

Canton de Berne
et cantons de
AG, FR, GE, GR, JU, LU, NE, OW, SG, TI, UR, VD, VS, ZG, ZH /
Office fédéral de l'environnement

MAINTIEN DES RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN VERSANT DES BIOTOPES MARECAGEUX D'IMPORTANCE NATIONALE RAPPORT DE SYNTHÈSE



LIN'eco - Dr. Ph. Grosvernier
écologue conseil
REG A Environnement

L'Azuré
• études en
écologie appliquée

geo7



unine
UNIVERSITÉ DE
NEUCHÂTEL

CHYN
Centre d'hydrogéologie
et de géothermie

p-u-s

sanu future
learning
kompetenz | nachhaltiges unternehmen
competence | sustainable development

AOUT 2018

MAINTIEN DES RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN VERSANT DES BIOTOPES MARECAGEUX D'IMPORTANCE NATIONALE

*(projet initial déposé dans le cadre de l'appel à projets
« Programme pilote Adaptation aux changements
climatiques » de l'OFEV)*

Responsables de projet :

Dr. **Philippe Grosvernier**, biologiste, REG A Environnement - **LIN'eco**, Reconvilier

Partenaires :

- **Elisabeth Contesse**, ingénieure en environnement, Master/DESS IHCE - **LIN'eco**, Reconvilier
- **Célien Montavon**, biologiste, Master en bio-géosciences - **LIN'eco**, Bassecourt
- **Yann Pottier**, biologiste, Master en Ecologie, biodiversité et évolution - **LIN'eco**, Reconvilier
- **Peter Gsteiger** et **Peter Mani**, géographes, lic. phil. nat., **geo7 AG**, Bern
- Dr. **Meinrad Küchler** et Dr. **Ariel Bergamini**, biologistes, **Eidg. Forschungsanstalt WSL, Biodiversität und Naturschutzbiologie**, Birmensdorf
- Prof. Dr. **Philipp Brunner**, hydrogéologue, Prof **Daniel Hunkeler**, hydrogéologue, et **Guillaume Gianni**, géologue, Master en hydrogéologie et géothermie, **Centre d'hydrogéologie et de Géothermie (CHYN) de l'Université de Neuchâtel**
- Dr. **Martin Urech**, biologiste –**puls**, Bern
- **Alain Lugon**, biologiste – **L'Azuré**, Cernier
- **Marc Münster**, géologue, dipl. pgd. en ingénierie et management de l'environnement et **Christine Gubser**, biologiste, lic. phil. nat. - **sanu future learning sa**, Bienne

Sommaire

Le présent rapport constitue le rapport final du projet « MAINTIEN DES RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN VERSANT DES BIOTOPES MARECAGEUX D'IMPORTANCE NATIONALE » réalisé dans le cadre du « Programme pilote Adaptation aux changements climatiques » de l'OFEV et soutenu par 16 cantons suisses.

Il présente une synthèse du travail effectué et des résultats obtenus et intègre un résumé de chacun des rapports techniques détaillés rédigés par les partenaires pour les différents volets traités.

Tous les rapports techniques détaillés et tous les résultats sont accessibles sur un site internet qui constitue en lui-même le principal résultat du projet, soit la « boîte à outils » conçue pour la définition et la délimitation de périmètres hydrologiques destinés à la mise en œuvre de la fonction hydrologique des zones tampons suffisantes du point de vue écologique selon l'art. 4 de l'ordonnance sur les hauts-marais (RS 451.32) et de l'ordonnance sur les bas-marais (RS 451.33) d'importance nationale de Suisse.

Ce rapport de synthèse est structuré comme suit :

- Une introduction présentant le contexte et les lacunes en matière de zones tampons hydrologiques pour les biotopes marécageux, raisons qui ont menés à la réalisation du projet.
- Une présentation de la validité des résultats obtenus par le biais de la méthode développée.
- Une présentation des types de résultats obtenus et des différentes étapes de travail effectuées pour y parvenir.
- Une présentation de la démarche pas à pas.
- Les résumés des différents rapports techniques détaillés.

Contenu

1	Introduction.....	1
2	Gestion des ressources en eau des biotopes marécageux - Validité de la méthode développée	3
3	Une «boîte à outils» pour la gestion des ressources en eau des biotopes marécageux	4
4	Présentation de la démarche permettant de définir et délimiter des périmètres hydrologiques autour d'un biotope marécageux.....	6
5	Détermination du ou des types hydrologiques de biotopes marécageux.....	8
6	Caractérisation des bassins versants.....	11
7	Délimitation de périmètres hydrologiques comme bases pour la délimitation de zones tampon hydriques	14
8	Exemples de possibilités d'interprétation et d'utilisation des résultats pour l'identification de perturbations dans le régime local des eaux d'un biotope marécageux	16

Liste des rapports techniques annexés

- Annexe 1: Dynamique hydrogéologique et bilans hydriques de marais; G.Gianni, E.Torrejòn del Aguila, P.Brunner, CHYN, uniNE, janvier 2018
- Annexe 2: Effekte von Erschliessungen und Gehölzen auf Zustand und Entwicklung der Vegetation in Schweizer Mooren; M.Küchler, Forschungsanstalt WSL, juillet 2018
- Annexe 3: Flächenkonzept ökologische Pufferzonen zu Moorbiotopen; U.Caduff, P.Gsteiger, geo7 AG, décembre 2017
- Annexe 4: Détermination du type hydrologique des complexes marécageux - Méthode; E.Contesse, Ph.Grosvernier, LIN'eco, janvier 2017
- Annexe 5: Ausscheidung von Nährstoffpufferzonen zu Moorbiotopen; U.Caduff, P.Gsteiger, geo7 AG, décembre 2017

1 Introduction

Qu'ils soient dits hauts, bas ou de transition, les marais (voir encadré) sont, par définition, des zones humides. Pour assurer leur maintien et leur développement, il faut que leur bilan hydrologique présente un excédent d'eau. Leur approvisionnement en eau peut être assuré soit par les précipitations, si elles sont suffisamment abondantes et bien réparties sur l'ensemble de l'année (ce qui est rarement le cas), soit par ruissellement ou percolation, ou encore en provenance de sources, cours d'eau ou de lacs. Ces milieux sont par conséquent très sensibles aux changements climatiques mais également aux modifications et perturbations du régime local des eaux dans leur environnement. Pour empêcher que ceux-ci ne portent atteinte au régime hydrologique des marais, des mesures de protection et de gestion des ressources en eau sont nécessaires dans les surfaces déterminantes pour l'approvisionnement en eau des marais.

Marais ou tourbières ?

Le terme de « marais » désigne, de manière mal définie, un vaste ensemble de types de milieux naturels caractérisés par des conditions d'engorgement plus ou moins prononcé des sols. Son usage n'est donc en principe pas approprié. Toutefois, les bases légales de protection des biotopes d'importance nationale en Suisse font expressément références aux termes de hauts-marais, marais de transition et bas-marais, tous trois regroupés sous le terme de « biotopes marécageux ».

Sur le plan international, les termes adéquats pour désigner les types de milieux naturels dont il est question dans le présent projet sont :

- **mires:** milieux naturels présentant une végétation caractéristique de tourbières
- **bog:** tourbière haute ou bombée
- **transitional fen:** tourbière de transition
- **fen:** tourbière plate

Le terme de tourbière n'est cependant pas totalement concordant avec la définition légale suisse de « bas-marais » dans la mesure où ceux-ci ne se développent pas obligatoirement sur un sol tourbeux.

Les biotopes marécageux d'importance nationale sont strictement protégés en Suisse. Les buts visés par la protection légale, selon l'art. 4 de l'ordonnance sur les hauts-marais (RS 451.32, ci-après: OHM) et de l'ordonnance sur les bas-marais (RS 451.33, ci-après: OBM), stipulent que:

- Les marais doivent être conservés intacts
- Dans les zones marécageuses détériorées, la régénération doit être encouragée dans la mesure où elle est judicieuse
- La flore et de la faune indigènes doivent pouvoir se développer et être conservées.
- Les particularités géomorphologiques doivent être conservées.

