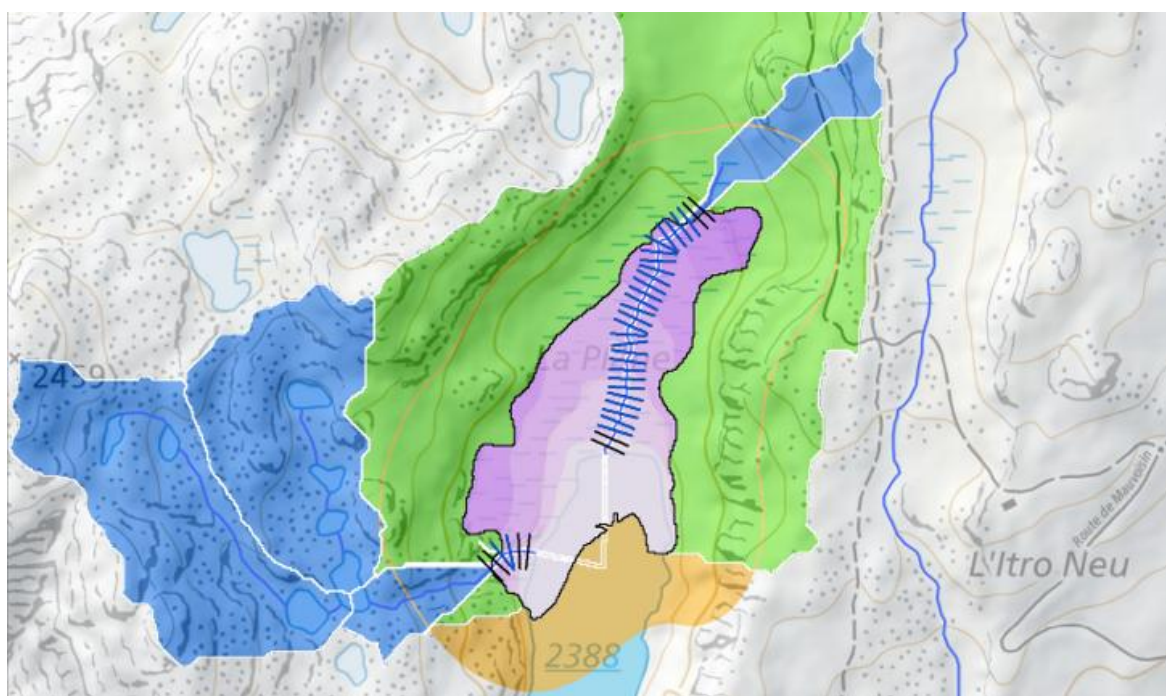


Projet partiel 1: Détermination de bassins versants topographiques et de périmètres hydrologiques indicatifs pour les hauts- et bas-marais d'importance nationale

Rapport



Berne, 03.10.2025

Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)
Dans le cadre du projet pilote A2.1 du Plan d'action pour la Stratégie Biodiversité Suisse (PA SBS):
«Atténuation des changements climatiques: une utilisation durable est bonne pour les marais suisses»

Impressum

Mandant

Office fédéral de l'environnement OFEV, Division Biodiversité et paysage, Section Politique de la biodiversité, CH-3003 Berne

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

Mandataire

geo7 AG, geowissenschaftliches Büro
Neufeldstrasse 5-9, CH-3012 Bern

Auteurs

Ursin Caduff (geo7 AG, geowissenschaftliches Büro)
Peter Gsteiger (geo7 AG, geowissenschaftliches Büro)
Philippe Grosvernier (LIN'eco)
Célien Montavon (CEM'eco)

Direction générale du projet OFEV

Gian-Reto Walther (Div. Biodiversité et paysage)

Accompagnement à la gestion globale du projet

Michael Hermann (PrivatePublicConsulting GmbH)
Andreas Scharnowski (PrivatePublicConsulting GmbH)
Lena Gubler (WSL)
Florian Knaus (ETH Zürich)

Groupe d'accompagnement

Samuel Vogel (BLW)
Gudrun Schwilch (BAFU, Abt. Boden)
Patricia Gerber-Steinmann (KBNL)
Kurt Hollenstein (KOK), Lucas Wettstein (KOLAS)
Ariel Bergamini (WSL)

Remarque

Cette étude / ce rapport a été rédigé sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Le mandataire est seul responsable du contenu.

Documents référencés

- [1] LIN'eco, Ph. Grosvernier et al. 2018. Maintien des ressources en eaux dans le bassin versant des biotopes marécageux d'importance nationale: www.marais.ch Projet mis en oeuvre dans le cadre du programme pilote Adaptation aux changements climatiques, soutenu par l'Office fédéral de l'environnement OFEV et les cantons AG BE FR GE GR JU LU NE OW SG TI UR VD VS ZG ZH.
- [2] Klaus G. (Red.) 2007: Etat et évolution des marais en Suisse - Résultats du suivi de la protection des marais. Umwelt-Zustand Nr. 0730. Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne.
- [3] Bergamini A. et al 2025: Wirkungskontrolle Biotopschutz Schweiz (WBS): Zustand und Veränderungen in den Biotopen von nationaler Bedeutung nach zwei Erhebungsperioden, WSL Berichte / Heft 174, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL).
- [4] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), 1997: Clé de détermination des zones-tampon - Guide pour déterminer des zones-tampon suffisantes du point de vue écologique pour les marais, 2^e édition.
- [5] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), 1992/2002: Manuel Conservation des marais en Suisse.
- [6] Arrêté du Tribunal fédéral ATF 124 II 19 de 1997 sur les zones-tampon suffisantes du point de vue écologique.
- [7] Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2018: Rapport à l'attention de la CEATE-E concernant des questions factuelles et juridiques sur la protection des marais et des sites marécageux. Dossier: R423-0516, 29 Octobre 2018.

TABLE DES MATIERES

1	Introduction	2
1.1	Etat et évolution des marais en Suisse	2
1.2	Zones-tampon suffisantes du point de vue écologique.....	2
1.3	La démarche «espace marais»	2
1.4	Le calcul de périmètres hydrologiques indicatifs pour les marais à l'échelle de la Suisse.....	3
1.5	Les dimensions quantitatives	3
1.6	Les données de base	4
2	Méthodologie	5
2.1	Les territoires déterminant pour l'hydrologie des marais	5
2.2	L'obtention des biogéocénoses	5
2.3	Le calcul de l'ourlet sensible	6
2.4	Le calcul des bassins versants	7
2.4.1	Corrections infimes de la géométrie des objets	7
2.4.2	La correction hydrologique du modèle d'altitude.....	8
2.4.3	Le traitement des grands cours d'eau et des lacs	8
2.4.4	Corrections du MNT aux abords des voies de trafic.....	9
2.4.5	Le traitement des dépressions	9
2.5	La détermination des types de bassins versants	10
2.5.1	Le traitement des fossés de drainage.....	10
2.5.2	Le traitement des cours d'eau proches des marais	11
2.5.3	La dérivation des types de bassins versants liés aux cours d'eau.....	11
2.5.4	Analyse de pertinence des profils en travers	13
2.5.5	Bassins versants de dépressions.....	14
2.6	Expertise technique d'assurance de qualité.....	15
3	Résultats	17
3.1	Structure du jeu de données à livrer	17
3.2	Description des modèles de données du jeu de données à livrer	17
3.3	La consultation des résultats dans le SIG / comme pdf	19
3.4	Les résultats en chiffres	21
4	Perspective	22
Annexe A.	Modèles de données du jeu de données à livrer	24
Annexe B.	Le flux de travail «espace marais»	29
Annexe C.	Critères «ourlet sensible»	30

Management Summary

Selon les bases légales en vigueur, les hauts- et bas-marais inscrits aux inventaires fédéraux doivent être protégés par des «zones-tampon suffisantes du point de vue écologique» et le régime local des eaux doit être maintenu voire amélioré. Il n'existait jusqu'à présent aucune donnée de base pour assurer le maintien des ressources en eau des biotopes marécageux. Le présent projet comble désormais une partie de cette lacune. Sur la base de la méthodologie développée dans le cadre du projet «espace marais» [1], l'OFEV a lancé le présent projet partiel (Projet partiel 1) grâce auquel le périmètre hydrologique indicatif pour les marais de tous les objets des inventaires fédéraux de hauts- et bas-marais sont spatialement délimités.

