface d'inondation) en fonction des variations saisonnières de la nappe;
- > éviter que les sphaignes en place soient entièrement noyées et périssent; la hauteur d'eau est donc fixée de telle manière que l'eau affleure au niveau de la partie sommitale des tapis de sphaignes; dans ces conditions, leur dynamisme est maximal;
- > possibilité d'augmenter progressivement le niveau du plan d'eau, en fonction de l'accroissement vertical des sphaignes;
- > limiter la fermeture forestière des fosses d'exploitation en noyant les arbres.



Fig. 108 Régulation hydrique contrôlée par un caisson en bois; les planchettes placées transversalement à l'axe de l'écoulement permettent de fixer le seuil d'inondation derrière l'ouvrage; selon l'évolution de la végétation, ce seuil peut progressivement être relevé. Saicourt (BE), réserve naturelle cantonale de Bellelay

Avant l'intervention ...

à quoi faut-il faire attention?

Impacts négatifs et précautions

La construction d'un caisson de régulation peut générer divers impacts négatifs sur le milieu, dont les plus significatifs sont les suivants:

- > dommages causés à la végétation par le piétinement par les ouvriers autour de l'ouvrage et sur les chemins d'accès, et par l'utilisation d'une rétopelleuse ou d'une brouette à moteur (trajets nécessaires pour transporter les éléments de construction);
- > besoin de prélever quelques mètres cubes d'argile pour étancher le caisson;
- > eutrophisation des abords du barrage par des déchets de tourbe minéralisée.

Le chapitre 3.3 donne des solutions pour limiter ces impacts. En outre, la précaution supplémentaire suivante doit être prise:

- > choisir un lieu de prélèvement d'argile peu dommageable pour la végétation, situé à proximité de l'ouvrage; remettre en état le lieu de prélèvement une fois les travaux terminés.

Difficultés de mise en oeuvre et conseils d'exécution

- > La difficulté principale consiste à empêcher les infiltrations latérales et sous l'ouvrage; il est donc primordial de soigner l'ancrage latéral du caisson dans la tourbe et de bien faire adhérer la base du caisson au substrat minéral;
- > l'installation d'un tel ouvrage est une opération assez délicate; pratiquée au contact du substrat argileux et en milieu saturé en eau, elle est pénible physiquement et nécessite l'utilisation de moyens mécaniques (rétopelleuse).

Fiabilité et sécurité

Les risques induits par la mise en place d'un caisson de régulation ne doivent pas être sous-estimés (stabilité du caisson, inondation de surfaces avoisinantes). Ces risques sont étroitement liés à la topographie locale. Il est donc nécessaire de décrire au préalable la topographie précise du secteur touché.

En cas de doute, il est recommandé de faire appel à une personne expérimentée dans la construction des caissons, ou à un ingénieur hydraulicien. La brochure «Wildbach- und Hangverbau» (Böll 1997) traite en détail des problèmes d'ingénierie touchant la construction de petites retenues d'eau.

Combinaison de mesures

- > Pour autant que le caisson soit construit au contact de la marne sous-jacente et que la tourbe ne soit par conséquent pas très épaisse sur le site à restaurer, le caisson sera rempli d'argile; selon la hauteur de seuil choisie au départ,

> Attention

Venir réparer et améliorer l'ouvrage peut provoquer des impacts et des coûts importants. Il est dès lors préférable de construire avec toutes les précautions nécessaires et réussir la première fois.

une quantité assez importante d'argile sera nécessaire; il est possible de prélever cette argile dans la fosse elle-même en aménageant une fouille qui sera laissée comme point plus profond;

- > il est possible de construire un caisson de régulation sur un exutoire de grande taille (plus de 1 m de large), en installant au centre de l'exutoire un caisson classique (suivre le procédé ci-dessus), puis en créant de chaque côté une palissade de bois (chapitre 3.3.4); recouvrir la palissade de tourbe en créant un talus en pente douce de part et d'autre;
- > si la tourbe est épaisse et que le caisson ne peut pas être implanté dans la marne, la palissade peut également être construite sous le caisson pour assurer l'étanchéité en profondeur.

Paramètres techniques

- > Décrire la topographie fine du secteur tant pour estimer les surfaces touchées par l'inondation que pour préciser la position exacte de l'ouvrage en fonction de l'exutoire;
- > dresser une carte de la fosse avec la position des murs de tourbage, leur hauteur, la localisation des évacuations de l'eau, la localisation des sphaignes (déterminant le niveau d'eau à atteindre) et des autres végétaux;
- > faire un plan détaillé de l'exutoire afin d'en connaître les dimensions et la structure des parois de tourbe;
- > à la hauteur de l'exutoire, procéder à l'aide d'une tarière à des sondages dans le sol pour estimer la qualité de la tourbe (chapitre 3.2) et connaître son épaisseur jusqu'à la marne;
- > évaluer les accès pour les machines et le matériel ainsi que l'organisation de la place de chantier (chapitre 3.3);
- > choisir un endroit accessible et favorable pour extraire l'argile nécessaire à la construction.

Période d'exécution

L'eau constitue la principale contrainte en période d'exécution. La période idéale s'étale d'août à octobre, période généralement assez sèche. Il faut éviter de travailler en période hivernale, quand le sol est gelé, la tourbe et l'argile étant alors impossibles à manipuler. Si le travail doit être mené en période humide, il est nécessaire d'évacuer l'eau à l'aide d'une pompe.

Equipement

Outillage: pioches, pelles, brouettes, marteau.

Machines: rétropelleuse, tronçonneuse, perceuse-visseuse, scie circulaire, génératrice, éventuellement pompe à eau, éventuellement brouette à moteur.

Autre matériel: bâche en plastique ou géotextile pour entreposer la végétation, bottes de pêcheur (waders); bottes, gants de jardinier, tarière.

Matériel de construction

- > 4 traverses d'ancrage (traverses de chemin de fer non traitées par exemple, poncées en menuiserie pour pouvoir être jointées efficacement);
- > 4 lattes de renfort, en bois rigide, d'1 m de long;
- > 8 glissières en bois, de section 4 cm × 4 cm environ (longueur déterminée par la hauteur du caisson);
- > planchettes de 20 cm de largeur (longueur déterminée par l'espacement des traverses), épaisses de 3 cm environ; le nombre de planchettes dépend de la hauteur d'eau recherchée;
- > 4 panneaux de bois (panneaux contre-plaqués, lamellés croisés, non imprégnés); dimension standard d'un panneau dans le commerce: 250 cm × 125 cm; 2,5 cm d'épaisseur;
- > clous, vis, colle à bois expansive hydrofuge.

Main d'œuvre

Vu les difficultés qui peuvent apparaître en cours de construction, il est recommandé de faire appel à une petite entreprise (de paysagisme par exemple) pour obtenir le meilleur rapport qualité-prix; 3 personnes sont requises pour la construction: un machiniste et deux aides.

Encadrement

L'encadrement est à mener par le planificateur de la mesure afin qu'il puisse adapter l'ouvrage en respectant les contraintes du site. Idéalement, l'encadrement devrait être complet durant les 2 journées requises pour la construction d'un ouvrage.

Coûts

Le coût d'un ouvrage avoisine Fr. 6000.– à Fr. 7000.–, en tenant compte du matériel, de la main d'oeuvre et de l'encadrement.