Pour atteindre ces buts, les cantons doivent:

- fixer les limites précises des objets et
- délimiter des zones-tampon suffisantes du point de vue écologique

La notion de « zones-tampon suffisantes du point de vue écologique » a été clarifiée sans ambiguïté par le Tribunal fédéral (ATF/BGE 124 II 19 de 1997, voir encadré). Cet arrêté, qui fait jurisprudence, précise qu'une zone-tampon suffisante du point de vue écologique doit en principe comprendre les surfaces nécessaires pour assurer les diverses fonctions suivantes :

- une zone-tampon **hydrique**, dans laquelle aucune modification du régime hydrique susceptible de **compromettre l'approvisionnement en eau nécessaire à la conservation des marais** n'est tolérée;
- une zone-tampon **trophique**, qui doit réduire ou prévenir l'engraissement indirect des marais pauvres en substances nutritives;
- une zone-tampon **biologique**, qui sert d'espace vital aux espèces animales et végétales spécifiques des biotopes marécageux et des zones de transition.

Extrait de ATF/BGE 124 II 19 de 1997

Les zones-tampon sont des surfaces destinées à protéger les biotopes marécageux ainsi que leur faune et leur flore spécifiques contre les menaces et les atteintes nuisibles en provenance des surfaces exploitées environnantes (KARIN MARTI/REGULA MÜLLER, Zones-tampon pour les marais, Cahier de l'environnement no 213, OFEFP, Berne 1994, p. 5). Les spécialistes distinguent trois catégories de zones-tampon selon les fonctions assignées à chacune d'entre elles. La zone-tampon hydrique comprend les surfaces adjacentes aux biotopes marécageux, dans lesquelles aucune modification du régime hydrique susceptible de compromettre l'approvisionnement en eau nécessaire à la conservation des marais n'est tolérée. La zone-tampon trophique inclut les terres agricoles cultivées, situées en dehors du biotope marécageux à protéger et soumises à des restrictions d'exploitation. Elle doit réduire ou prévenir l'engraissement indirect des marais pauvres en substances nutritives. L'étendue de ces zones dépend des types de sol concernés et de la configuration des lieux (MARIO BROGGI, Questions et réponses relatives à l'inventaire des bas-marais, Manuel "Conservation des marais en Suisse", vol. 1, contribution 2.3.1, ch. 2.2.2, p. 4/5; MARTI/MÜLLER, op.cit., p. 7 et les références citées). Les zones-tampon biologiques s'étendent enfin aux terrains servant d'espace vital aux espèces animales et végétales spécifiques des biotopes marécageux et des zones de transition (GÜNTHER GIEPKE, Modèle d'ordonnance sur la protection des marais, Manuel "Conservation des marais en Suisse", vol. 2, contribution 1.2.1, ch. 4.3.2, p. 6). Une zone-tampon suffisante du point de vue écologique, au sens des art. 3 al. 1 de l'ordonnance sur les bas-marais (RS 451.33, ci-après: OBM), de l'ordonnance sur les hauts-marais (RS 451.32, ci-après: OHM) et de l'ordonnance sur les zones alluviales (RS 451.31, ci-après: OZA), doit en principe comprendre les surfaces nécessaires pour assurer les diverses fonctions énumérées ci-dessus (BERNHARD WALDMANN, Der Schutz von Mooren und Moorlandschaften, thèse Fribourg 1997, p. 174/175).

En ce qui concerne les zones-tampon trophiques, l'OFEV a publié une clé qui fait désormais référence en la matière (Marti & Müller, 1994).

Il manquait par contre à ce jour, plus de 30 ans après l'acceptation par le peuple suisse de l'initiative dite de « Rothenthurm » et plus de 20 ans après les délais d'application de l'OHM et de l'OBM, une méthode permettant de caractériser et de délimiter une zone tampon hydrique et par conséquent, pour les cantons, un outil permettant de mettre en œuvre l'art. 5. al. 1. lit. e OHM et lit. g OBM : [Les cantons veillent en particulier à ce que] « **le régime local des eaux soit maintenu et, si cela favorise la régénération du marais, amélioré** ».

C'est pour combler cette lacune majeure dans les moyens à dispositions des cantons pour mettre en œuvre la protection des biotopes marécageux que le présent projet a été conçu et développer dans le cadre du « Programme pilote Adaptation aux changements climatiques » de l'OFEV, avec le soutien de 16 cantons.

2 Gestion des ressources en eau des biotopes marécageux - Validité de la méthode développée

Les résultats du suivi des biotopes marécageux (Klaus 2007, Küchler et al. 2018) ont démontré que les marais subissaient une dégradation progressive importante de leur qualité. Ils ont également permis d'établir que **l'assèchement était la cause première des modifications constatées**.

Or, pour être résilients et faire face tant aux changements climatiques qu'aux modifications de la circulation des eaux dans leur environnement géomorphologique, les marais qui subsistent encore ont un grand besoin d'eau.

En tenant compte non seulement de la végétation à conserver selon les périmètres inscrits dans les inventaires fédéraux, mais également de la topographie, de la géomorphologie, du réseau hydrographique et des types de sols, la méthode développée dans le présent projet fournit **un ensemble d'outils d'aide à la décision pour délimiter une zone tampon hydrique**. Elle permet de déterminer les bassins versants importants pour le régime hydrologique des marais, afin de définir des zones de prévention appropriées du point de vue hydrologique et de prendre des mesures qui empêchent l'assèchement des biotopes marécageux.

Le résultat se présente sous la forme d'une **carte des « périmètres hydrologiques »** dont la **délimitation n'est pas exacte** mais donne **une indication plausible** des zones dans lesquelles toute modification du régime hydrique susceptible de compromettre l'approvisionnement en eau nécessaire à la conservation des marais doit faire l'objet d'un examen approfondi avant d'être autorisé.

En ce sens, cette approche permet un **renversement du fardeau de la preuve**: il appartient à l'auteur d'un projet (construction de route, drainage etc.) planifié dans les périmètres hydrologiques définis autour d'un biotope marécageux de démontrer que ce projet n'aura pas d'impact sur l'approvisionnement en eau des marais. Responsables de la protection des marais, les cantons ont désormais à disposition **un instrument qui leur permet de veiller au respect de l'art. 5. al. 1. lit. e OHM et lit. g OBM**.

Les cantons qui définissent des zones tampons-hydrique autour des biotopes marécageux en utilisant les outils développés dans le cadre du présent projet ont ainsi l'assurance qu'elles seront reconnues par l'OFEV, même s'il ne s'agit pas d'une méthode unique ni obligatoire.

Le concept fournit en outre une base solide pour la mise en œuvre d'un plan d'action en faveur de la réalisation des objectifs de la Stratégie Biodiversité Suisse, notamment en ce qui concerne la mise en œuvre d'une infrastructure écologique (zones protégées, gestion durable des ressources en eau et des sols, renforcement de la résilience des écosystèmes), la reconnaissance des services écosystémiques rendus par les marais (tampons de crues, qualité de l'eau), et la formation des acteurs concernés (connaissances du fonctionnement des écosystèmes marécageux, mise en œuvre des mesures et des techniques adéquates).

3 Une «boîte à outils» pour la gestion des ressources en eau des biotopes marécageux

L'équipe de projet transdisciplinaire s'est attelée à **développer un ensemble d'outils pratiques qui permettent:**

- d'aller au-delà de la délimitation de la seule végétation caractéristique de marais, par trop restrictive en matière de fonctions hydrologiques, en redéfinissant l'objet à protéger sous forme d'un complexe de biotopes marécageux incluant aussi bien les hauts- que les bas-marais, ainsi que les sols tourbeux ou paratourbeux qui forment **l'objet géomorphologique en tant qu'entité fonctionnelle** (selon art. 4 OHM et OBM) ;
- d'identifier sommairement **d'où vient l'eau** indispensable à la conservation d'un marais;
- d'identifier à quel **type hydrologique** un marais appartient (Steiner & Grünig 1997) en tenant compte de la topographie, de la géomorphologie, du réseau hydrographique et des types de sols.
- de définir, selon les cas, **un à trois types de périmètres hydrologiques**, correspondant à une zone tampon hydrique et dans lesquels toute modification du régime local des eaux doit être soumise à un examen de ses conséquences sur la conservation des biotopes marécageux.

Selon les informations complémentaires à disposition, il est aussi possible d'aller un peu plus loin et:

- d'identifier les **modifications** qui ont été apportées au fil du temps **au régime local des eaux** (selon OBM Art. 5, al.2, litt. g, OHM Art. 5, al.1, litt. e) par détournement de cours d'eau, captage de sources, drainage, pompage etc. et qui privent aujourd'hui les marais d'un approvisionnement suffisant en eau;
- d'identifier par ce biais les **causes principales de l'assèchement** qui affecte les marais, les modes
- d'exploitation agricole ne représentant qu'un "traitement de surface", certes important, mais moins déterminant qu'il n'y paraît *a priori*;
- d'envisager des **mesures de régénération** pour **restaurer un approvisionnement suffisant en eau**, condition *sine qua non* de la conservation des surfaces à végétation de marais inscrites dans les inventaires.