Le périmètre hydrologique indicatif pour les marais est un espace calculé automatiquement par SIG et qui exerce une influence du point de vue hydrologique sur un biotope marécageux. La délimitation du périmètre s'effectue à l'aide d'une méthodologie de calcul complexe et la prise en compte de diverses géo-données, toutefois sans travail sur le terrain ni connaissances locales spécifiques. Dans le cadre de l'assurance de qualité, une évaluation de chaque périmètre calculé a été menée par un-e spécialiste des marais. Lors des calculs par SIG, en plus de la délimitation du périmètre, une caractérisation fonctionnelle des surfaces englobées dans le périmètre hydrologique indicatif pour les marais a été effectuée. Celle-ci est importante pour la compréhension de l'hydrologie des marais et sert de base à des études hydrologiques plus approfondies.

Le périmètre hydrologique indicatif pour les marais mis à disposition des cantons permet à ces derniers, sur la base de ce jeu de données, de définir un flux de travail qui ouvre la voie à une évaluation de conflits potentiels en matière d'hydrologie des marais lors de décisions des autorités (procédures d'autorisation).

Il peut être compris comme un premier modèle de d'hydrologie des marais de chaque objet des inventaires correspondants et constitue la première étape de la démarche «espace marais». A l'aide d'une visite sur le terrain, de connaissances locales et d'une intégration plus détaillée de considérations géologiques, ce modèle peut être vérifié et encore amélioré.

1 Introduction

1.1 Etat et évolution des marais en Suisse

Les résultats du suivi des effets de la protection des biotopes de 2007 [2], de même que ceux de 2025 [3] montrent que la qualité des marais a nettement diminué. Beaucoup de marais sont devenus plus secs et présentent un taux de boisement plus élevé. Les mesures de régénération ont porté leur fruit, bien qu'elles s'avèrent trop rares et sur de trop petites surfaces pour compenser les pertes qualitatives. D'importantes lacunes subsistent encore dans la mise en œuvre et l'exécution des zones-tampon [4] selon l'art. 3, al. 1 des Ordonnances fédérales sur les hauts-marais, respectivement les bas-marais. Dans les sites marécageux, des bâtiments, des routes et des chemins continuent d'être construits en contradiction avec les buts de protection (art. 4 de l'Ordonnance sur les sites marécageux). Les auteurs de [2] en arrivent à la conclusion que la dégénérescence continue des marais est à mettre en premier lieu sur le compte des fossés et systèmes de drainage existants ainsi que sur les intrants de fertilisants en provenance des environs et de l'atmosphère. La délimitation de zones-tampon à fonction hydrologique est considérée comme une contribution importante à la conservation de beaucoup de biotopes marécageux.

1.2 Zones-tampon suffisantes du point de vue écologique

Selon les bases légales en vigueur (Ordonnances sur les hauts-marais et sur les bas-marais), les marais désignés dans les inventaires de la Confédération et des cantons doivent être complétés par des zones-tampon suffisantes du point de vue écologique. Comme indiqué dans le Manuel Conservation des marais en Suisse [5], la notion de zone-tampon suffisante du point de vue écologique a été clarifiée de manière univoque par le Tribunal fédéral [6] :

- 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.
- Les zones-tampon biologiques s'étendent aux terrains servant d'espace vital aux espèces animales et végétales spécifiques des biotopes marécageux et des zones de transition.

Lors d'une utilisation donnée au sein de zones-tampon, il faut vérifier de cas en cas que l'utilisation ou le projet planifié soit compatible avec les buts de protection des zones-tampon. Ce faisant, il convient d'examiner de cas en cas si une utilisation ou un projet prévu est compatible avec les buts définis pour la zone-tampon [7] selon l'art. 5, al. 2 de l'Ordonnance sur les hauts-marais et de l'art. 5, al. 3 de l'Ordonnance sur les bas-marais.

1.3 La démarche «espace marais»

La Confédération (OFEV) a soutenu de 2014 à 2018, dans le cadre du programme pilote «Adaptation aux changements climatiques» et ensemble avec 16 cantons un projet consacré au maintien des ressources en eaux des biotopes marécageux d'importance nationale, projet dénommé « espace marais » [1]. Ces travaux se basent sur une compréhension systémique des marais en tant qu'entités fonctionnelles biologiques et géomorphologiques désignées par le terme de biogéocénoses (complexe de biotopes marécageux), lesquelles doivent être prises en compte en vue de préserver l'hydrologie des marais.

La démarche développée dans le cadre du projet «espace marais» établit un processus en plusieurs étapes pour identifier les surfaces déterminantes pour le régime de l'eau des marais (An-

nexe B) et concrétise de ce fait l'évaluation globale postulée en lien avec un périmètre hydrologique déterminant pour les marais dans les lignes directrices de 1997 [4]. La démarche «espace marais» reconnue comme processus approprié par l'OFEV.

Les résultats essentiels et les nouveaux outils de planification issus de la démarche «espace marais» sont la biogéocénose (ou complexe de biotopes marécageux), le périmètre hydrologique indicatif et le périmètre hydrologique pour les marais, ce dernier faisant l'objet du projet partiel 2.

La biogéocénose (ou complexe de biotopes marécageux)

La portion de territoire qui doit être considérée en relation avec le régime local des eaux des biotopes marécageux est définie comme une entité fonctionnelle à la fois biologique et géomorphologique. Elle n'inclut pas seulement les surfaces à végétation caractéristique de haut- et de bas-marais désignées dans les inventaires ; elle peut également englober, au sein d'un même compartiment paysager, des surfaces adjacentes comprenant des forêts marécageuses, d'autres milieux humides ainsi que des sols organiques. L'ensemble de ces éléments constituent le «complexe de biotopes marécageux» désignés comme biogéocénose et dont le régime de l'eau doit être préservé.

Le périmètre hydrologique indicatif pour les marais

Le périmètre hydrologique indicatif pour les marais désigne le territoire déterminant pour la préservation des ressources en eau et des flux (de surface et de subsurface) pour les biotopes marécageux. Dans le périmètre hydrologique indicatif pour les marais prévaut le principe, ancré dans la législation sur l'environnement, selon lequel le porteur de projet doit apporter la preuve que son projet n'aura pas d'incidences sur les biotopes non conformes aux buts de protection selon les art. 4 et 5 des Ordonnances sur les hauts-marais et sur les bas-marais.

1.4 Le calcul de périmètres hydrologiques indicatifs pour les marais à l'échelle de la Suisse

Afin de générer des données de base hydrologiques pour les hauts- et les bas-marais, le périmètre hydrologique indicatif pour les marais a été calculé ces dernières années sur la base de la méthodologie «espace marais» par certains cantons. De manière à compléter ces données de base, l'OFEV a désormais lancé le présent projet partiel, grâce auquel le périmètre hydrologique indicatif pour les marais est spatialement déterminé pour tous les objets des inventaires fédéraux des hauts-marais respectivement des bas-marais. Ce projet partiel fait partie du projet pilote A2.1 du Plan d'action pour la Stratégie Biodiversité Suisse ayant pour titre: «Atténuation des changements climatiques: une utilisation durable est bonne pour les marais suisses». D'autres informations concernant l'ensemble du projet ainsi que les trois autres projets partiels sont disponibles sur la page web de l'OFEV¹.

1.5 Les dimensions quantitatives

Les 551 objets de l'inventaire fédéral des hauts-marais et marais de transition d'importance nationale de même que les 1'335 objets de l'inventaire fédéral des bas-marais d'importance nationale (état octobre 2021) correspondent aux biotopes marécageux déterminants pour le projet. Comme des périmètres hydrologiques indicatifs pour les marais selon la méthodologie « espace marais » ou encore des examens plus approfondis en hydrologie des marais sont déjà disponibles pour une partie de ces objets (p. ex. cantons de Berne, Fribourg, hauts-marais du canton de Zurich ainsi que divers objets de plusieurs cantons), les calculs effectués dans le cadre du présent projet ont été restreints aux objets pour lesquels, selon l'état de connaissance de l'équipe de projet, il n'existe pas encore d'analyse détaillée sur le plan de l'hydrologie des marais.