La planification détaillée de l'ouvrage (nivellement, plans et sondages) avoisine Fr. 2000.–.

Procédé d'exécution

Généralités

Les dimensions des ouvrages doivent être adaptées à chaque site en sachant que:

- > la hauteur hors sol de l'ouvrage est liée au site et à l'objectif visé (hauteur maximale d'inondation souhaitée); les 4 traverses verticales (traverses de chemin de fer) doivent s'enfoncer au minimum dans 50 cm de marne pour ancrer solidement l'ouvrage;
- > idéalement, la section du caisson devrait mesurer 1 m sur 1 m; des dimensions plus élevées diminuent sensiblement la solidité de l'ouvrage;
- > l'épaisseur des planchettes doit être d'au moins 3 cm pour assurer leur solidité.



Fig. 109 *Bétulaie secondaire asséchée, dans une ancienne fosse de tourbage, juste avant l'intervention...*



... et juste après l'intervention; Saicourt (BE), réserve naturelle cantonale de Bellelay

Vues d'ensemble

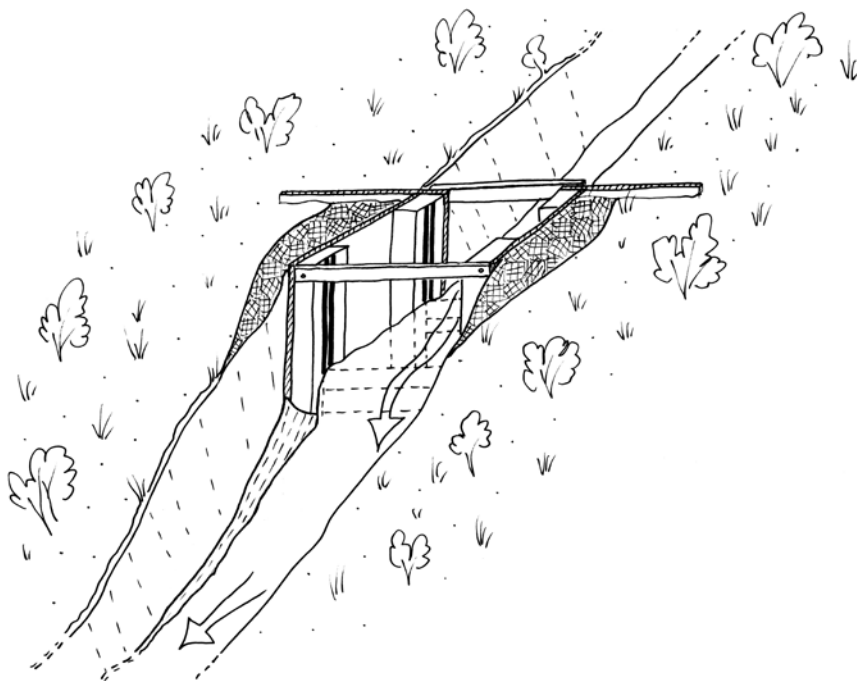


Fig. 110 Bloc-diagramme d'un caisson en bois

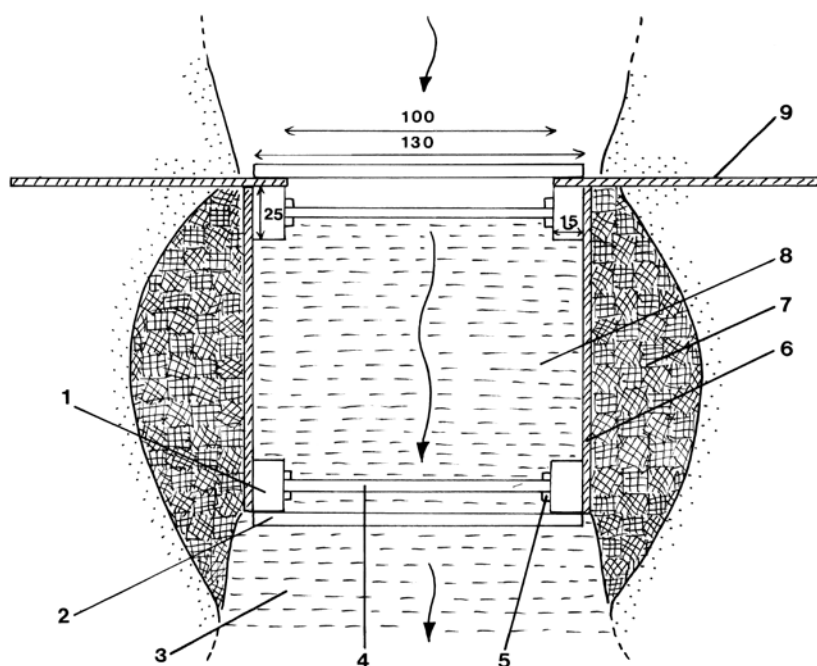


Fig. 111 Caisson en bois, situation

1: traverse; 2: latte de renfort; 3: talus en argile ou marne; 4: planchettes; 5: glissières; 6: panneau de bois latéral; 7: tourbe tassée; 8: argile ou marne tassée; 9: panneau d'étanchéité latérale; dimensions en cm