Plusieurs étapes ont été nécessaires pour l'élaboration des différents outils qui sont désormais disponibles sur la **plateforme web du projet (www.marais.ch)**. Chaque étape est documentée dans un rapport technique détaillé dont un résumé est présenté comme chapitre du présent rapport de synthèse:

- *Dynamique hydrogéologique et bilans hydriques de marais*: étude menée par le Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, qui a permis de **valider les ordres de grandeur des bassins versants** à prendre en considération pour définir les périmètres hydrologiques (Annexe 1).
- *Estimation des zones déterminantes pour l'approvisionnement en eau à l'intérieur des bassins versants et définition d'indicateurs importants*: étude menée par M. Küchler à l'Institut Forêt, Neige et Paysage (FNP / WSL, Birmensdorf) sur la base des données issues du suivi des biotopes marécageux de Suisse, qui a permis de **démontrer que l'influence des perturbations dans le régime local des eaux pouvaient s'exercer jusqu'à quelques centaines de mètres autour des biotopes marécageux**. Le modèle développé sur la base de l'échantillon représentatif des marais de Suisse a également permis d'effectuer des **prévisions de l'évolution (assèchement,**

embroussaillage, eutrophisation, par exemple) d'une sélection 28 objets proposés par les cantons partenaires (Annexe 2)

- *Caractérisation des bassins versants et de leurs interactions avec les marais*: développement d'**outils SIG basés sur l'analyse des modèles numériques de terrain**, travail réalisé conjointement par geo7, LIN'eco et puls (Annexe 3)
- *Caractérisation et détermination des types hydrologiques de biotopes marécageux en Suisse*: développement d'une clé de détermination des types hydrologiques simplifiés de biotopes marécageux et établissement d'un catalogue des types recensés dans le cadre des sites étudiés dans le cadre du présent projet, travail réalisé par LIN'eco (Annexe 4)
- *Application de la méthode*: **production de cartes thématiques pour 28 sites répartis dans 16 cantons suisses**, mises en lignes sur la plateforme internet du projet avec un accès réservé aux cantons partenaires (www.marais.ch); travail effectué conjointement par LIN'eco et geo7.
- *Communication des résultats*: par le biais du **site internet** www.marais.ch développé et géré par LIN'eco.

4 Présentation de la démarche permettant de définir et délimiter des périmètres hydrologiques autour d'un biotope marécageux

Définition d'un « complexe de biotopes marécageux »

(voir le rapport technique «*Flächenkonzept ökologische Pufferzonen zu Moorbiotopen*» pour plus de détail en annexe 3)

Par définition, **un biotope marécageux est une zone humide**, et par définition toujours, **une zone humide a besoin d'eau** ! Pour fonctionner normalement, un biotope marécageux a même **besoin d'un excédent d'eau**. Autrement dit, soit il pleut suffisamment pour réalimenter le système en permanence (ce qui est rarement le cas), soit il faut un apport d'eau externe régulier (par exemple par le biais de sources, de ruissellement, de percolation, de cours d'eau, de lacs etc.).

Or, les inventaires nationaux de biotopes marécageux (hauts-marais et marais de transition d'une part, bas-marais d'autre part) ne répertorient que les **surfaces à végétation caractéristique de marais**. En quelque sorte, **il ne s'agit là que de la pointe de l'iceberg**. Un biotope marécageux est en effet bien plus qu'une simple surface de végétation.

Si l'on veut pouvoir conserver la végétation caractéristique figurant dans les inventaires (la pointe de l'iceberg), il faut s'assurer du bon fonctionnement de ce que l'on appelle la « **biogéocénose** » (l'iceberg complet, avec sa partie immergée, voir figure 1), soit l'ensemble fonctionnel constitué de la végétation caractéristique de marais **et** des surfaces reposant sur des sols tourbeux, paratourbeux ou organiques qui forment l'entité géomorphologique et qui **doivent être suffisamment approvisionnées en eau**, conformément à l'art. 5 des ordonnances fédérales sur la protection des marais qui stipule qu'il faut veiller à ce que «*le régime local des eaux soit maintenu et, si cela favorise la régénération du marais, amélioré*».

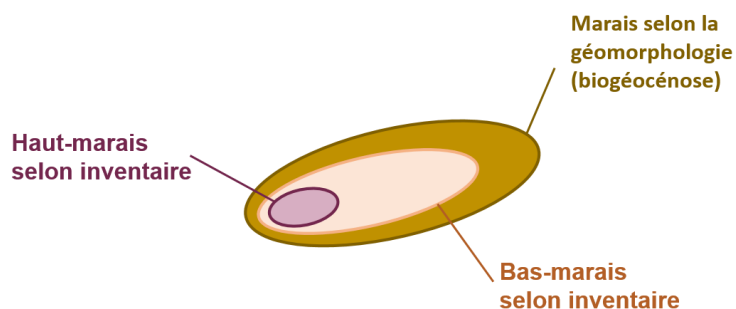


Figure 1. Complexe de biotopes marécageux formant, avec les sols tourbeux, paratourbeux ou organiques, une entité fonctionnelle appelée « biogéocénose ».

La première étape dans la démarche permettant de définir et délimiter des périmètres hydrologiques autour d'un biotope marécageux donné consiste par conséquent à **identifier la biogéocénose ou complexe de biotopes marécageux**.

Le complexe de biotopes marécageux représente une entité hydrologique. Toute modification des conditions hydrologiques exerce une influence sur potentiellement tout le complexe. Lors de la délimitation du complexe de biotopes marécageux, sont pris en considération:

- les périmètres et unités de végétation cartographiés dans les inventaires fédéraux
- les meilleures bases cartographiques détaillées existantes, établies par les cantons, de la végétation et des sols tourbeux, paratourbeux ou organiques

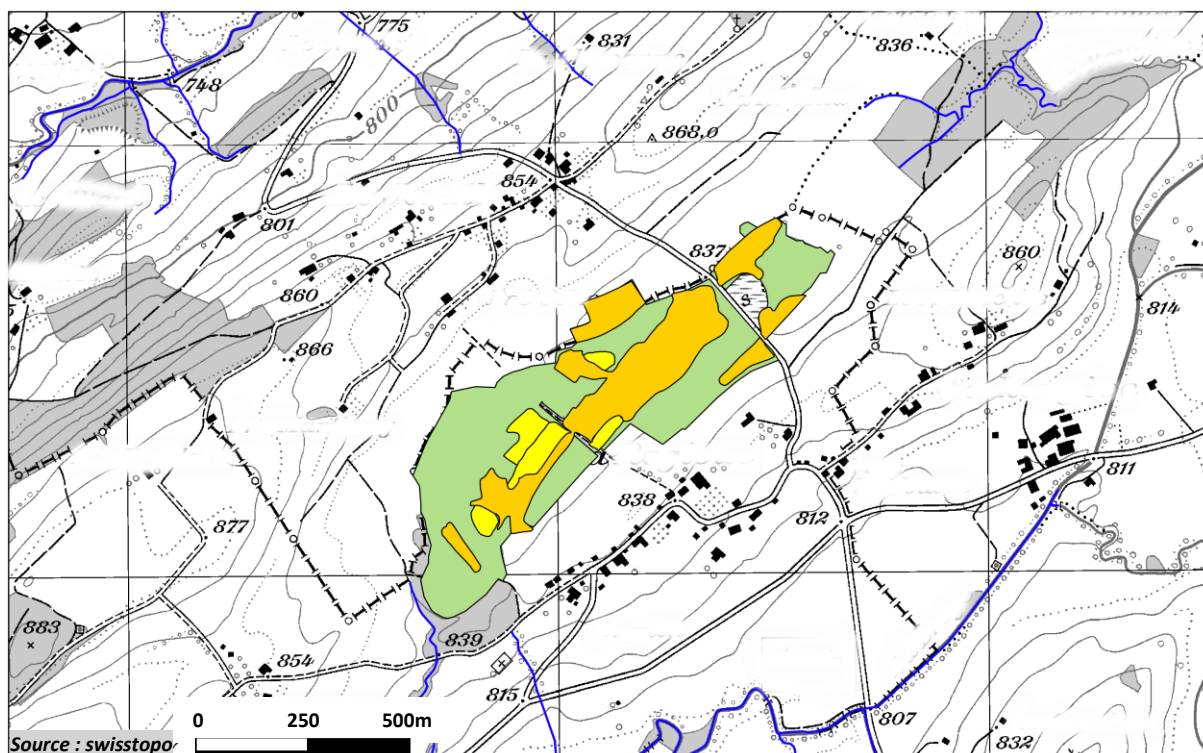


Figure 2. Délimitation du complexe de biotopes marécageux (en vert) regroupant les surfaces de végétation de haut-marais et marais de transition (en jaune) et de bas-marais (en orange). La zone de contact, figurée pour la plupart des objets de l'inventaire des hauts-marais et marais de transition, constitue souvent une bonne approche de la notion de biogéocénose ou complexe de biotopes marécageux.