¹ https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/biodiversite/politique/strategie-et-plan-daction-pour-la-biodiversite/aktuelle_projekte/nachhaltige_nutzungen_mooren.html

Dans le jeu de données délivré se trouve pour chaque canton une liste des objets pour lesquels aucun périmètre hydrologique indicatif pour les marais n'a été calculé dans le cadre du présent projet (voir chapitre 3.1).

1.6 Les données de base

Le calcul des périmètres hydrologiques indicatifs pour les marais est basé sur les géodonnées de base suivantes:

- inventaire fédéral des hauts-marais et marais de transition d'importance nationale, OFEV, Version 1.4
- inventaire fédéral des bas-marais d'importance nationale, OFEV, Version 1.5
- swissALTI3D², swisstopo, téléchargement des données du 03.2022
- swissTLM3D³, swisstopo, Version «SWISSTLM3D_2022_LV95_LN02»
- SWISSIMAGE⁴, swisstopo, accès par le service WMTS
- jeu de données vectorielles Réservoirs aquifères 500 (GK500)⁵, swisstopo, Version 1.3
- GeoCover⁶, Version 2, swisstopo, accès par le service WMTS

² <https://www.swisstopo.admin.ch/fr/modele-altimetrique-swissalti3d>

³ <https://www.swisstopo.admin.ch/fr/modele-du-territoire-swisstlm3d>

⁴ <https://wmts.geo.admin.ch/EPSC/2056/1.0.0/WMTSCapabilities.xml>

⁵ <https://www.swisstopo.admin.ch/fr/geocartes-500-vectoriel>

⁶ <https://wmts.geo.admin.ch/EPSC/2056/1.0.0/WMTSCapabilities.xml>

2 Méthodologie

2.1 Les territoires déterminants pour l'hydrologie des marais

Les termes de «périmètre hydrologique indicatif pour les marais» et de «biogéocénose» ont été introduits au chapitre 1.3. Le périmètre hydrologique indicatif pour les marais englobe la biogéocénose, le bassin versant topographique de cette dernière ainsi que l'ourlet sensible de la biogéocénose. Il documente, au sens d'un territoire indicatif, où les conditions hydrologiques doivent être prises en compte lors de l'exécution des Ordonnances sur les hauts-marais et sur les bas-marais.

Le périmètre hydrologique indicatif pour les marais est basé sur les types de bassins versants suivants, décrits conceptuellement dans la méthodologie « espace marais »:

- **Biogéocénose (ou complexe de biotopes marécageux (type de surface mk))**
- **Approvisionnement en eau de versant (type de surface em)**
De la zone d'alimentation, l'eau s'écoule sous forme de ruissellement ou d'écoulement proche de la surface («subsurface flow») dans la biogéocénose.
- **Approvisionnement superficiel par un cours d'eau (type de surface ebm)**
De ces surfaces, l'eau des ruisseaux s'écoule presque au niveau du sol dans l'aquifère du biotope marécageux et assure un approvisionnement continu en eau dans le corps marécageux grâce à des ruisseaux pérennes.
- **Approvisionnement par un cours d'eau incisé (type de surface ebw)**
De ces surface, l'eau des ruisseaux s'écoule dans l'aquifère du biotope marécageux et approvisionne / stabilise la masse d'eau souterraine de ce dernier.
- **Bassin versant de cours d'eau érosifs (type de surface ebe)**
Un ruisseau qui traverse le complexe marécageux ou qui coule en bordure de celui-ci menace le niveau d'eau dans le biotope marécageux en raison de l'érosion en profondeur.
- **Ourlet sensible (type de surface sa)**
Zone de 25 à 50 m de large autour de la biogéocénose, qui, en raison de son emplacement, est sensible sur le plan hydrologique.

2.2 L'obtention des biogéocénoses

Une condition de base pour le calcul du périmètre hydrologique indicatif pour les marais est une localisation correcte et précise des biotopes marécageux selon les géodonnées. Dans l'inventaire des hauts-marais d'importance nationale, des surfaces qui ne portent pas de végétation typique de haut-marais mais qui appartiennent néanmoins à l'écosystème haut-marais, en raison de leur sol marécageux ou tourbeux, ont été incluses dans ce qui a été dénommé la «zone de contact». Dans le même temps, des surfaces à caractère de zone-tampon, qui n'appartiennent par conséquent pas à l'écosystème haut-marais, avaient été ajoutées à la «zone de contact» du haut-marais. C'est pourquoi, lors d'une première étape de travail, les périmètres des hauts-marais ont été vérifiés, à l'aide d'orthophotos et du modèle numérique de terrain et d'altitude de swisstopo, et ajustés aux surfaces de l'écosystème haut-marais (biogéocénose). Les forêts constituent une exception à ce procédé, dans la mesure où, d'une part, elles sont insuffisamment documentées dans l'inventaire des hauts-marais, d'autre part, des données de base correspondantes pour cette étape d'ajustement font défaut. Pour cette raison, toutes les forêts figurant dans la «zone de contact» des hauts-marais ont été laissées dans l'écosystème haut-marais.

De plus, les localisations inexactes évoquées plus haut ont conduit à des données incohérentes dans les cas où se produit un chevauchement entre les inventaires des hauts-marais et des bas-marais. Dans ces domaines, les objets bas-marais et les surfaces désignées comme bas-marais dans la «zone de contact» des hauts-marais ont été ajustées. L'adaptation des surfaces a été effectuées par des personnes compétentes en écologie des marais et ayant une expérience de terrain. Les surfaces résiduelles engendrées par la fusion des deux inventaires ont été examinées et ajustées, selon leur pertinence, grâce à l'expertise de ces mêmes personnes. De cette manière,

un jeu de données sans chevauchements, avec une attribution univoque des surfaces pour le calcul du périmètre hydrologique indicatif pour les marais, a pu être généré.

Enfin, les objets marécageux qui étaient constitués de plusieurs polygones (multipart) ont été subdivisés en objets partiels (singlepart), et à chaque objet partiel a été attribué un numéro partiel à deux positions. La subdivision en polygones simples a pour but une résolution plus haute et une meilleure compréhension des résultats, ce qui permet une interprétation plus précise du résultat final.

Pour chaque objet partiel, un ID univoque a été dérivé à partir du numéro d'objet de l'objet de l'inventaire correspondant. De manière à séparer les ID des deux inventaires et à garantir que les ID restent univoques, le terme de 100'000 a été ajoutés à tous les numéros d'objets bas-marais (ID > 100'000 → inventaire des bas-marais, ID < 100'000 → inventaire des hauts-marais).

- hauts-marais:
numéro d'objet partiel = numéro d'objet * 100 + numéro partiel (2 dernières positions)
- bas-marais:
numéro d'objet partiel = 100'000 + numéro d'objet * 100 + numéro partiel (2 dernières positions)

Les complexe de biotopes marécageux ainsi ajustés forment la zone centrale du périmètre hydrologique indicatif pour les marais. Ils représentent la biogéocénose marécageuse effective dont le régime local des eaux doit être préservé.

2.3 Le calcul de l'ourlet sensible

L'ourlet sensible désigne les surfaces auxquelles est attribué un haut degré de sensibilité de par leur position (adjacente à la biogéocénose) eu égard au drainage et aux modifications de terrain. Sa largeur s'étend sur au moins 25m, au maximum 50m. Les critères pour la délimitation de ces surfaces sont consignés dans une clé de terrain spécifique (Annexe C, résultat «espace marais»). Les règles ancrées dans cette clé ont été transposées de la manière suivante dans l'analyse par SIG :

La largeur de l'ourlet est de 25 m

- là où le terrain à 25m se situe à plus de 5m au-dessous du pixel de marais le plus proche

La largeur de l'ourlet est de 25 m à 50 m

- là où le terrain à une distance de 25 à 50 m se situe au moins 5 m au-dessous du pixel de marais le plus proche, ou
- là où un cours d'eau s'écoule à une distance de 25 à 50 m du marais, ou
- là où une crête du terrain s'approche à une distance de 25 m à 50 m du marais.