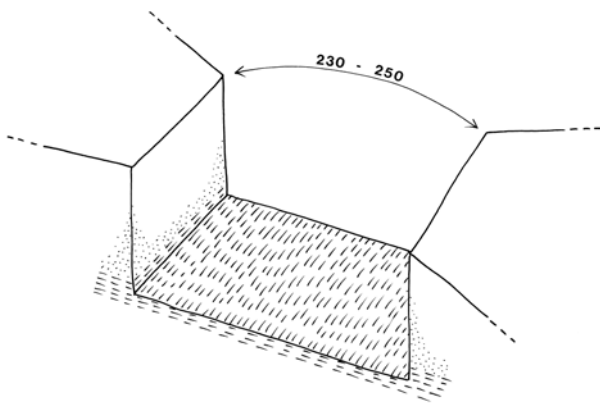


Fig. 112 Excavation de la tourbe à l'emplacement du caisson;
dimensions en cm

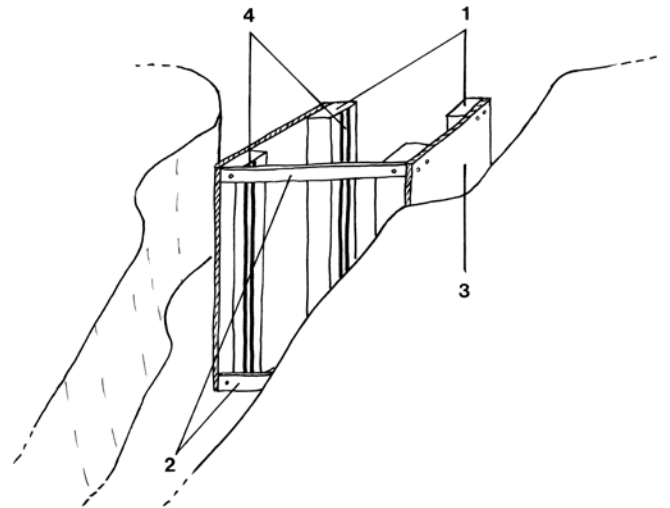


Fig. 113 Structure du caisson

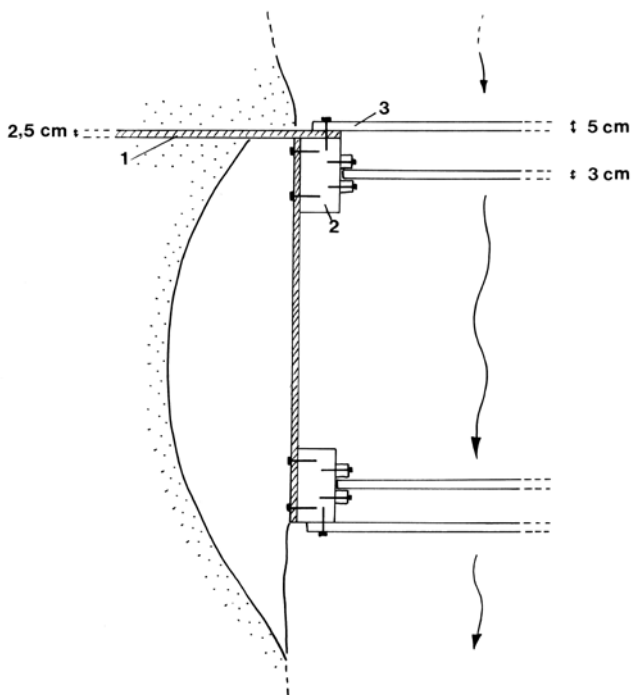


Fig. 114 Détail, situation

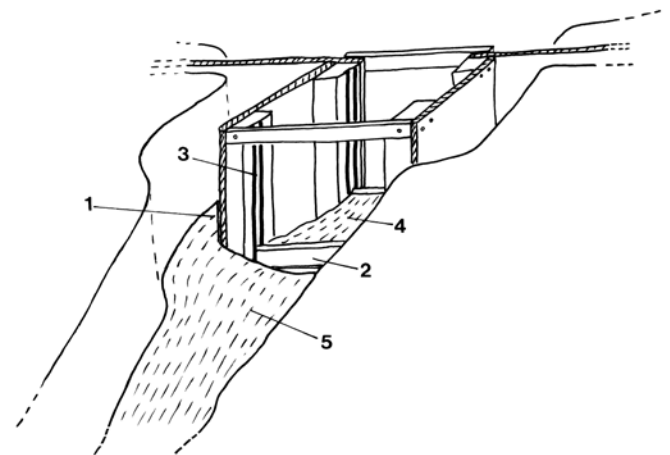


Fig. 115 Comblement des espaces vides avec de la tourbe ou
de l'argile; légende des numéros dans le texte

Construction du caisson

Pour la préparation du chantier, consulter au préalable le chapitre 3.3. Voir également les vues d'ensemble en page 81.

- a) Creuser une fouille dans les parois de l'exutoire afin de pouvoir placer la structure tridimensionnelle du caisson; entreposer le matériel excavé sur une bâche plastique; limiter le creusage latéral au minimum requis (env. 230–250 cm), car cet espace doit être refermé par la suite de manière étanche; il est fondamental de pouvoir creuser jusqu'au substrat minéral argileux pour ancrer les traverses et éviter les infiltrations sous l'ouvrage; éventuellement aménager une digue de tourbe provisoire en amont de l'exutoire pour retenir l'eau et permettre les travaux au sec (fig. 112);
- b) mise en place de la structure du caisson (fig. 113):
 - b1) poser les 4 traverses (1) dans des trous creusés au préalable dans la marne; les enfoncer à la rétropelleuse, puis colmater la base des traverses avec de l'argile; les traverses doivent être espacées de 1 m;
 - b2) sur la face aval du caisson, rigidifier la structure par 2 lattes de renfort (2) vissées transversalement au sommet et à la base des traverses;
 - b3) scier les 2 panneaux (3) aux bonnes dimensions et les visser sur les traverses de chaque côté du caisson; étancher la base du panneau à l'aide d'argile bien tassée;
 - b4) visser 2 glissières (4) sur chaque traverse, en les espaçant en fonction de l'épaisseur des planchettes
- c) il faut ensuite empêcher les infiltrations latérales entre les panneaux latéraux et les murs de tourbe; une solution consiste à enfoncer dans les murs de tourbe deux panneaux de bois (1) en les fixant aux traverses amont (2), de la manière suivante (fig. 114):
 - c1) créer deux entailles dans la tourbe, au niveau des traverses amont, au moyen d'une tronçonneuse (se référer au chapitre 3.3.1 pour plus de précisions);
 - c2) enduire les traverses de colle à bois expansive hydrofuge; à l'aide de la rétropelleuse, enfoncer les deux panneaux verticalement dans chacune des entailles;



Fig. 116 a Disparition progressive des arbres suite à un rehaussement du niveau de l'eau par un caisson de régulation; Saicourt (BE), réserve naturelle cantonale de Bellelay

- c3) visser les panneaux sur les traverses afin d'assurer une étanchéité maximale;
- c4) visser 2 lattes de renfort (3) sur ces panneaux;
- d) combler l'espace entre les panneaux latéraux et le mur de tourbe avec de la tourbe de bonne qualité, ou avec de l'argile si la tourbe fait défaut (1); la tasser à l'aide de la rétopelleuse (fig. 115);
- e) installer les planchettes (2) dans les glissières (3) jusqu'au niveau voulu, sur la face aval et la face amont du caisson; remplir l'intérieur du caisson avec de l'argile (4); tasser cette argile avec un petit godet de la rétopelleuse; le niveau final de l'argile doit dépasser le sommet des planchettes de 10 cm au minimum, pour tenir compte du tassement naturel inévitable; aménager un talus d'argile (5) en aval, jusqu'au niveau des planchettes, pour éviter l'érosion provoquée par un éventuel écoulement; éventuellement aménager cet écoulement avec une natte de coco bouclée (chapitre 2.3.3);

- f) pour monter le niveau de l'eau, rajouter 2 planchettes, remplir l'intérieur du caisson et surélever la hauteur du talus avec de l'argile tassée.

Une fois la construction de l'ouvrage terminée, consulter le chapitre 3.3 pour la remise en état du terrain.

Une fois l'intervention terminée ...

Evaluation du succès de la mesure

Afin d'évaluer l'efficacité de l'ouvrage, les éléments suivants devraient être relevés (en principe une fois chaque année lors d'un passage de routine):

- > vérifier si le niveau d'eau se maintient régulièrement à la hauteur du seuil des planchettes en amont du caisson;
- > vérifier également si de l'eau s'infiltré entre les murs de tourbe et les parois latérales du caisson;
- > vérifier qu'il n'y ait pas d'érosion sur le déversoir du trop-plein ou sur les parois de ce dernier.



Fig. 116 b Une année après l'intervention

Le succès d'une telle opération se marque à la dynamique des sphaignes recolonisant le plan d'eau et à la mort des arbres trop régulièrement inondés; ceux-ci se couchent progressivement et offrent des supports pour les sphaignes.