En règle générale, le complexe de biotopes marécageux est basé sur une surface présentant une couche continue de sol tourbeux ou organique. La délimitation tient toutefois également compte du cloisonnement paysager et hydrologique: les lignes de séparation des eaux, les cours d'eau et les arêtes de versants constituent ainsi le plus souvent une limite topographique entre deux complexes biotopes marécageux ou la limite extérieur d'un complexe de biotopes marécageux donné.

La notion de complexe de biotopes marécageux est une façon de « recoller » les morceaux des deux inventaires, des hauts-marais et marais de transition d'une part (relevés à la fin des années 1970 et au début des années 1980), et des bas-marais (relevés suite à l'initiative de Rothenthurm à la fin des années 1980). Très souvent, en effet, les deux types de biotopes s'interpénètrent et s'influencent mutuellement, si bien qu'une **séparation de ces deux types de biotopes marécageux est dénuée de sens du point de vue éco-hydrologique.**

La délimitation d'un complexe de biotopes marécageux constitue par conséquent une approche unifiée du concept de « zone de contact », définie dans l'inventaire des hauts-marais, et donc de la biogéocénose dont sont parties prenantes et étroitement dépendantes les surfaces de végétation de marais cartographiées dans les inventaires.

5 Détermination du ou des types hydrologiques de biotopes marécageux

(voir le rapport technique «*Détermination du type hydrologique des complexes marécageux - Méthode*» pour plus de détail en annexe 4)

Une fois le complexe de biotopes marécageux défini, l'analyse de critères topographiques, hydromorphologiques et des types de végétation présents permet d'attribuer à chaque objet ou objet partiel délimité, un type hydrologique. L'identification du type hydrologique d'un objet donne de précieuses indications sur le mode d'approvisionnement en eau du complexe de biotopes marécageux ou d'une partie de ce dernier (l'échelle de travail pouvant être affinée selon les besoins) comme l'illustrent les deux exemples qui suivent.

Ainsi, un biotope marécageux se situant sur un terrain en pente sera considéré comme un « marais de pente » et il appartiendra *a priori* au type hydrologique soligène. Mais, si ce marais est par exemple traversé par un ruisseau, il s'agit de savoir quel rôle joue ce cours d'eau sur l'approvisionnement en eau. La consultation des cartes géologiques permet dans un tel cas de se rendre compte si le marais repose sur le cône de déjection du cours d'eau en question ou dans un terrain formé d'alluvions. Dans ce cas, cela signifie que la partie du marais se trouvant sur de tels dépôts s'est formée progressivement en lien avec les apports d'eau du cours d'eau, ce qui se traduit sur le terrain par une alternance de couches de matériel tantôt organique tantôt minéral, témoins des apports des crues successives du cours d'eau. Le marais en question comporte dès lors **une composante fluviogène qui doit être prise en considération pour appréhender correctement le mode d'approvisionnement en eau du marais et donc les bassins versants déterminants pour son bon fonctionnement hydrologique.**

Il se peut en effet qu'aujourd'hui le cours d'eau en question n'ait plus la dynamique alluviale qui devrait le caractériser et qu'il ne contribue plus à l'approvisionnement du marais comme pourrait le laisser penser l'analyse de critères purement topographiques. Cependant, une restauration de conditions hydrologiques plus favorables, selon les termes de l'art. 5 des ordonnances fédérales sur la protection des marais, qui exige de veiller à ce que «*le régime local des eaux soit maintenu et, si cela favorise la régénération du marais, amélioré*», devra impérativement tenir compte de la composante fluviogène du marais en question, sous peine de ne pas réussir à empêcher l'assèchement progressif de ce dernier. Les cartes historiques fournissent en outre de précieux renseignements sur l'évolution du tracé des cours d'eau et sur les mesures de corrections de leurs cours qu'ils ont subies au fil du temps. Elles permettent de confirmer la composante fluviogène du marais traversé par un cours d'eau et de donner des indications sur la manière de revitaliser le cours d'eau pour rétablir le bon fonctionnement hydrologique du complexe de biotopes de marécageux.

Un autre exemple de l'importance de déterminer correctement le type hydrologique d'un marais concerne la distinction entre un marais de pente dit « de ruissellement » et un marais de pente dit « **de percolation** ». Tous deux font partie des types hydrologiques de marais de pente, qui sont dits soligènes, mais un marais de percolation a par définition besoin d'un **approvisionnement en eau constant**, généralement assuré par des sources ou des suintements. Ces derniers se situent le plus souvent sur la lisière amont du complexe de biotopes marécageux, par exemple en pied de versant ou de collines morainiques, là où, pour des raisons géologiques ou géomorphologiques, les eaux souterraines sont forcées à remonter en surface. Les apports d'eau par percolation engendrent une accumulation très importante de tourbe de marais de transition au fil du temps. **Ignorer cette composante et ne pas chercher à la rétablir condamnerait toute tentative de restauration hydrologique du marais à l'échec.** En combinant les informations géologiques ou géomorphologiques avec la présence de bandes de végétation orientées dans le sens de la pente et appartenant aux groupements phytosociologiques des *Utricularietalia intermedio-minoris*, *Phragmitetalia communis*, *Caricetalia fuscae*, *Scheuchzerietalia palustris*, il est possible de déterminer et de délimiter la composante « soligène **de percolation** » d'un complexe de biotopes marécageux donné.

Parfois, la remontée des eaux souterraines peut aussi se produire au coeur même du complexe de biotopes marécageux, engendrant localement des conditions d'engorgement permanent en eau et de percolation à travers la couche de tourbe. C'est le cas par exemple de la tourbière de la Vraconnaz, dans le Jura vaudois, laquelle, suite à l'extraction de la tourbe dans sa moitié inférieure, a fini par subir un glissement de terrain. A l'occasion d'un événement de pluies exceptionnelles, les eaux souterraines ont en effet littéralement « décollé » la tourbière de son substrat géomorphologique et, comme la partie aval de la tourbière avait été totalement exploitée et que la partie amont de ce marais de pente n'était plus appuyée sur sa partie inférieure, ce qui restait de la tourbière a glissé de plusieurs centaines de mètres!

La détermination du type hydrologique d'un biotope marécageux est basée sur les critères suivants:

- **situation topographique:** biotope situé en pente, au centre d'un col, à plat, sur une butte ou une crête, en cuvette;
- **situation hydrologique:** biotope situé au bord d'un plan d'eau, en fond de vallée alluviale, ou autres situations;
- **structure et type de végétation:** développement d'une végétation caractéristique de percolation ou d'atterrissement, développement d'unités de végétation sous forme de bandes étroites dans le sens de la pente;
- **contexte historique:** biotope situé dans l'ancien lit d'un cours d'eau, un ancien plan d'eau;
- **situation géomorphologique:** biotope développé sur des sédiments lacustres, au cœur d'un complexe morainique.

Dans le cadre du présent projet, nous avons pu hiérarchiser ces critères et les présenter sous forme d'une clé dichotomique permettant de déterminer de manière simplifiée le type hydrologique d'un complexe de biotopes marécageux. Les détails sont présentés dans le rapport technique correspondant en annexe 4. Le résultat selon cette démarche pour notre exemple fictif est illustré à la figure 3.