Dans tous les autres cas, la largeur de l'ourlet sensible est de 50 m.

Le calcul de l'ourlet sensible est effectué sur la base des cellules raster du modèle d'altitude numérique MNT. A la suite du calcul au pixel près, le résultat est généralisé (nettoyage des surfaces résiduelles et des trous) et la géométrie résultante est lissée.

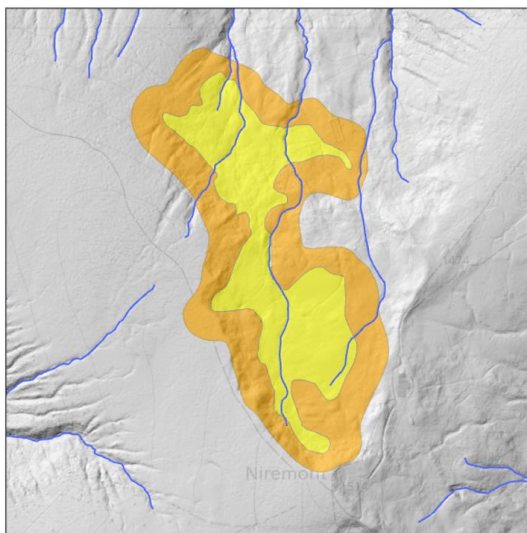


Figure 1: Exemple d'une biogéocénose (jaune) entourée de l'ourlet sensible (orange).

2.4 Le calcul des bassins versants

La zone d'approvisionnement de chaque surface de biogéocénose est déterminée par le calcul de son bassin versant topographique. Le calcul se fait à l'aide d'un système d'information géographique sur la base du modèle numérique d'altitude précis «swissALTI3D» de swisstopo avec une taille de cellules de 50cm. Un algorithme de type «Single-Flow» est utilisé: dans un premier temps, on calcule, pour chaque pixel, dans lequel des huit pixels adjacents il se déverse («flow direction»). Il est ensuite possible d'additionner le nombre de pixels le long de cette ligne de flux («flow accumulation») et, sur la base des lignes de flux calculées, on peut dès lors déterminer le bassin versant topographique pour n'importe quel point à choix. De manière à obtenir un résultat plausible issu du calcul des bassins versants, on applique les techniques décrites dans les sous-chapitres suivants.

2.4.1 Corrections infimes de la géométrie des objets

Dans la mesure où la caractérisation des bassins versants distingue les cours d'eau qui traversent un objet de ceux qui longent ce dernier (voir chapitre 2.5), on effectue un ajustement technique des jeux de données de cours d'eau et de géométrie des objets (biogéocénoses) selon la plausibilisation géométrique et la composition des inventaires (voir chapitre 2.2). Comme, techniquement, seulement quelques millimètres suffisent à faire d'un cours d'eau longeant un objet un cours d'eau traversant ce même objet, la biogéocénose est automatiquement ajustée de façon à ce que les cours d'eau la longeant ne la traversent pas non plus techniquement (voir Figure 2). L'ajustement n'est que temporaire et se limite aux tronçons où des cours d'eau se situent en bordure immédiate d'un objet.

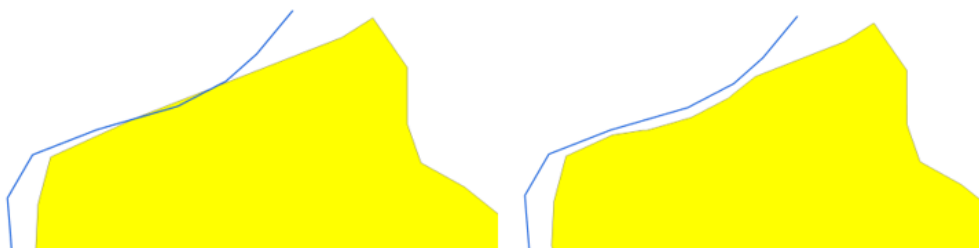


Figure 2: Ajustement de la biogéocénose selon un cours d'eau en longeant le bord.

2.4.2 La correction hydrologique du modèle d'altitude

Dans un MNT non corrigé, en particulier dans les zones de formes d'accumulation (cônes d'éboulis ou de déjection, fonds de vallées) ou de mise sous tuyau des cours d'eau, les lignes de flux calculées (lignes oranges et rouges) s'écartent des cours d'eau (voir ellipse turquoise dans la Figure 3). Cela conduit à la délimitation de bassins versants qui ne sont pas plausibles. Dans le cadre de la préparation des MNT, les cours d'eau selon les données de base géographiques «swissTLM3D» de swisstopo sont incisées plus profondément dans la topographie numérique. Par ce procédé, on s'assure que les lignes de flux calculées sur la base de la topographie corrigée (lignes oranges et rouges) suivent les cours d'eau.

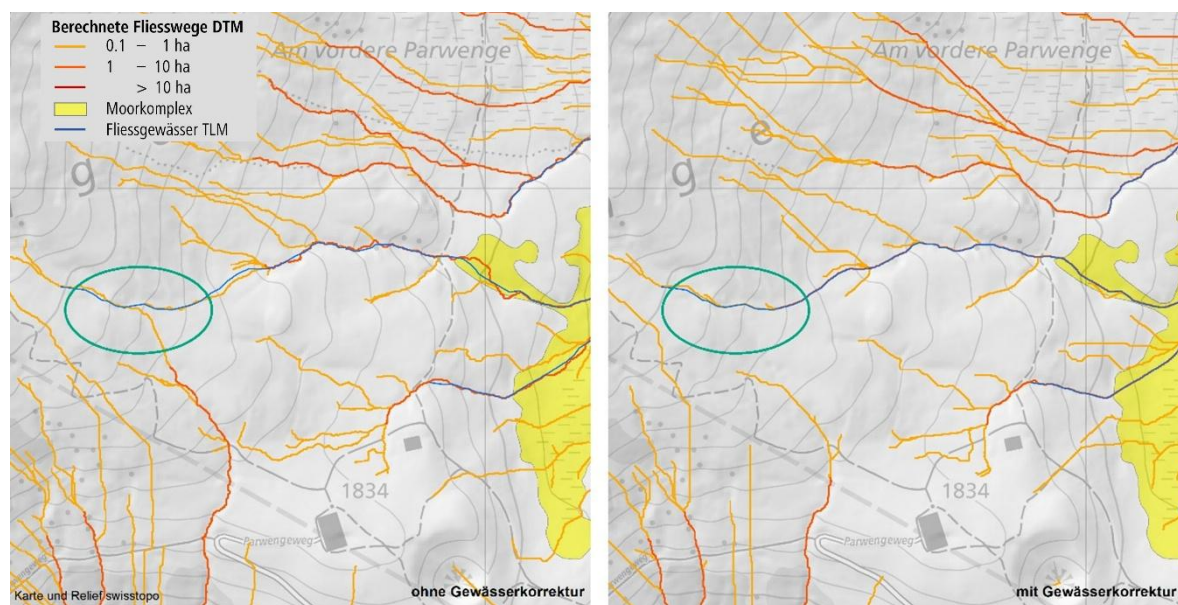


Figure 3: Lignes de flux représentées sans (à gauche) / avec (à droite) correction des cours d'eau.

2.4.3 Le traitement des grands cours d'eau et des lacs

De nombreuses biogéocénoses se sont développées le long de cours d'eau et de lacs. Du point de vue hydrologique, les grands cours d'eau et les lacs sont souvent d'une importance capitale pour le régime de l'eau des biogéocénoses situées à proximité. Pour ces dernières, la zone d'influence hydrologique est *de facto* de l'ordre de centaines ou de milliers de kilomètres carrés. Comme la préservation des conditions hydrologiques pour les grands cours d'eau dépend plus de la régulation des eaux, respectivement de la stabilisation des lits, que d'autres processus de construction dans le bassin versant, les bassins versants calculés ayant plus de 25 km² ne sont pas pris en compte dans le périmètre hydrologique indicatif pour les marais. En outre, indépendamment de l'exclusion des grands cours d'eau, les bassins versants des lacs avec une surface plus grande que 1ha sont également exclus (voir Figure 4).