Suivi scientifique

Une telle mesure vise plusieurs objectifs qu'il est important de suivre et d'évaluer. Un programme à long terme mérite d'être mis en place car l'élévation progressive du seuil devra être planifiée sur la base de l'observation de divers paramètres dont les principaux sont:

- > la dynamique des sphaignes: celle-ci est maximale avec une hauteur d'eau stabilisée au niveau de la partie sommitale des tapis de sphaignes; des mesures d'allongement des sphaignes peuvent être entreprises;
- > l'apparition d'espèces typiques des hauts-marais: mettre en place des carrés permanents;
- > la recolonisation par la faune: l'analyse des communautés et du statut des populations permet de montrer l'évolution

et la stabilisation du milieu et indique l'intérêt de remonter le seuil ou non;

- > le battement de la nappe phréatique: mettre en place un suivi à l'aide de piézomètres.



Fig. 116 c Dix ans après l'intervention

3.3.6 Régulation hydrique contrôlée par une chambre de ciment avec vanne

La lecture de ce chapitre requiert d'avoir pris connaissance au préalable des chapitres 3.1 à 3.3. Il illustre la technique de la chambre en ciment avec régulation contrôlée, sans toutefois entrer dans le détail de la construction, laquelle nécessite de faire appel à un ingénieur et une entreprise de génie civil. Ce type d'ouvrage est conçu pour être installé dans un substrat morainique ou argileux.

Présentation de la mesure

De nombreux hauts-marais se sont formés en retrait de bourrelets morainiques, résultats de l'activité glaciaire. Nombre de ces hauts-marais ont été asséchés par le percement d'un exutoire dans ces verrous glaciaires. La construction d'une chambre de ciment, dotée d'une vanne de régulation du niveau

d'eau, permet de réinonder progressivement de vastes surfaces en voie d'atterrissement, sans noyer brutalement les tapis de sphaignes en place.

La technique des chambres de ciment est bien adaptée aux bourrelets morainiques endommagés par des travaux de drainage. Les caissons de régulation (chapitre 3.3.5) conviennent peu à ces situations, pour des raisons de solidité avant tout.

La régulation du niveau d'eau est assurée par la mise en place d'un trop-plein modulable. Ce trop-plein est constitué d'un simple tuyau dont l'extrémité aboutit dans la chambre de ciment. Le réglage de la hauteur de cette extrémité détermine la hauteur d'eau pouvant être retenue.

La construction d'une chambre en ciment est une mesure relativement lourde à réaliser, autant techniquement que financièrement. Elle doit donc être appliquée en priorité aux hauts-marais fortement atterris mais présentant un potentiel de régénération important (présence de sphaignes, épaisseur de tourbe suffisante).



Fig. 117 Régulation hydrique contrôlée par une vanne installée dans une chambre de ciment; selon l'évolution de la végétation, ce seuil peut progressivement être relevé; l'eau est évacuée vers un ruisseau en aval; Rifferswil/Kappel am Albis (ZH), tourbière de Hagenmoos

D'autre part, cette technique permet d'inonder des surfaces importantes et nécessite donc de bien mesurer à l'avance les conséquences d'une telle opération (risques d'inondation de surfaces avoisinantes, etc.).

Objectifs

- > Assurer la régénération par inondation permanente et progressive de surfaces de hauts-marais asséchées, plus particulièrement de petites combes fermées par un verrou glaciaire morainique;
- > contrôler le niveau de l'eau (profondeur et surface d'inondation) en fonction des variations saisonnières de la nappe;
- > éviter que les sphaignes en place soient entièrement noyées et périssent inondées; la hauteur d'eau est donc fixée de telle manière que l'eau affleure au niveau de la partie sommitale des tapis de sphaignes; dans ces conditions, leur dynamisme est maximal;
- > possibilité d'augmenter progressivement le niveau du plan d'eau, en fonction de l'accroissement vertical des sphaignes;
- > limiter la fermeture forestière de ces marais en noyant les arbres.

Avant l'intervention ...

à quoi faut-il faire attention?

Impacts négatifs et précautions

La construction d'une chambre en ciment peut générer divers impacts négatifs sur le milieu, dont les plus significatifs sont les suivants:

- > dommages causés à la végétation par le piétinement par les ouvriers autour de l'ouvrage et sur les chemins d'accès, et par l'utilisation d'une rétropelleuse ou d'une brouette à moteur (nombreux trajets nécessaires pour transporter les éléments de ciment sur le lieu de construction);
- > besoin de prélever quelques mètres cubes d'argile pour étancher le caisson;
- > eutrophisation des abords du barrage par des déchets de tourbe minéralisée.

Le chapitre 3.3 donne des solutions pour limiter ces impacts.

Difficultés de mise en oeuvre et conseils d'exécution

- > La difficulté majeure consiste à reconstituer un contact étanche autour de l'ouvrage, en particulier autour du trop-plein d'évacuation;
- > les risques d'infiltrations sous l'ouvrage ne sont pas négligeables; il est donc important de bien faire adhérer la base de la chambre de ciment au substrat minéral et de ne pas laisser de couches perméables sous l'ouvrage;

> Attention

Venir réparer et améliorer l'ouvrage peut provoquer des impacts et des coûts importants. Il est dès lors préférable de construire avec toutes les précautions nécessaires et réussir la première fois.

- > l'installation d'un tel ouvrage est une opération assez délicate; pratiquée au contact du substrat argileux et en milieu saturé en eau, le travail est pénible physiquement et nécessite l'utilisation de moyens mécaniques (rétopelleuse, etc.).

Fiabilité et sécurité

Les risques induits par la mise en place d'une chambre de régulation ne doivent pas être sous-estimés (solidité du bourrelet morainique, inondation de surfaces avoisinantes). Ces risques sont étroitement liés à la topographie locale. Il est donc nécessaire de décrire au préalable la topographie précise du secteur touché.

Il est indispensable de faire appel à un ingénieur hydraulicien pour construire un tel ouvrage et évaluer les risques inhérents.

Paramètres techniques

- > Décrire la topographie fine du secteur tant pour estimer les surfaces touchées par l'inondation que pour préciser la position exacte de la chambre;
- > dresser une carte avec la position des moraines, leur hauteur, la localisation des évacuations de l'eau, la localisation des sphaignes (déterminant le niveau d'eau à atteindre) et des autres végétaux;
- > procéder à des sondages au niveau de la moraine et dresser un plan détaillé de sa structure (longueur, largeur, épaisseur, hauteur); évaluer son étanchéité et les volumes de matériel nécessaire pour reconstituer le colmatage de l'ensemble;
- > procéder à des sondages dans le marais pour estimer la qualité de la tourbe et connaître son épaisseur;
- > évaluer les accès pour les machines et le matériel ainsi que l'organisation de la place de chantier (chapitre 3.3);
- > définir un site de prélèvement de matériel argileux en fonction des besoins, sur la base des mesures de gestion définies pour le haut-marais ou en accord avec le gestionnaire.