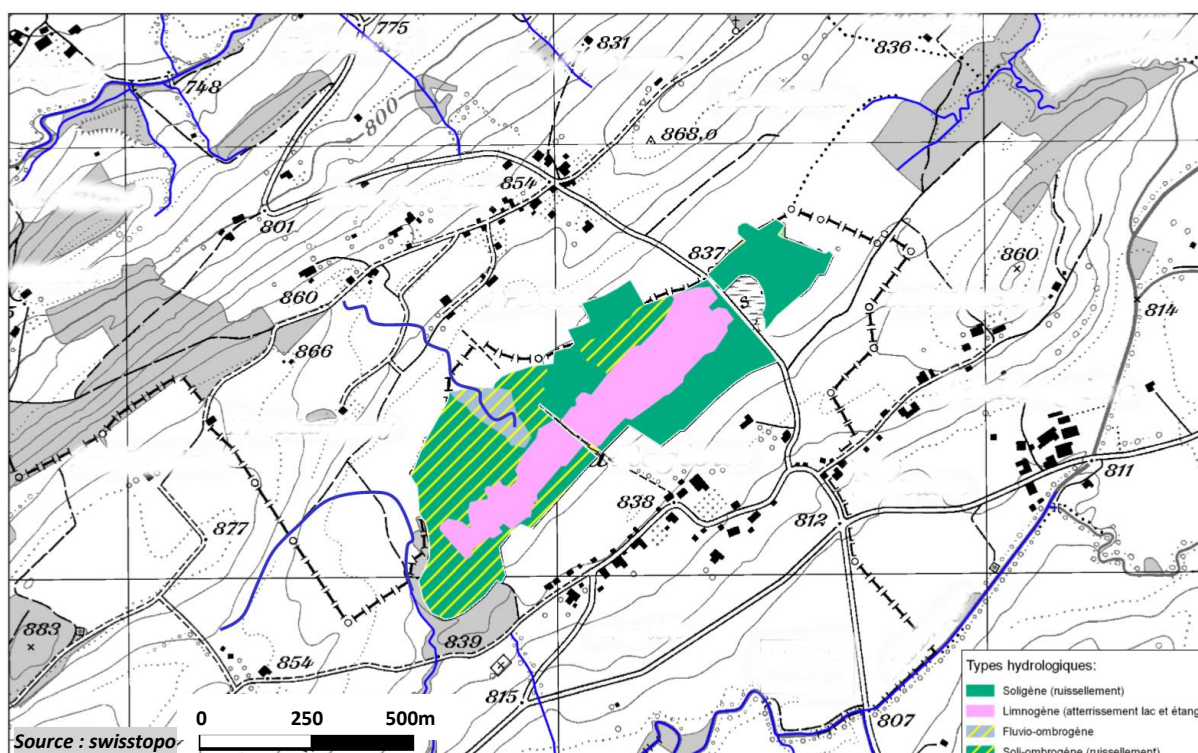


Figure 3. Détermination des types hydrologiques pour les différentes parties composant le complexe de biotopes marécageux.

Dans cet exemple, que l'on aurait *a priori* pu considérer comme un simple marais de pente (de type soligène de ruissellement), la détermination des types d'approvisionnement en eau des différentes parties du complexe de biotopes marécageux permet de distinguer entre :

- Une cuvette centrale (en rose), qui constitue un bassin plus ou moins fermé où s'accumulent les eaux et où le marais s'est formé par atterrissement d'un lac périglaciaire ; l'extraction de tourbe a fait disparaître de ce secteur la composante ombrogène (haut-marais approvisionné uniquement en eau de pluie), si bien que le marais se développe aujourd'hui à nouveau par un processus d'atterrissement.
- Une zone qui forme les versants agencés autour de la cuvette centrale (en vert foncé) où se forment des bas-marais grâce à l'eau qui s'écoule par ruissellement (processus de paludification).
- Là où l'exploitation passée de la tourbe n'a pas totalement détruit la couche de tourbe de haut-marais qui s'était formée par-dessus les bas-marais, la composante ombrogène (approvisionnement par de l'eau de pluie) est encore présente (hachures jaunes).
- Enfin, la présence, au sein du complexe de biotopes marécageux, d'un petit ruisseau, dont les méandres viennent se perdre aux abords de la cuvette centrale, permet d'identifier une partie de marais qui reçoit de l'eau non pas seulement par ruissellement lors de périodes pluvieuses, mais également en permanence par le biais de la nappe phréatique associée au cours d'eau. Cette zone comprend par conséquent une composante fluviogène (en gris-vert). Là également, la composante ombrogène (approvisionnement par de l'eau de pluie) du haut-marais qui s'était formé par-dessus le marais fluviogène est encore présente (hachures jaunes).

Grâce à une telle analyse, il devient possible de **fixer des objectifs de gestion et, le cas échéant, de régénération du marais en concordance avec le fonctionnement hydrologique effectif de chaque partie du marais**. Ainsi, même si cet objet a par exemple été inventorié en partie comme haut-marais (voir figure 1), l'extraction de la tourbe a produit des conditions hydrologiques plus proches du développement des bas-marais à l'origine de la formation du marais. Il est dès lors illusoire de chercher à retrouver, dans un proche avenir, des groupements caractéristiques de haut-marais. En prenant par contre en compte les différentes composantes limnogène, soligène ou fluviogène des différentes parties du complexe de biotopes marécageux, les objectifs et les mesures de restauration hydrologique qui seront définies s'avéreront beaucoup plus concordantes avec les facteurs de station.

6 Caractérisation des bassins versants

(voir le rapport technique «*Flächenkonzept ökologische Pufferzonen zu Moorbiotopen*» pour plus de détail en annexe 3)

Afin de **garantir à long terme le bon fonctionnement hydrologique des différentes composantes du complexe de biotopes marécageux**, il est nécessaire de **s'intéresser à la provenance de l'eau qui approvisionne chaque partie du marais**. C'est ce qu'exige l'art. 5 des ordonnances fédérales sur la protection des marais en faisant référence au « régime local des eaux » qu'il faut veiller à maintenir voire à améliorer si cela favorise la régénération du marais.

Pour ce faire, il faut délimiter une « zone tampon suffisante du point de vue écologique » (art. 4 des ordonnances sur les marais), laquelle inclut une fonction hydrologique. Selon les termes de l'arrêté du Tribunal fédéral 124 II 19 de 1997 : « **La zone-tampon hydrique comprend les surfaces adjacentes aux biotopes marécageux, dans lesquelles aucune modification du régime hydrique susceptible de compromettre l'approvisionnement en eau nécessaire à la conservation des marais n'est tolérée** ».

Reste à délimiter de telles zones-tampon hydrique, et c'est **la question centrale à laquelle notre projet a tenté de répondre**.

Dans ce but, nous avons utilisé les possibilités offertes par les systèmes d'information géographique et le développement des modèles numériques de terrain (MNT) obtenus généralement par imagerie LIDAR (*Light detection and ranging*). Les MNT permettent de modéliser la topographie et de les interpréter en termes de circulation superficielle de l'eau et de bassins versants d'un point ou d'une portion de territoire donnée.

Selon les types hydrologiques de biotopes marécageux recensés pour un objet donné, les ressources en eau permettant d'assurer un approvisionnement suffisant peuvent s'avérer très variables: il peut s'agir de sources, d'un simple ruissellement de surface, d'une percolation plus ou moins permanente, d'un cours d'eau, d'un lac, ou encore d'une remontée d'eaux souterraines.

Il est donc primordial de pouvoir délimiter les types de bassins versants correspondant aux divers modes d'approvisionnement en eau d'un biotope marécageux.

Tous les types de bassins versants n'ont pas la même valeur ou pas le même rôle dans le maintien du régime local des eaux et de l'approvisionnement en eau nécessaire à la conservation des marais. C'est pourquoi, nous en sommes venus à **distinguer, en plus du complexe de biotopes marécageux lui-même, quatre types de bassins versants différents** dont le détail est explicité au tableau 1.

Types (codes)	Description	Principes de gestion à favoriser
MK	Complexe de biotopes marécageux	Sont déterminantes pour la gestion les exigences des ordonnances fédérales sur les marais.
EM	Les eaux en provenance de cette surface s'écoulent en surface ou en subsurface dans le complexe de biotopes marécageux, sans qu'il ne se forme de rigoles d'écoulement préférentiel.	Assurer la quantité, la qualité et un approvisionnement en eau sur toute la surface. Le détournement et le drainage de l'eau hors du complexe de biotopes marécageux doit être évité. Favoriser une répartition diffuse de l'eau, empêcher une concentration locale et temporaire des écoulements.
EBW	Les eaux en provenance de cette surface s'écoulent dans le complexe de biotopes marécageux par le biais de chenaux d'écoulement préférentiel ou de cours d'eau. Les eaux approvisionnent le complexe marécageux et sa nappe phréatique.	Assurer le maintien de l'approvisionnement en eau par le biais des chenaux d'écoulement préférentiel. Laisser libre cours à l'évolution naturelle des chenaux. Eviter Le détournement et le drainage de l'eau hors des chenaux et de la surface du bassin versant concerné.