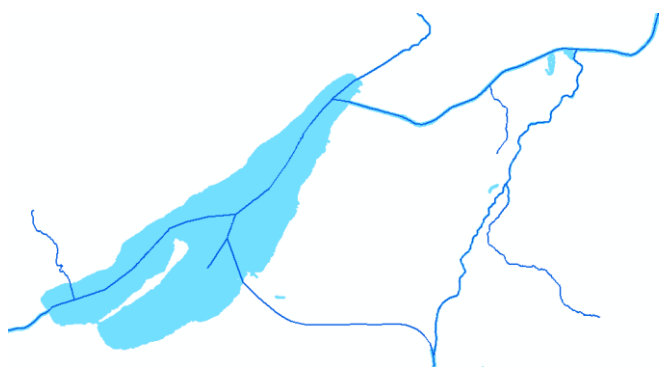


Figure 4: Quantification des grands cours d'eau (bleu) et polygones de lacs (bleu clair) dans la région du Lac de Bienne et la Vieille Aar.

2.4.4 Corrections du MNT aux abords des voies de trafic

Aux abords des voies de trafic, un corridor équivalant environ à 3 fois la largeur de la route ou chemin carrossable est effacé. Entre les limites de ce corridor, la topographie est ensuite interpolée linéairement et réinsérée dans le MNT. Ce processus est appliqué aux voies de trafic suivantes :

- Routes et chemins
- Voies de chemin de fer

Il n'est pas appliqué aux voies de trafics suivantes:

- Autoroutes
- Types d'objet («Objektart» dans le jeu de données de swisstopo) «Raststätte», «Verbindung», «1m Wegfragment», «Markierte Spur»
- Voies de trafic avec ouvrages d'art («Brücke», «Tunnel», «Galerie», «Unterführung» etc.)

La Figure 5 montre comment l'influence sur les lignes de flux peut être corrigée par la mise en oeuvre de ce processus. Le calcul des bassins versants est effectué sur la base d'un MNT corrigé de la sorte.

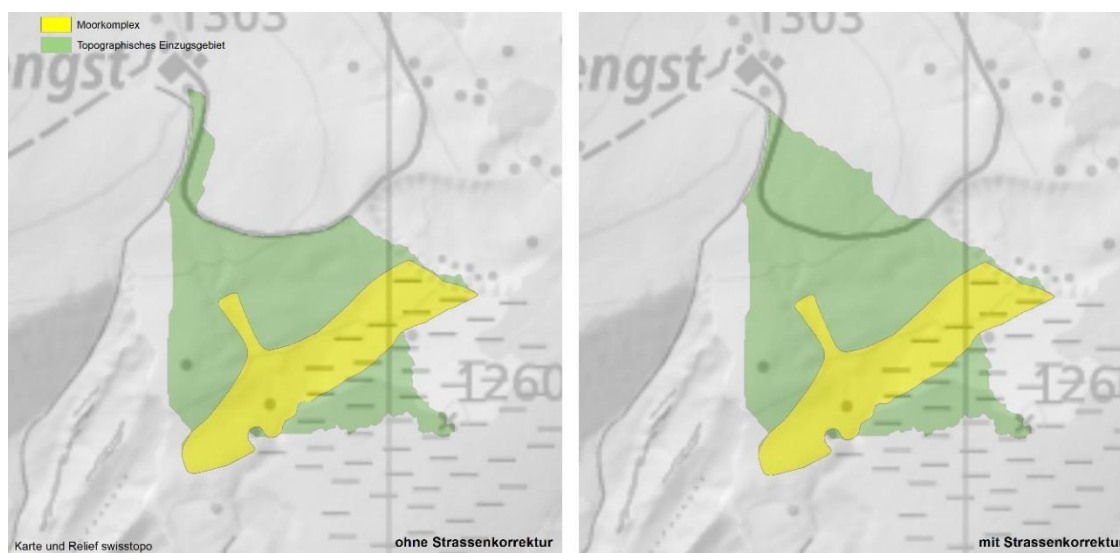


Figure 5: Effet de la correction du MNT aux abords d'une route sur le bassin versant d'un objet marécageux.

2.4.5 Le traitement des dépressions

Petites dépressions

En principe, les dépressions dans un MNT peuvent être détectées à l'aide de fonctionnalités SIG (analyse de directions de flux) et remplies de manière ciblée. Un traitement approprié des dépressions dans le contexte du calcul de périmètres hydrologiques indicatifs pour les marais s'est cependant avéré exigeant : si les dépressions sont trop fortement remplies, des compartiments de terrain séparés du point de vue hydrologique-topographique sont regroupés; si les dépressions sont remplies de manière trop parcimonieuse, on obtient des résultats incomplets.

Pour les petites dépressions, le traitement suivant s'est avéré applicable et approprié:

- Remplissage automatique des petites dépressions (profondeur < 1 m) dans le cadre de la préparation du MNT.

Grandes dépressions

Les grandes dépressions sont pré-calculées avant le calcul des bassins versant. Grâce à cette connaissance préalable des dépressions, il est possible d'éviter que le périmètre calculé n'inclue

que partiellement de grandes dépressions. Une intégration incomplète des grandes dépressions pourrait affecter le résultat du calcul dans la mesure où leur profondeur, leur extension et leur point de surverse seraient modifiés par la prise en compte incomplète des dépressions. Par le pré-calcul des dépressions, on s'assure que les dépressions déterminantes soient entièrement englobées dans le périmètre calculé.

Les concepts du traitement des grosses dépressions (dépressions de terrain et dépressions liées au karst) font l'objet du chapitre 2.5.5.

2.5 La détermination des types de bassins versants

La typologie selon «espace marais» (voir chapitre 2) distingue différents types de bassins versants en relation avec leur fonction hydrologique pour les biogéocénoses. Les sous-chapitres qui suivent décrivent des aspects spécifiques de cette thématique et leur mise en œuvre technique.

2.5.1 Le traitement des fossés de drainage

Les fossés de drainage sont des structures construites destinées à l'évacuation de l'eau hors des zones humides. Il ne s'agit pas de cours d'eau naturels mais au contraire de structures anthropogènes qui perturbent l'hydrologie des marais. Ils ne sont par conséquent pas considérés comme cours d'eau lors de la caractérisation des bassins versants. Dans les géodonnées de swiss-topo, ils font cependant partiellement partie des cours d'eau et ne sont pas identifiables comme objets spécifiques.

Une distinction technique entre fossés de drainage et cours d'eau naturel exige un examen des cartes historiques ainsi qu'une évaluation par expertise. Un tel degré de détail n'est pas prévu dans le volume de travail consacré au périmètre hydrologique indicatif pour les marais. C'est pourquoi les fossés de drainage sont détectés à l'aide de critères géométriques simples et de la pente de leur lit selon les tronçons de cours d'eau du jeu de géodonnées TLM-Fliessgewässer swissTLM3D:

Densité de sommets < 40 / km

En préambule au calcul de leur densité, tous les sommets dont l'effacement engendre un déplacement de moins de 50cm de la ligne du cours d'eau sont éliminés.

Pente du lit < 4 %

$(Z_{\max} - Z_{\min}) / \text{longueur du tronçon}$

Longueur totale du cours d'eau < 1000 m

Les tronçons de cours d'eau de surface sont appondus selon leur numéro de cours d'eau et leur longueur totale calculée.