Période d'exécution

L'eau constitue la principale contrainte en période d'exécution. La période idéale s'étale d'août à octobre, période généralement assez sèche. Il faut éviter de travailler en période

Vues d'ensemble

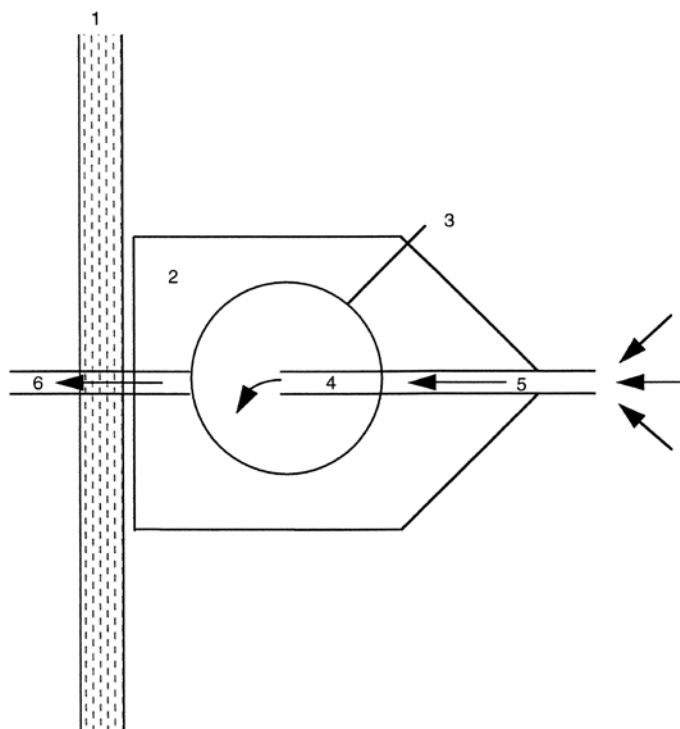


Fig. 118 Exemple d'une chambre de régulation; situation

1: bourrelet argileux; 2: fondation en béton et armatures; 3: chambre de régulation; 4: système de régulation (mobile);
5: tuyau d'arrivée d'eau; 6: tuyau d'évacuation

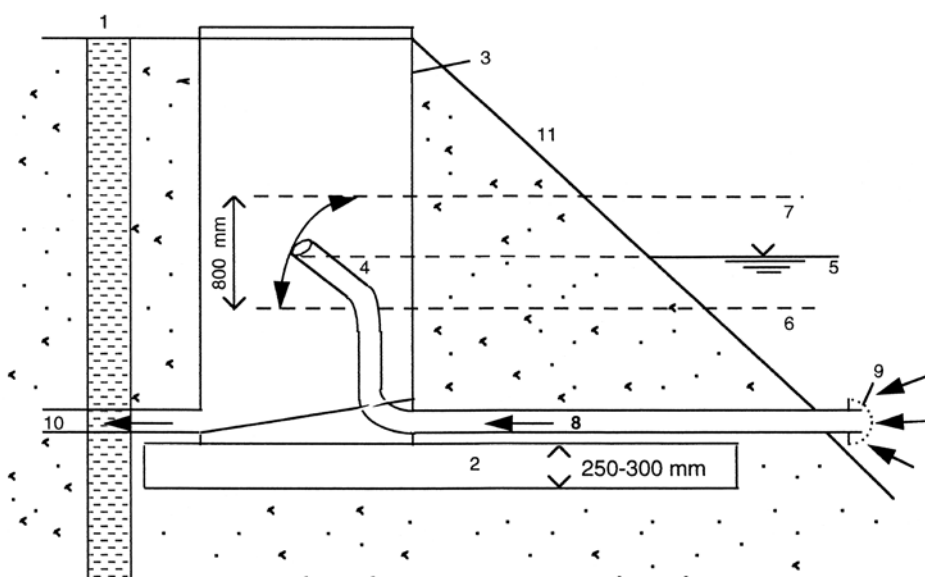


Fig. 119 Exemple d'une chambre de régulation; coupe transversale

1: bourrelet argileux; 2: fondation en béton et armatures; 3: chambre de régulation (cylindre de béton ou de ciment, diamètre 1400 mm); 4: système de régulation (mobile, amplitude 800 mm); 5: niveau d'eau actuel; 6: niveau d'eau minimal; 7: niveau d'eau maximal; 8: tuyau d'arrivée d'eau; 9: grille métallique; 10: tuyau d'évacuation; 11: talus

hivernale, quand le sol est gelé. Si le travail doit être mené en période humide, il est nécessaire d'évacuer l'eau à l'aide d'une pompe.

Equipement

Outillage: pioches, pelles, brouettes.

Machines: rétropelleuse, éventuellement pompe à eau.

Matériel de construction

- > Chambre de ciment cylindrique avec couvercle, constituée de plusieurs éléments à emboîter (dimensions standard d'un élément: diamètre 1400 mm, hauteur 60 mm);
- > tuyaux de PVC et/ou de ciment, droits et coudés,
- > brides de serrage, chaîne et contrepoids,
- > béton armé,
- > grille métallique.

Main d'œuvre

Il est préférable d'associer une entreprise de construction en génie civil pour bénéficier à la fois de l'expérience pratique et du matériel de travail adéquat. Le système de vanne mobile peut être construit par un serrurier.

Encadrement

L'encadrement est à mener par le planificateur de la mesure afin qu'il puisse adapter l'ouvrage en respectant les contraintes du site. Idéalement, l'encadrement devrait être complet durant toute la durée de la construction d'un ouvrage.

Coûts

Le coût d'un tel ouvrage peut varier d'une situation à l'autre. A titre indicatif, l'exemple réalisé au Hagenmoos/ZH et présenté dans ce chapitre représente un coût de Fr. 10 000.-.

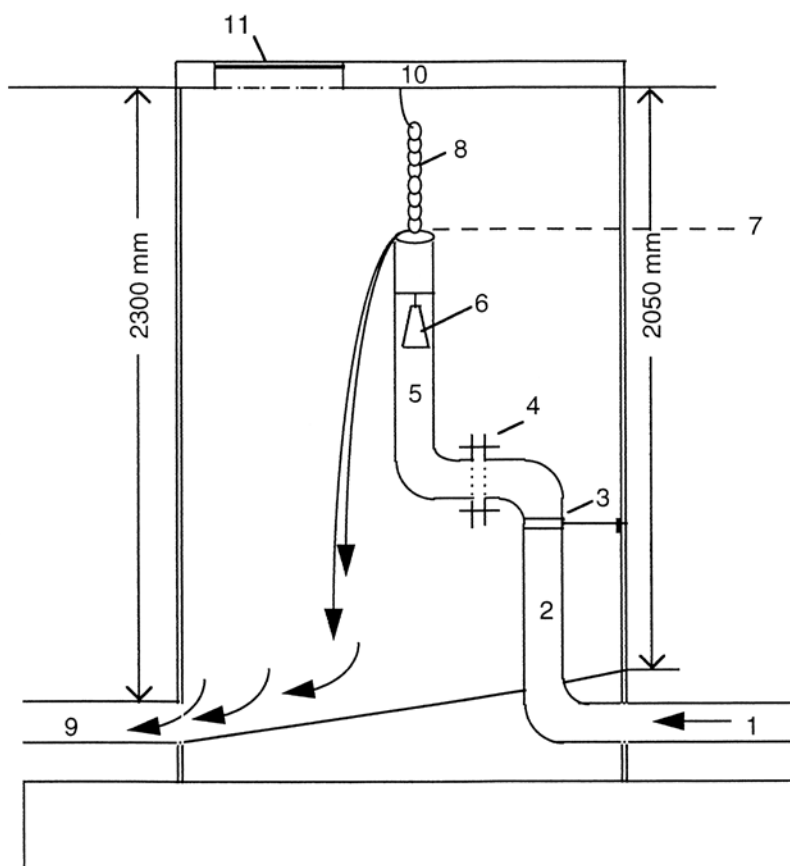


Fig. 120 Vue de détail; coupe transversale

1: tuyau d'arrivée d'eau; 2: tuyau coudé; 3: bride de fixation (pour fixer le tuyau coudé à la paroi de la chambre); 4: manchon souple (brides étanches); 5: tuyau mobile; 6: contrepoids; 7: niveau d'eau maximal; 8: chaîne permettant de fixer la hauteur du tuyau mobile; 9: tuyau d'évacuation; 10: toit de la chambre (diamètre 1400 mm, hauteur 135 mm); 11: accès à la chambre (verrouillable, diamètre 630 mm)