Types (codes)	Description	Principes de gestion à favoriser
EBE	Les eaux en provenance de cette surface s'écoulent sous forme de cours d'eau en marge immédiate du complexe de biotopes marécageux ou à travers ce dernier. Des modifications du lit ou du régime de l'eau dans le bassin versant de tels cours d'eau peuvent conduire à une érosion des sols ou à un abaissement des niveaux phréatiques déterminants pour le maintien des biotopes marécageux.	Lors d'une incision du cours d'eau, stabiliser le lit de ce dernier aux abords du complexe de biotopes marécageux. En cas d'érosion latérale aux abords du complexe de biotopes marécageux, protéger ce dernier par des moyens appropriés.
SA	Les drainages et modifications de terrain dans ces surfaces portent atteinte au régime local des eaux et au relief caractéristique de la croissance du complexe de biotopes marécageux.	Enlever les drainages existants, ne pas tolérer de nouveaux drainages, éviter les modifications de terrain.

Tableau 1. Description des types de bassins versants permettant d'assurer l'approvisionnement en eau nécessaire à la conservation des biotopes marécageux.

Si les limites du complexe de biotopes marécageux peuvent être définies avec plus ou moins de précisions, notamment sur la base de données cartographiques détaillées de la végétation, il n'en va pas de même des bassins versant autour du complexe de biotopes marécageux. Il s'agit dans ce cas d'une interprétation, par modélisation à l'aide d'un SIG, des données fournies par un modèle numérique de terrain. Les limites de ces bassins versants sont par conséquent indicatives et c'est pourquoi elles ne sont pas dessinées en noir sur la carte de la figure 4.

Les ordres de grandeur de ces bassins versants sont cependant conformes aux mesures effectuées par le Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel (voir le rapport technique «*Dynamique hydrogéologique et bilans hydriques de marais*» pour plus de détail en annexe 1) **et aux modélisations effectuées par WSL pour estimer les distances à partir desquelles les effets d'une perturbation du régime local des eaux peuvent s'exercer sur un biotope marécageux** (voir le rapport technique «*Effekte von Erschliessungen und Gehölzen auf Zustand und Entwicklung der Vegetation in Schweizer Mooren*» pour plus de détail en annexe 2).

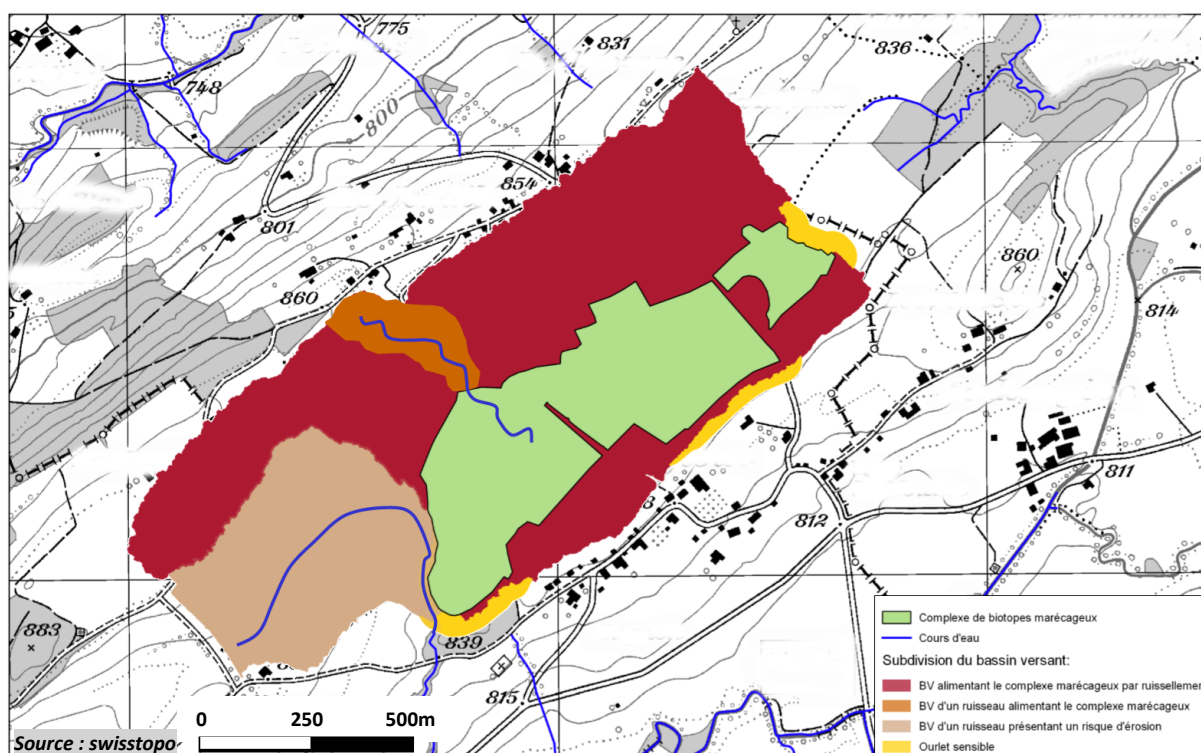


Figure 4. Détermination des types de bassins versants permettant d'assurer l'approvisionnement en eau nécessaire à la conservation des biotopes marécageux.

La carte illustrée à la figure 4 présente un exemple de la répartition possible des quatre types de bassins versants autour d'un complexe de biotopes marécageux.

L'essentiel des surfaces est constitué de portions de bassins versants caractérisé par un approvisionnement en eau par ruissellement de surface ou de subsurface (brun marron foncé). Ces surfaces approvisionnent les marais de pente (soligènes) ou d'atterrissement (limnogènes). Elles contribuent également au soutien des niveaux piézométriques de la nappe d'eau dans les zones de hauts-marais s'étant secondairement développés sur les bas-marais (soli-ombrogènes). Toute intervention qui pourrait conduire à une concentration des flux superficiels en petits ruisseaux, au lieu de la circulation actuelle très diffuse sur une très grande surface, risque de provoquer des phénomènes d'érosion et d'incision des rigoles, avec pour conséquence un drainage du marais.

Le bassin versant du petit cours d'eau aboutissant au centre du complexe de biotopes marécageux est individualisé par son propre type (brun marron clair). La nappe du cours d'eau étant en équilibre avec le marais qu'elle approvisionne en eau, toute intervention dans ce bassin versant susceptible de modifier le régime du cours d'eau doit être évitée.

Quelques ourlets (jaune foncé) présentent une topographie inclinée vers l'extérieur du complexe de biotopes marécageux. Dans ces zones, il faut éviter tout drainage et toute modification de terrain qui puisse extraire ou détourner de l'eau hors du marais et contribuer à l'assèchement de ce dernier.

Enfin, les eaux en provenance du bassin versant (beige foncé) du cours d'eau qui passe juste en bordure du complexe de biotopes marécageux n'approvisionnent pas le marais. Cependant, une modification du régime hydrologique de ce cours d'eau par des mesures telles que la rectification du tracé, le rabaissement du lit ou encore le drainage des terrains avec une augmentation consécutive des débits de crues, présente un risque que le cours d'eau se mette à éroder les sols tourbeux meubles du complexe de biotopes marécageux. Une incision du lit pourrait également modifier le gradient hydraulique entre les biotopes marécageux et le cours d'eau, provoquant un assèchement du marais.

7 Délimitation de périmètres hydrologiques comme bases pour la délimitation de zones tampon hydriques

L'ensemble des informations analysées dans la démarche proposée par le projet « *Maintien des ressources en eau dans le bassin versant des biotopes marécageux* » permet de jeter des **bases plausibles et solides pour la délimitation de zones tampon hydriques autour d'un complexe de biotopes marécageux**. Nous avons ainsi distingué trois catégories de périmètres hydrologiques à prendre en considération, chacun avec, en termes de mise en œuvre, un degré de priorité différent et des objectifs de protection ou de gestion différenciés, comme illustré à la figure 5 :

- **Le complexe de biotopes marécageux:**
C'est la **première priorité** en matière de mise en œuvre de zones tampon hydrique; **s'y appliquent strictement les dispositions légales des ordonnances fédérales** sur les marais en ce qui concerne le régime local des eaux (*art. 5. al. 1. lit. e OHM et lit. g OBM*).
- L'ensemble des **bassins versants déterminant l'approvisionnement en eau** des biotopes:
En **deuxième priorité**, les zones tampon hydriques doivent prendre en considération tout ou partie de ces bassins versants dans lesquels **aucune modification du régime hydrique susceptible de compromettre l'approvisionnement en eau nécessaire à la conservation des marais n'est tolérée**.
- Les bassins versants de cours d'eau présentant un **risque potentiel d'érosion** des sols aux abords ou au sein du complexe de biotopes marécageux:
En **troisième priorité**, les zones tampons hydriques doivent tenir compte des impacts que peuvent avoir des modifications du régime hydrique de cours d'eau présentant des risques potentiels d'érosion et d'assèchement concomitant des biotopes marécageux.