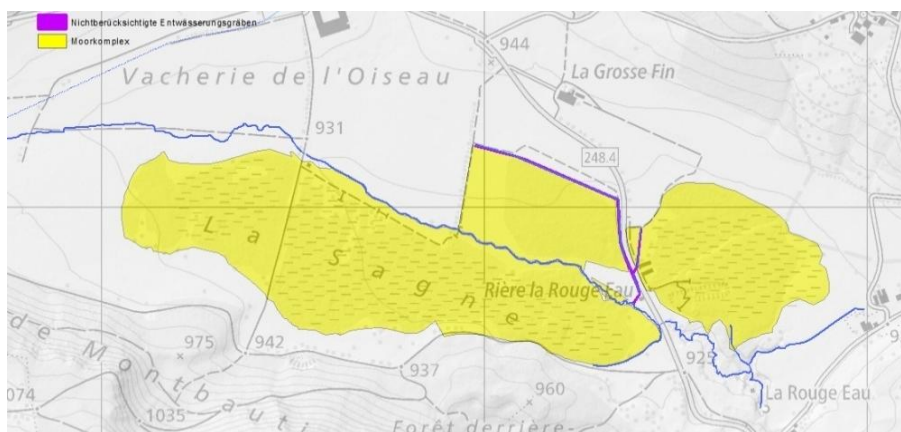


Figure 6: Tronçon de fossé de drainage détecté et non pris en considération (magenta).

2.5.2 Le traitement des cours d'eau proches des marais

Avec les modèles à hautes résolution swissALTI3D et les axes de cours d'eau localisés avec précision selon swissTLM3D de swisstopo, on dispose de données de base de grande valeur pour des analyses assistées par SIG le long des cours d'eau. Pour l'analyse de la topographie le long de cours d'eau, on utilise des outils basés sur des profils en travers. Ceux-ci permettent une analyse à petite échelle de différences de hauteur entre l'axe (numérique) d'un cours d'eau et le terrain environnant le long de vecteurs échelonnés (voir Figure 7) ainsi qu'une mesure de la pente longitudinale de l'axe du cours d'eau.

Profils en travers

Pour l'évaluation de l'incision du cours d'eau, on utilise la différence de hauteur entre le cours d'eau ($z_{\min}$ du milieu de profil ± 2.5 m) et du point le plus bas des deux hauteurs $z_{\max}$ mesurées de part et d'autre du profil. Dans le cas des cours d'eau longeant une biogéocénose et dont les profils ne touchent cette dernière que d'un côté, la différence à $z_{\max}$ est mesurée sur ce côté déterminant.

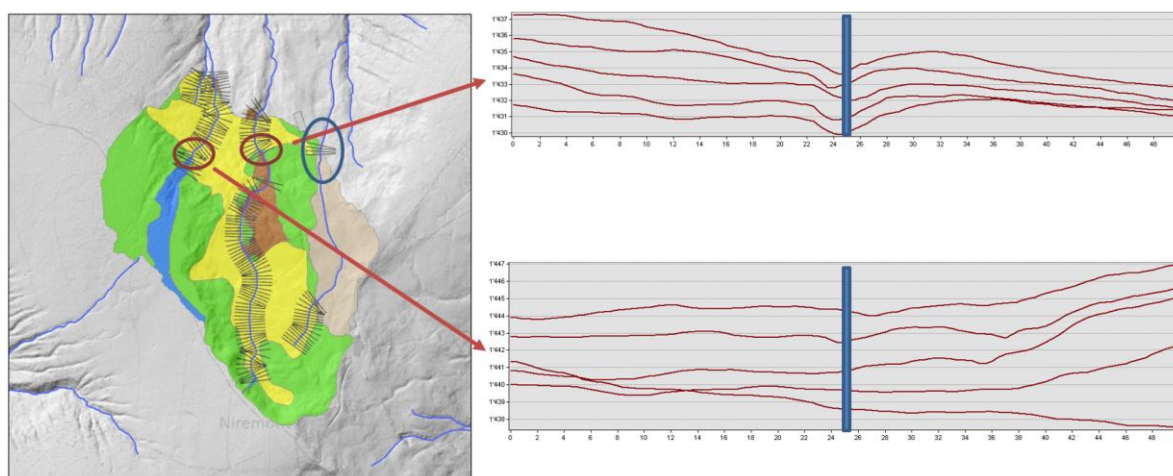


Figure 7: Evaluation de profils en travers de cours d'eau comme base pour la caractérisation des types de bassins versants.

Pente forfaitaire par rapport au bord du marais

A l'aide d'analyses de voisinage, il est également possible d'analyser l'éloignement et la différence de hauteur entre l'axe d'un cours d'eau et le bord du biotope marécageux, à partir de quoi résulte une pente forfaitaire. Cette évaluation ne concerne que les cas où le point du milieu du profil ne touche pas l'objet marécageux.

Pente du lit du cours d'eau

La pente du lit du cours d'eau est calculée pour chaque tronçon de la rigole à l'aide de la formule ci-dessous:

$$\text{Pente du lit} = \frac{(z_{\max} - z_{\min})}{\text{Longueur du tronçon}}$$

2.5.3 La dérivation des types de bassins versants liés aux cours d'eau

La caractérisation des bassins versants liés aux cours d'eau est basée sur la détermination préalable des données concernant la position de leurs cours d'eau:

Le cours d'eau s'écoule à travers la biogéocénose

Dans un tel cas, on évalue l'incision de l'axe de la rigole par rapport au terrain marécageux adjacent des deux côtés à l'aide des profils en travers. Le traitement suivant est appliqué:

- Si le cours d'eau s'infiltre dans le terrain en amont de la biogéocénose ou si le lit du cours d'eau se situe à maximum 20cm de profondeur par rapport au terrain marécageux adjacent et que la pente longitudinale du cours d'eau est de moins de 4%, on postule une alimentation directe du biotope marécageux par l'eau du cours d'eau (type de surface EBM, soit *Einzugsgebiet-Bachwasser-Moor*).
- Si l'axe du cours d'eau se situe jusqu'à 100cm plus bas que le terrain marécageux adjacent, on postule que l'eau du cours d'eau alimente la biogéocénose au moins par le biais de la nappe phréatique (type de surface EBW, soit *Einzugsgebiet-Bachwasser*).
- Si l'axe du cours d'eau se situe de 100 à 200cm plus bas que le terrain marécageux adjacent, on postule que le maintien du corps marécageux est menacé par une érosion profonde et de ce fait par un drainage subséquent (type de surface EBE, soit *Einzugsgebiet-Bach-Erosion*).
- Si l'axe du cours d'eau se situe à plus de 200cm plus bas que le terrain marécageux adjacent, on postule que le cours d'eau n'exerce plus d'influence sur le régime des eaux du biotope marécageux. Même si le cours d'eau menace le maintien à long terme du biotope marécageux, son bassin versant ne fait pas partie du périmètre hydrologique indicatif pour les marais.

Les valeurs limite indiquées (20, 100, 200cm) constituent à chaque fois la moyenne de maximum 5 profils successifs.

Le cours d'eau s'écoule à une distance maximale de 10m de la biogéocénose

Dans ce cas, on évalue l'incision de l'axe de la rigole par rapport au terrain marécageux adjacent du côté de la biogéocénose à l'aide des profils en travers. Lors de l'analyse, on considère en plus la pente longitudinale au niveau d'un profil donné ainsi que la différence de hauteur par rapport au point de contact avec la biogéocénose le plus proche.

En présence d'une pente longitudinale jusqu'à 4%, le traitement suivant est appliqué:

- Si l'axe du cours d'eau se situe au maximum 20cm plus bas que le terrain marécageux adjacent et que la différence de hauteur par rapport au point de contact avec la biogéocénose le plus proche ne dépasse pas non plus 20cm, on postule une alimentation directe du biotope marécageux par l'eau du cours d'eau (type de surface EBM, soit *Einzugsgebiet-Bachwasser-Moor*).