Procédé d'exécution

Généralités

Nous renonçons à indiquer un procédé d'exécution détaillé, vu la difficulté à respecter en détail un plan en fonction des conditions locales très variées. Les schémas présentés aux fig. 118 à 120 présentent un exemple concret, réalisé à la tourbière zurichoise du Hagenmoos (Rifferswil/Kappel am Albis (ZH); projet FNP, Birmensdorf). Ils doivent permettre à l'entreprise de génie civil, chargée de réaliser les travaux, d'orienter les responsables techniques en fonction des particularités locales.

Les dimensions notées sur ce plan doivent être adaptées à chaque site en sachant que la hauteur de la chambre en ciment est liée au site et à l'objectif visé (remontée de la nappe maximale souhaitée) et que sa base doit adhérer à la base étanche du front morainique.

Une fois l'intervention terminée ...

Evaluation du succès de la mesure

Afin d'évaluer l'efficacité de l'ouvrage, les éléments suivants devraient être relevés (en principe une fois chaque année lors d'un passage de routine):

- > vérifier si le niveau d'eau se maintient régulièrement à la hauteur définie par le tuyau de sortie dans la chambre; vérifier également si de l'eau s'infiltré dans la moraine et autour de la chambre ou des tuyaux;
- > contrôler si la végétation a tendance à boucher la prise d'eau, et si du matériel s'accumule au fond de la chambre et entrave l'évacuation de l'eau.

Le succès d'une telle opération se remarque au dynamisme des sphaignes recolonisant le plan d'eau et à la mort des arbres trop régulièrement inondés; ceux-ci se couchent progressivement et offrent des supports pour les sphaignes.



Fig. 121 Inondation progressive d'une ancienne fosse de tourbage suite à la construction d'une retenue d'eau; Les Enfers (JU)

Suivi scientifique

Une telle mesure vise plusieurs objectifs qu'il est important de suivre et d'évaluer. Un programme à long terme mérite d'être mis en place car l'élévation progressive du niveau hydrique devra être planifiée sur la base de l'observation de divers paramètres dont les principaux sont:

- > la dynamique des sphaignes: celle-ci est maximale avec une hauteur d'eau stabilisée au niveau de la partie sommitale des tapis de sphaignes; des mesures d'allongement des sphaignes peuvent être entreprises;
- > l'apparition d'espèces typiques des hauts-marais: mettre en place des carrés permanents;
- > la recolonisation par la faune: l'analyse des communautés et du statut des populations permet de montrer l'évolution et la stabilisation du milieu et indique l'intérêt de remonter le seuil ou non;
- > le battement de la nappe phréatique: mettre en place un suivi à l'aide de piézomètres.

> Index

Glossaire

Andain

Digue allongée, de faible hauteur, construite sur des terrains en pente dans le but de retenir les écoulements d'eau.

Argiles

Couche du sous-sol, imperméable et plastique, à base de minéraux argileux composés d'oxygène et de silicium formant des tétraèdres (SiO₄) qui s'unissent en constituant un plan; on y trouve aussi des métaux (Mg, Al, Fe), ainsi que des cations (Ca, Mg, K, Na, H), lesquels sont facilement échangeables avec des cations de la solution du sol. La présence d'argiles peut par conséquent influencer le caractère plus ou moins minérotrophe d'un site tourbeux.

Assèchement

Action de pratiquer un drainage, se traduisant par un abaissement du niveau de la nappe phréatique.

Atterrissement

Progression de la végétation au détriment d'une surface d'eau libre par dépôt de matériel organique ou minéral.

Butte de haut-marais

Monticule tourbeux couvert de sphaignes susceptible de s'assécher temporairement en surface.

Conductivité électrique

Résistance électrique de l'eau, mesurée pour déterminer la concentration en minéraux dissous. La relation entre la conductivité et la concentration en sels minéraux dissous est linéaire pour la plupart des eaux naturelles. Des changements dans cette relation indiquent des changements dans les proportions des différents sels et donc des changements des sources de substances dissoutes entrant dans la masse d'eau.

Creuse

Zone d'extraction artisanale de la tourbe, le plus souvent inondée, située au pied d'un mur de tourbage; les creuses encore visibles actuellement sont le plus souvent en voie d'atterrissement.

Décapage

Action d'enlever la couche superficielle d'un sol, composée de la végétation en place et de la partie sommitale du sol.

Dégradation de la tourbe

Processus induit par des perturbations d'origines diverses (piétinement, assèchement, etc.), entraînant des modifications physico-chimiques de la tourbe (minéralisation, etc.).

Diversification

Intervention visant à augmenter l'offre en milieux naturels dans un lieu donné; la diversification se traduit généralement par un accroissement de la diversité spécifique (faune, flore).

Drain

Tuyau perforé installé dans la tourbe, souvent au contact de la couche marneuse, et évacuant l'eau vers un collecteur situé hors du haut-marais; les drains provoquent l'assèchement du marais.

Drainage

Action d'assécher un terrain marécageux, en implantant des drains souterrains et/ou en creusant des rigoles superficielles.

Erosion de la couche superficielle

Entraînement de la couche superficielle d'un sol (de la tourbe dans le cas d'un haut-marais) par ruissellement d'eau suite à la disparition de la couche végétale.

Eutrophe:

Eau ou sol enrichi en éléments nutritifs (surtout nitrates et phosphates assimilables par la végétation), soit naturellement par minéralisation du sol organique, soit par apport de fertilisants; par extension: espèce végétale ou animale ayant une préférence pour ce type de milieu.

Eutrophisation

Phénomènes d'origine naturelle ou anthropique (apports de fertilisants) conduisant à une augmentation de la teneur en éléments nutritifs (surtout nitrates et phosphates assimilables); l'eutrophisation entraîne la disparition des espèces oligotrophes.

Fosse d'exploitation ou de tourbage

Voir creuse

Fossé de drainage

Fossé creusé dans la tourbe (parfois la marne), permettant de collecter et d'évacuer l'eau provenant des rigoles de drainage.

Gouille de haut-marais

Dépression naturelle peu profonde dans la tourbe, inondée en permanence ou temporairement.

Haut-marais

Marais tourbeux exclusivement alimentés par les eaux provenant des précipitations atmosphériques et dont la végétation est isolée des eaux phréatiques minérales; les plantes tirent leurs substances nutritives uniquement des eaux météoriques et de l'air; milieu caractérisé par la présence des sphaignes.