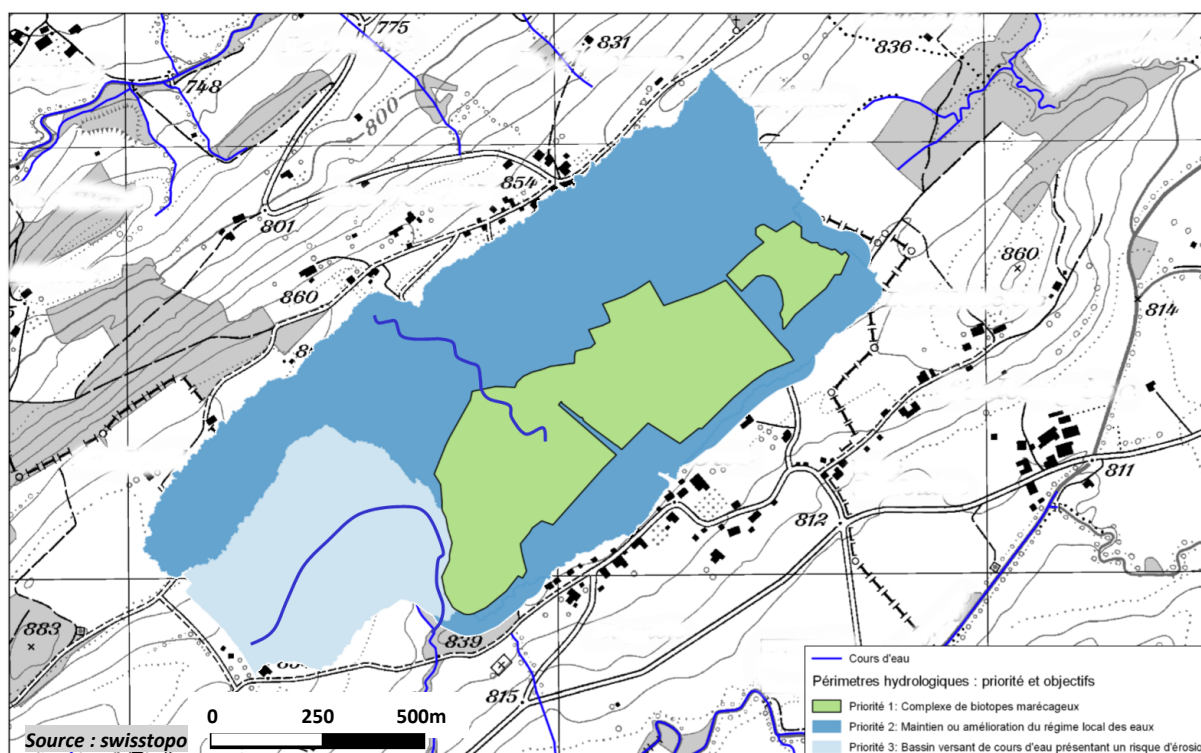


Figure 5. Délimitation et hiérarchisation de périmètres hydrologiques autour des biotopes marécageux.

En délimitant des zones tampon hydriques basées sur les périmètres hydrologiques tels que définis précédemment, **les cantons se dotent d'un outil de planification et d'aménagement du territoire leur permettant de décider si et où les auteurs d'un projet pouvant potentiellement modifier le régime**

local des eaux (route ou chemin par exemple) doivent apporter la preuve de l'absence d'une influence du projet en question sur l'approvisionnement en eau et le bon fonctionnement d'un complexe de biotopes marécageux.

Ils disposent également d'une **base plausible pour localiser les modifications du régime local des eaux** ayant potentiellement une influence non désirable sur des biotopes marécageux (drainage, détournement de cours d'eau ou captage de sources par exemple).

Enfin, ces nouvelles bases pour la délimitation de zones tampon hydrologiques permettent également de **mieux évaluer les besoins en matière de zones tampon trophique**. Elles servent notamment à esquisser des variantes de ces dernières dans les cas où des secteurs adjacents aux biotopes marécageux sont drainés et où les eaux de drainage sont conduites dans le complexe de biotopes marécageux (apports indirects de substances fertilisantes).

Le chapitre suivant présente, à titre indicatif, quelques exemples d'utilisation et d'application des bases méthodologiques élaborées dans le cadre du projet « *Maintien des ressources en eau dans le bassin versant des biotopes marécageux* ». **Il faut cependant bien garder à l'esprit qu'une telle application de ces bases méthodologiques doit avant tout servir à se poser des questions quant au fonctionnement hydrologique des biotopes marécageux.** Il est ainsi possible de formuler des hypothèses aussi bien en termes d'approvisionnement en eau que de perturbations du régime local des eaux. Ces hypothèses devront ensuite impérativement être vérifiées sur le terrain par des observations et mesures adaptées. Mais elles auront en tout état de cause permis de **cibler ces observations et mesures à effectuer et ainsi à optimiser le temps et les moyens à mettre en œuvre.**

C'est dans cette optique que, suite au travail développé au cours du présent projet, l'OFEV élabore à présent un concept combinant d'une part les analyses faites à l'aide des outils numériques que sont les SIG utilisant des modèles numériques de terrain et d'autre part des observations de terrain. Le but de ce concept est de fournir une base méthodologique complète pour obtenir un diagnostic fonctionnel simplifié qui permette, dans le meilleur des cas, de délimiter des zones tampons hydrologique plausibles et d'identifier des mesures de régénération ou de réparation des dommages au sens des art. 5 et 8, OHM et OBM.

Les tronçons de route apparaissant en jaune sur la carte de la figure 6 ne semblent pas avoir d'impact majeur sur la distribution des flux d'eau superficiels, mais cela reste à vérifier sur le terrain.

Mesures de réparation des dommages

A chaque occasion qui se présente, par exemple lors de la réfection partielle ou totale d'une route ou d'un chemin, il peut s'avérer judicieux de vérifier dans quelle mesure des techniques de constructions assurant un flux diffus des eaux à travers la structure de la route ou du chemin doivent être mises en œuvre afin de rétablir une circulation des eaux plus conforme et à éviter les phénomènes d'érosion et d'assèchement évoqués plus haut.

• Identification des perturbations liées aux drainages

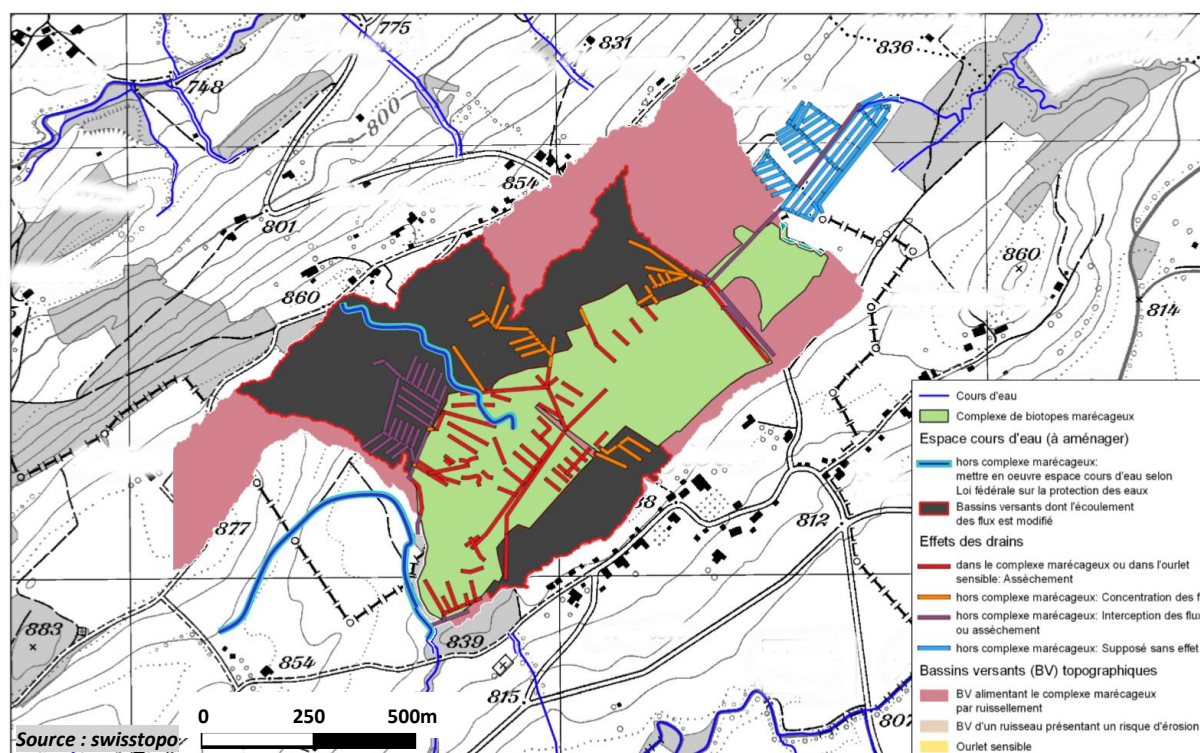


Figure 7.