En présence d'une pente longitudinale jusqu'à 10%, le traitement suivant est appliqué:

- Si l'axe du cours d'eau se situe entre 20 et 100cm plus bas que le terrain marécageux adjacent et que la différence de hauteur par rapport au point de contact avec la biogéocénose le plus proche ne dépasse pas 100cm, on postule que l'eau du cours d'eau alimente la biogéocénose au moins par le biais de la nappe phréatique (type de surface EBW, soit *Einzugsgebiet-Bachwasser*).
- Si l'axe du cours d'eau se situe de 100 à 200cm plus bas que le terrain marécageux adjacent et que la différence de hauteur par rapport au point de contact avec la biogéocénose le plus proche ne dépasse pas 200cm, on postule que le maintien du corps marécageux est menacé par une érosion profonde et de ce fait par un drainage subséquent (type de surface EBE, soit *Einzugsgebiet-Bach-Erosion*).
- Si l'axe du cours d'eau se situe à plus de 200cm plus bas que le terrain marécageux adjacent ou que la différence de hauteur par rapport au point de contact avec la biogéocénose le plus proche dépasse 200cm, on postule que le cours d'eau n'exerce plus d'influence sur le régime des eaux du biotope marécageux. Même si le cours d'eau menace le maintien à long terme du biotope marécageux, son bassin versant ne fait pas partie du périmètre hydrologique indicatif pour les marais.

En présence d'une pente longitudinale > 10%, le traitement suivant est appliqué:

- Si l'axe du cours d'eau se situe de 0 à 200cm plus bas que le terrain marécageux adjacent et que la différence de hauteur par rapport au point de contact avec la biogéocénose le plus proche ne dépasse pas 200cm, on postule que le maintien du corps marécageux est menacé par une érosion profonde et de ce fait par un drainage subséquent (type de surface EBE, soit *Einzugsgebiet-Bach-Erosion*).
- Si l'axe du cours d'eau se situe à plus de 200cm plus bas que le terrain marécageux adjacent ou que la différence de hauteur par rapport au point de contact avec la biogéocénose le plus proche dépasse 200cm, on postule que le cours d'eau n'exerce plus d'influence sur le régime des eaux du biotope marécageux. Même si le cours d'eau menace le maintien à long terme du biotope marécageux, son bassin versant ne fait pas partie du périmètre hydrologique indicatif pour les marais.

Les valeurs limite indiquées (20, 100, 200cm) constituent à chaque fois la moyenne de maximum 5 profils successifs.

A l'aide des règles de décisions décrites ci-dessus, il est possible d'attribuer un type de surface à chaque profil en travers. Un bassin versant est caractérisé sur la base de plusieurs profils en travers. Dans la majorité des cas, il n'y a pas de caractérisation homogène des profils en travers. C'est le principe suivant qui prévaut en dernier lieu: «EBM > EBW > EBE». De cette façon, un seul profil en travers déterminé comme EBM suffit à caractériser le bassin versant en amont de ce profil comme EBM. Selon la morphologie de la rigole (p.ex. gué, confluence de rigoles, affluence d'un cours d'eau latéral, etc.) il se peut que la profondeur de la rigole soit sous-estimée lors de l'évaluation des profils en travers, ce qui aurait de grandes conséquences sur la caractérisation des types de bassins versants. Pour contrecarrer une telle situation, la moyenne des valeurs décrites ci-dessus est effectuée sur 5 profils successifs.

2.5.4 Analyse de pertinence des profils en travers

Dans le cadre de l'assurance de qualité lors d'une première phase du projet, il est apparu que certains bassins versants avaient été caractérisés comme «approvisionnement en eau par un cours d'eau» (surfaces de types EBM ou EBW) quand bien même le cours d'eau était relativement peu incisé dans le marais et que seuls les profils inférieurs respectivement seul le profil le plus en aval du cours d'eau n'étaient pas incisés. En considérant l'altitude des profils en travers correspondants eu égard à l'ensemble de l'objet, il fut constaté que certains profils, en fonction de leur position (hauteur) en relation avec l'approvisionnement en eau par le cours d'eau, n'étaient pertinents que pour une très petite partie de l'objet.

Comme cela a été montré au chapitre 2.5.3, quelques profils individuels peuvent être décisifs pour l'attribution d'un type à l'ensemble d'un bassin versant. Les critères suivants ont ainsi été développés en vue d'un examen de la pertinence des profils individuels:

Les profils qui, en admettant une remontée capillaire de 1m ($z_{\min} + 1\text{m}$), approvisionnent une surface à la fois inférieure à 10% de la surface totale de l'objet partiel et à la fois inférieure à 0.5ha sont considérés comme non pertinents du point de vue de la biogéocénose pour la caractérisation d'un bassin versant du type «approvisionnement en eau par un cours d'eau» (surfaces de types EBM ou EBW).

Cette étape d'interprétation automatisée est examinée de manière critique dans le cadre de l'expertise pour l'assurance qualité (chapitre 2.6). Pour cette raison, elle est volontairement rendue visible par le fait que les profils considérés comme non pertinents conservent leur type, au niveau de l'attribut «symb», de façon à ce que la typologie de ces profils en travers reste cartographiquement lisible. Les profils en question sont toutefois classés comme non pertinents pour la caractérisation des types de bassins versants. Ce processus est effectué grâce à l'attribut «seed» des profils en travers.

2.5.5 Bassins versants de dépressions

Le traitement des dépressions a été introduit au chapitre 2.4.5. Dans la mesure où les dépressions peuvent s'avérer pertinentes du point de vue des flux d'eau dans la biogéocénose, elles sont également mises en évidence de façon explicite dans la structure de caractérisation des bassins versants calculés. Les bassins versants de dépressions font partie du périmètre hydrologique indicatif pour les marais dès lors que le déversoir des dépressions se trouve dans la zone d'approvisionnement de la biogéocénose.

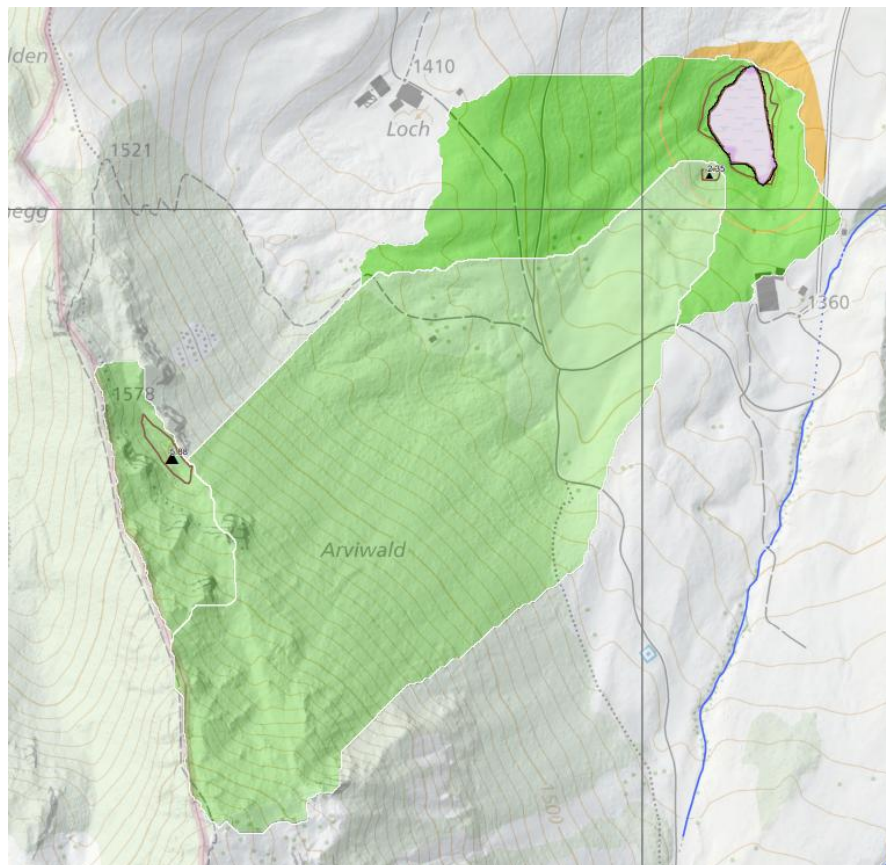


Figure 8: Dépressions (une bordure brune en visualise l'étendue) avec les points les plus bas (triangles noirs) dans le bassin versant. Dans ce cas particulier, la biogéocénose se situe elle-même dans une dépression.