Kerbs

Éléments de bois mort, très partiellement décomposés, inclus dans la masse de tourbe.

Marne

Couche imperméable, riche en argiles, contenue dans les molasses des Préalpes et du Plateau ou les calcaires du Jura.

Minéralisation

Transformation des substances organiques de la tourbe en leurs composants organiques minéraux (azote, phosphore etc.) et en gaz (surtout gaz carbonique et méthane) par l'action des bactéries et des champignons; cette transformation requiert de l'oxygène et est par conséquent fortement stimulée par l'assèchement du milieu suite à un drainage par exemple.

Minérotrophe

Eau ou sol plus ou moins riches en sels minéraux assimilables par la végétation; les eaux, souterraines ou de ruissellement, récupèrent les sels minéraux sur ou dans le substrat minéral où elles ont circulé; par extension: espèce végétale ou animale ayant une préférence pour ce type de milieu.

Mur de tourbage

Front d'exploitation de la tourbe de chauffage, se présentant sous forme d'un mur de tourbe plus ou moins élevé.

Nappe phréatique

Nappe d'eau remplissant les interstices du sol et formant un horizon continu.

Oligotrophe

Eau ou sol pauvre en éléments nutritifs (surtout nitrates et phosphates assimilables par la végétation); par extension: espèce végétale ou animale ayant une préférence pour ce type de milieu.

pH

Abréviation de «potentiel d'Hydrogène», le pH est un indice permettant de mesurer l'activité de l'ion hydrogène dans une solution. C'est un indicateur de l'acidité (pH inférieur à 7) ou de l'alcalinité (pH supérieur à 7) d'une solution. Le pH est un important critère de qualité de l'eau car il conditionne la possibilité de vie aquatique et de bien des usages de l'eau.

Piézomètre

Tube muni d'une partie poreuse (crépine) à son extrémité inférieure, enfoncé dans le sol à la profondeur désirée, permettant la mesure de niveau concernant des nappes d'eau superficielles. Lorsque plusieurs aquifères sont superposés, avec des hauteurs piézométriques différentes, leur étude devrait être réalisée à l'aide de piézomètres séparés, de petit diamètre, plongeant dans chacun des aquifères. En pratique, on n'utilise souvent qu'un seul tube, percé sur toute sa longueur, mais on mesure dès lors un niveau piézométrique «artificiel» mélangeant les niveaux des différents aquifères éventuellement présents.

Régénération

Processus naturel ou induit, faisant suite à une perturbation du milieu (assèchement, destruction de la végétation, etc.), marqué par le retour à la situation initiale; la régénération d'un haut-marais se caractérise par la reprise de la formation de tourbe, grâce notamment à la croissance des sphaignes, et par le développement de la flore et de la faune caractéristique de ces milieux.

Réhumidification

Action de remonter artificiellement le niveau de la nappe phréatique, ayant pour effet de favoriser les espèces animales et végétales liées aux milieux marécageux.

Restauration

Phase préliminaire de la gestion qui a pour but de rétablir la structure, les fonctions et les processus qui contribuent à l'intégrité écologique d'un écosystème.

Revitalisation

Remise en état d'un milieu perturbé, visant à recréer des conditions naturelles par le biais d'interventions orientées en fonction d'un but défini au préalable.

Rigole de drainage

Tranchée creusée dans la tourbe, dans le but de provoquer l'assèchement superficiel du haut-marais; la mise en place d'un réseau de rigoles précède l'exploitation de la tourbe.

Sphaignes (*Sphagnum* sp)

Type de mousses (Bryophytes) caractéristiques des hauts-marais; les sphaignes croissent pour la plupart en milieu oligotrophe, acide et saturé en humidité, voire inondé.

Tassement de la tourbe

Résultat du piétinement ou du passage de machines lourdes, le tassement se traduit par une baisse de la capacité de la tourbe à retenir de l'eau, suivie d'une augmentation de sa minéralisation en surface.

Tensiomètre

Bougie ou coupelle poreuse (généralement en céramique) reliée à un manomètre par un tube. Le tout étant rempli d'eau, l'eau de la coupelle se met en équilibre avec l'eau du sol avoisinant. L'eau est drainée hors de la cellule si le sol s'assèche et engendre une tension plus grande; l'eau reflue dans la cellule si le sol se réhumecte et fait baisser la tension. Ces variations de pression ou de tension sont indiquées sur l'appareil de mesure. Plusieurs tensiomètres placés à des profondeurs différentes permettent de calculer des profils de pression. Les tensiomètres fournissent des données sur le potentiel hydrique du sol (composante de pression).

Touradon

Grosse touffe résultant de la persistance au cours des années des feuilles basales sèches de certaines espèces herbacées (laïches, linaïgrettes).

Tourbe

Type de sol organique résultant de la décomposition imparfaite des parties mortes des végétaux, des sphaignes en particulier dans le cas des hauts-marais; par définition, la tourbe comprend au moins 30 à 40 % de matière organique.

Tourbière

Milieu humide possédant une végétation productrice et accumulatrice de tourbe; les notions de tourbière bombée ou tourbière haute sont synonymes de haut-marais.

Végétalisation:

Technique de restauration de milieux dont la végétation a disparu, faisant appel à des plantations ou des semis d'espèces pionnières.

Bibliographie

Akkermann, R. 1982: Möglichkeiten und Zielsetzungen für eine Regeneration von Hochmooren – zoologisch betrachtet. Regeneration von Hochmooren, Informationen zu Naturschutz und Landschaftspflege in Nordwestdeutschland, 3: 151 – 163.

Böll, A. 1997: Wildbach und Hangverbau. Berichte Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), 343. 123 S.

Bragg, O.M., Hulme, P.D., Ingram, H.A.P., Johnston, J.P. & Wilson, A.I.A. 1994: A maximum – minimum recorder for shallow water tables, developed for ecohydrological studies on mires. Journal of applied Ecology, 31: 589 – 592.

Brooks, S., Stoneman, R. 1997: Conserving bogs. The Management Handbook. The Stationery Office Limited, Edinburgh. 286 S.

Buttler, A., Grosvernier, Ph., Matthey, Y. 1998: A new sampler for extracting undisturbed surface peat cores for growth pot experiments. New Phytol., 140: 355 – 360.

Dupieux, N. 1998: La gestion conservatoire des tourbières de France – Premiers éléments scientifiques et techniques. Espaces naturels de France, Programme Life «Tourbières de France».

Eggelsmann, R. 1993: Beiträge zur Wiedervernässung abgebaute Schwarztorfflächen. Ergebnisse eines Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens im Leegmoor, Landkreis Emsland. In: Nick, K. J. Wiedervernässung des Leegmoores: Versuchsfläche und Einrichtungen. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen, 29. 129 S.

Eigner, J., Schmatzler, E. 1991: Handbuch des Hochmoorschutzes. Kilda Verlag, Greven. 158 S.

Grauel A.-L., 2007: Glazialgeomorphologische Untersuchungen im Gebiet zwischen Etzel und Sihlsee (Kt. Schwyz). Diplomarbeit am geographischen Institut der Universität Zürich.

Grosvernier, Ph., Lugin, A. Matthey, Y. 1998: Le complexe de végétation des hauts-marais. In: Manuel de la conservation des marais en Suisse, Volume 1/2.2.8. OFEFP, Berne.