La figure 7 ne représente que les bassins versants déterminant pour l'approvisionnement en eau du complexe marécageux, tels que définis plus haut.

Diagnostic

Sur cette carte apparaissent en noir, délimitées par un trait rouge, les portions de bassins versants potentiellement perturbées par la présence de drainages, qu'il s'agisse de rigoles à ciel ouvert ou de tuyaux souterrains.

Les drains sont classés selon leur position dans ou en dehors du complexe de biotopes marécageux et selon que les eaux qu'ils collectent se déversent dans ce dernier ou au contraire sont conduites à l'extérieur :

- Les drains situés dans le complexe de biotopes marécageux (en rouge) assèchent directement le marais.
- Les drains (en orange) situés en dehors du complexe de biotopes marécageux mais dont les eaux finissent par se déverser dans ce dernier restituent certes les eaux qui devraient de toute façon approvisionner le marais mais provoque aussi une concentration des flux, avec tous les risques d'érosion et d'assèchement accrus que cela peut engendrer, à l'image de ce qui a été évoqué plus haut à propos des routes.

- Les drains (en violet) situés en dehors du complexe de biotopes marécageux et dont les eaux ne se déversent pas dans ce dernier interceptent une partie des eaux de ruissellement qui devraient normalement approvisionner le marais. Il en résulte un assèchement indirect des biotopes marécageux.
- Les drains sous forme de tuyaux enterrés (en bleu clair) situés en dehors des bassins versants déterminants pour l'approvisionnement en eau du complexe de biotopes marécageux sont supposés n'avoir pas d'effets sur le marais. Toutefois, dans le cas où les eaux qu'ils captent seraient conduites dans le complexe de biotopes marécageux (contrairement au sens d'écoulement des eaux selon la topographie de surface), leur influence sur le marais devrait être prise en compte et évaluée.
- Enfin, les tronçons de ruisseaux (en bleu avec bordure élargie cyan foncé) qui, à des titres divers, ont une influence sur le régime local des eaux du complexe de biotopes marécageux, devraient faire l'objet en priorité d'un concept d'espace cours d'eau et, le cas échéant, d'un projet de revitalisation.

Mesures de réparation des dommages

A chaque occasion qui se présente, par exemple lors de la réfection de réseaux de drainage ou dans le cadre de projet de revitalisation de cours d'eau, il faut prendre les mesures qui s'imposent pour supprimer les effets du drainage ou les risques d'érosion, par un cours d'eau, des biotopes marécageux. Dans le cas des cours d'eau, des projets de revitalisation avec rehaussement du lit et reméandrement du linéaire doivent être mis en œuvre pour rétablir ou améliorer l'approvisionnement en eau des biotopes marécageux.

- **Conséquences des perturbations liées aux drainages sur la délimitation des zones-tampon trophiques**

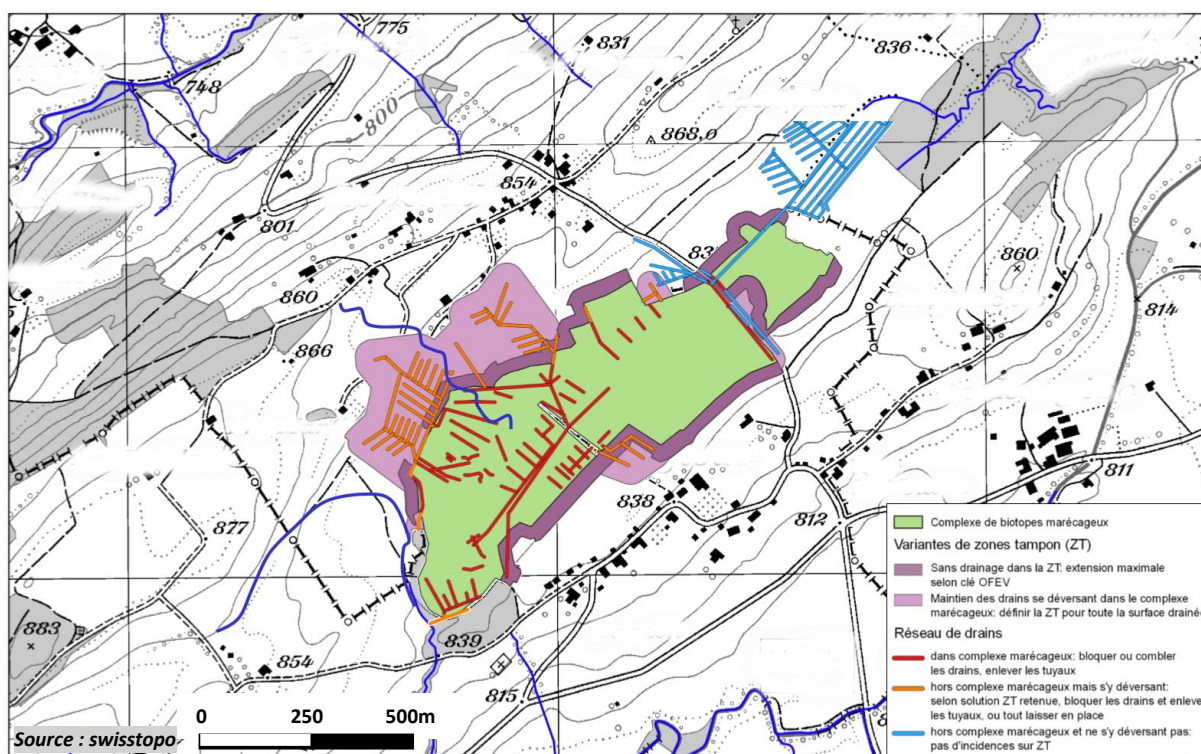


Figure 8.

La figure 8 ne représente que les variantes de zones tampon définies avec une largeur maximale selon les critères de la clé de Marti & Müller 1994 (voir le rapport technique « *Ausscheidung von Nährstoffpufferzonen zu Moorbiotopen* » pour plus de détail en annexe 5). Les deux variantes se

distinguent par le fait que les drainages hors complexe de biotopes marécageux soient maintenus ou non.

Adaptation des zones tampon trophiques

Si les drains souterrains (en orange), dont les eaux sont conduites dans le complexe de biotope marécageux, ne peuvent pas être enlevés, ils continueront d'apporter des fertilisants directement dans le marais et contribueront ainsi à l'eutrophisation de ce dernier. Par conséquent, la zone tampon trophique (en lilas clair) sera définie sur et autour de toute la surface de terrain drainée.

A l'inverse, si le réseau des drains est modifié de façon à ce que les eaux soient ramenées en surface et puissent s'écouler de manière diffuse jusqu'au marais, la zone tampon trophique (en lilas foncé) sera calculée autour du complexe de biotopes marécageux et les drains enlevés dans la zone tampon.

Bibliographie

Marti, K. & Müller, R. 1994. Zones-tampon pour les marais, *Cahier de l'environnement* no **213**, OFEFP, Berne.

Klaus, G. (éd.) 2007. Etat et évolution des marais en Suisse. Résultats du suivi de la protection des marais. *Etat de l'Environnement* n° **0730**. OFEV.

Küchler, M., Küchler, H., Bergamini, A., Bedolla, A., Ecker, K., Feldmeyer-Christe, E., Graf, U & Holderegger, R. 2018. Moore der Schweiz - Zustand, Entwicklung, Regeneration. *Bristol-Schriftenreihe* **55**, Haupt Verlag. 258pp.

Steiner, G. M. & Grünig, A. 1997. Les types hydrologiques de marais en Suisse. *Manuel de Conservation des marais en Suisse*, Vol. 2, **3.1.1**. OFEFP, Berne. 21pp.