Grosvernier, Ph., Matthey, Y., Mulhauser, G. 2001: Exemple d'un plan de gestion d'un haut-marais: Etang de la Gruère. In: Manuel de la conservation des marais en Suisse, Volume 2/2.2.4. OFEFP, Berne.

Grünig A., Steiner G. M., 1998: Ecologie et hydrologie des marais. In: Manuel de la conservation des marais en Suisse, Volume 1/3.1.1. OFEFP, Berne.

Haab, R., Jutz, X., 2003: Konsequenzen aus ersten Hochmoor-Regenerationsprojekten im Kanton Zürich: Konzeption und Umsetzung eines kantonalen Regenerations-Programms. In: «Moorrenaturierung – Praxis und Erfolgskontrolle», ANL (Ed.), D-Laufen a.d. Salzach, Laufener Seminarbeiträge 1/03.

Haab R., Jutz X. 2004: Das Hochmoor-Regenerationsprogramm im Kanton Zürich. Vierteljahresschrift Nat.forsch. Gesellschaft Zürich; 149,4; S. 105 – 115.

Krüger, G.-M. 1998: Wasserbauliche Massnahmen im Wurzacher Ried. Planung – Bauausführung – Ergebnisse. Zehn Jahre Projekt «Wurzacher Ried» – Internationale Fachtagung zur Erhaltung und Regeneration von Mooregebieten, S. 79 – 95. Naturschutzzentrum Bad Wurzach.

Küttel, M. 1994: L'importance des marais comme source de données pour l'histoire de l'environnement. In: Manuel de la conservation des marais en Suisse, Volume 1/3.2.1. OFEFP, Berne.

Marti K., Krüsi B.O., Heeb J., Theis E., 1997: Clé de détermination des zones-tampon – Guide pour déterminer des zones-tampon suffisantes du point de vue écologique pour les marais. L'environnement pratique, OFEFP, Berne.

Matthey, Y., Lugin, A., Grosvernier, Ph., Grünig, A. 2001: Régénération des hauts-marais. In: Manuel de la conservation des marais en Suisse, Volume 2/2.1.7. OFEFP, Berne.

Matthey, Y., Lugin, A., Grosvernier, Ph. 1999: Exigences standard pour la protection des hauts-marais et des marais de transition. In: Manuel de la conservation des marais en Suisse, Volume 2/1.1.1. OFEFP, Berne.

Meier E.; Staubli P., Müller B.U., Stünzi, J.; Schubert E., Dubois D., 2002: Georadar – der zerstörungsfreie Blick in den Untergrund: Beispiele aus dem Naturschutzgebiet Zigermoos, Unterägeri/ZG und der Deponie Riet, Winterthur/ZH. Bull. angew. Geol., 7/1; S. 31 – 44.

OFEFP. 1992/2002. Manuel de la conservation des marais en Suisse. OFEFP, Berne.

Quinty, F., Rochefort, L. 2003: Guide de restauration des tourbières, deuxième édition. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Québec, Québec.

Richards, J.R.A., Wheeler, B.D. & Willis A.J. 1995: The growth and value of *Eriophorum angustifolium* Honck. in relation to the revegetation of eroding blanket peat. In: Restoration of temperate wetlands (eds B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt & R.A. Robertson), pp. 509 – 522. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.

Schneebeli, M. 1988: Die Regeneration des Hochmoores Turbenriet-Gamperfin, Gemeiden Grabs SG. Ber. Bot.-Zool. Ges. Liechtenstein-Sargans-Werdenberg, S. 101 – 123.

Sjörs, H. 1950: On the relation between vegetation and electrolytes in north swedish mire waters. Oikos, 2: 241 – 258.

Staubli, P., 1997: Projet de régénération du haut-marais de Brämenegg (Oberägeri, ZG). In: Manuel de la conservation des marais en Suisse, Volume 2/2.3.1. OFEFP, Berne.

Staubli, P., 2004: Regeneration von Mooren im Kanton Zug. Vierteljahresschrift Nat.forsch. Gesellschaft Zürich; 149, 2/3; S. 75 – 82.

Staubli P., 2007 (1): Regenerationsprojekt Enzenau. Berichte Nat.forsch.Gesellschaft Schwyz.

Staubli P., 2007 (2): Schutz und Förderung von Mooren in der Schweiz – rechtliche Situation und aktive Massnahmen. Praktischer Moorschutz im Naturpark Erzgebirge/Vogtland und Beispiele aus anderen Gebirgsregionen: Methoden, Probleme, Ausblick. Sächsische Landesstiftung, Akademie; S. 58 – 62.

Steiner G. M., Grünig A. 1999: Hydrologie des hauts-marais. In: Manuel de la conservation des marais en Suisse, Volume 1/3.1.2. OFEFP, Berne.

von Euw, M., Grünig, A., Fischbacher U. 1995: Bibliographie sur les hauts-marais et marais de transition de Suisse. Institut Forêt, neige et paysage (FNP), Birmensdorf. 2e édition.

Wheeler, B.D., Shaw, S.C. 1995. Restoration of damaged peatlands. HMSO, London. 211 S.

Wheeler, B.D., Shaw, S.C., Fojt, W.J., Robertson, R.A. 1995: Restoration of temperate wetlands. John Wiley & Sons, Chichester. 562 S.

World Meteorological Organisation (WMO). 1994: Guide des pratiques hydrologiques – Acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications. Edition française (1996), OMN-N° 168, 829 pp. Téléchargeable au format pdf: www.bom.gov.au/hydro/wr/wmo/guide_to_hydrological_practices/WMOFRA.pdf

Yerly, M. 1970: Ecologie comparée des prairies marécageuses dans les Préalpes de la Suisse occidentale. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, 44. 119 S.

Accès aux banques de données de littérature des sites web de WSL et du Pôle-relais Tourbières en France: www.wsl.ch/land/inventory/mireprot/besmos/literatur/literatur-fr.ehtml
www.pole-tourbieres.org

Illustrations

Andreas Grünig / FAT Reckenholz

no 117

**Cléa Liniger / Dombresson, et Geneviève Méry / L'Aubépine,
Le Noirmont**nos 17, 18, 27, 28, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 45, 46, 47, 48, 49,
50, 51, 52, 53, 54, 55, 62, 63, 64, 65, 70, 72, 73, 76, 77, 78, 79, 80,
81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 97, 110, 111, 112, 113, 114, 115**Ecoconseil / La Chaux-de-Fonds**nos 14, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 58, 59, 66, 67, 69, 71, 74, 75,
106**Klaus Ecker / FNP, Birmensdorf**

no 2

Margrit von Euw / FNP, Birmensdorf

nos 118, 119, 120

Peter Staubli / Beck & Staubli, Zugnos 3, 6, 15, 16, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 101,
102, 103, 104, 105**Terra Vermessungen AG, Zürich / Amt für Raumplanung des
Kantons Zug**

nos 4, 5

Philippe Grosvernier / LIN'eco, Reconviliernos 7, 8, 9, 10, 11, 13, 29, 30, 31, 34, 42, 43, 44, 56, 57, 60, 61, 68,
107, 108, 109, 116, 121**swisstopo**

nos 1, 2

Xaver Jutz / Pluspunkt, Zürich

no 12