Les dépressions karstiques font partie du drainage du karst. L'eau qui s'écoule dans une telle dépression peut s'infiltrer dans le sous-sol par une faille et n'est dès lors généralement plus disponible pour la biogéocénose marécageuse. Les conditions locales nécessitent une clarification au cas par cas, laquelle ne peut être effectuée, pour des raisons de proportionnalité, que par le biais d'une analyse écohydrologique plus approfondie selon la démarche «espace marais» (Annexe B). En guise de soutien à cette tâche, les dépressions karstiques sont identifiées comme telles au niveau du résultat de la caractérisation des types de bassins versants.

L'identification de dépressions karstiques est basée sur la géodonnée «GéoCartes 500» (voir Figure 9). Une utilisation de la géodonnée «GeoCover» a été examinée mais n'a pas été retenue après des tests préliminaires et une discussion avec une géologue. Les raisons principales à cela tiennent au fait que «GeoCover» représente la couche supérieure de manière relativement détaillée. Selon la porosité et la puissance de cette dernière, c'est cependant la couche sous-jacente, laquelle n'est pas connue selon ce jeu de données, qui est décisive pour l'hydrologie du marais.

Les dépressions karstiques sont prises en considération si leur point le plus bas se situe dans la zone d'approvisionnement ou en-dessus de la zone de karst. Les dépressions karstiques sont indiquées dans le jeu de données des résultats.

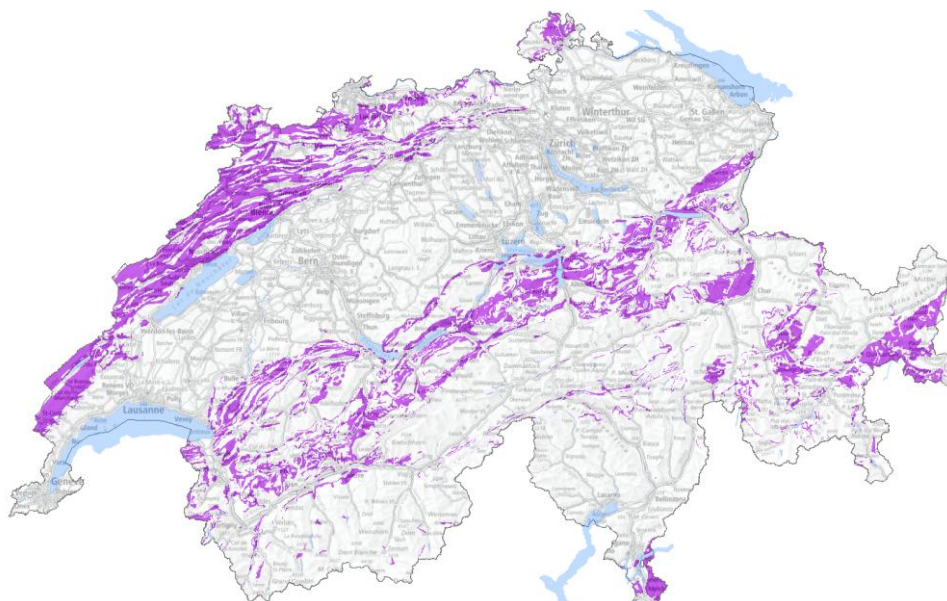


Figure 9. Zones de karst basées sur la géodonnée «GéoCartes 500».

2.6 Expertise technique d'assurance de qualité

Les modèles numériques de terrain à haute résolution actuellement disponibles permettent la détermination fiable des bassins versants topographiques de biogéocénoses. De cette manière, le périmètre hydrologique indicatif pour les marais peut lui aussi être délimité de façon fiable, là où c'est principalement de l'eau de surface affluente («Subsurface Flow») qui alimente la biogéocénose. Des particularités locales telles que la situation du marais en bordure d'un lac, d'un grand cours d'eau ou en contact avec un aquifère souterrain, ainsi que les flux karstiques, peuvent cependant amener à relativiser un périmètre défini sur une base topographique.

L'évaluation de la pertinence hydrologique de l'afflux d'eau de versant pour les marais dans la zone d'influence d'aquifères souterrains, de lacs et de grands cours d'eau est une des composantes principales de l'expertise technique d'assurance de qualité. Cette décision technique a été soutenue par la mise à disposition d'une visualisation de la topographie de l'objet marécageux, dans la mesure où celle-ci joue un rôle décisif pour cette évaluation.

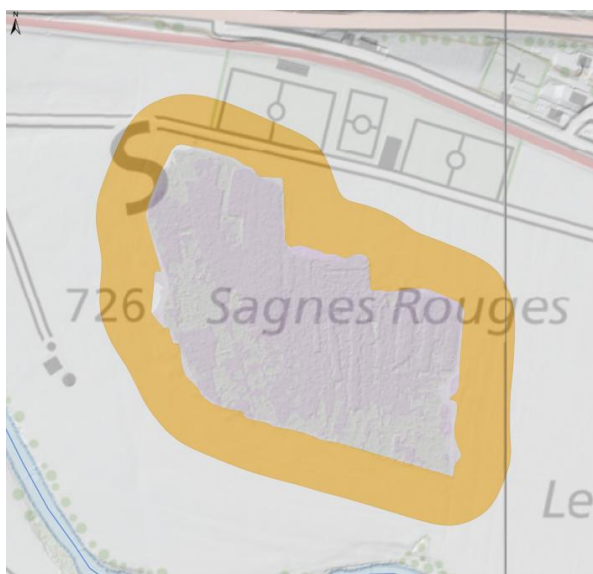


Figure 10: Biogéocénose au contact d'une nappe phréatique.

La Figure 10 illustre l'exemple d'une biogéocénose qui n'est alimentée que par de l'eau souterraine. Dans le cadre de l'expertise d'assurance de qualité, des adaptations de bassins versants ou, comme dans ce cas, également un effacement des bassins versants non pertinents ont été effectués. Les commentaires de cette expertise à propos des objets individuels sont inclus dans le jeu de données des résultats et sont également visibles sur la visualisation au format pdf des objets individuels.

L'épaisseur des zones saturées exploitables du jeu de données «Réservoirs aquifères 500» ont servi de base importante pour l'évaluation de flux souterrains documentés (voir Figure 11).



Figure 11: Réservoirs aquifères sur la base des «Réservoirs aquifères 500».

Dans le cadre de l'expertise d'assurance de qualité, une attention particulière a encore été portée aux situations comportant une terrasse, dans la mesure où l'eau qui s'infiltre au-dessus du bord de terrasse peut ressurgir au pied de la terrasse. Le jeu de données « GeoCover » a été utilisé comme donnée de base pour de tels cas. Parce que c'est avant tout l'eau qui ressurgit au pied de la terrasse qui est décisive pour le marais, les périmètres indicatifs pour les marais pour les situations avec une terrasse ont été délimités par expertise au bord de terrasse supérieur.

D'autre part, des zones de karst ont été éliminées du périmètre hydrologique indicatif pour les marais calculé lorsqu'il a pu être exclu par expertise que de l'eau issue de la zone de karst s'écoule dans la biogéocénose. Cette façon de procéder a été effectuée en règle générale pour la région du Jura parce que les particularités géologiques et tectoniques y sont plus simples et mieux connues que dans les Alpes calcaires.

De manière générale, des artefacts respectivement des bassins versants apparaissant comme non plausibles ont été corrigés dans le cadre de l'expertise d'assurance de qualité. Ainsi, on a corrigé les bassins versants en présence de bisses là où ces derniers pouvaient être identifiés.

3 Résultats

3.1 Structure du jeu de données à livrer

Il existe un jeu de données à livrer par canton. Celui-ci est structuré dans les quatre répertoires suivants:

- **pdf**

Dans le répertoire «pdf» se trouvent deux fichiers pdf qui illustrent, par objet partiel, le périmètre hydrologique indicatif pour les marais ainsi que les zones d'influence hydrologique (voir chapitre 3.3). Ces dernières présentent une visualisation plus complexe de la situation hydrologique, laquelle est principalement destinée à des personnes aux compétences spécifiques.

- **Data**

Dans le répertoire «Data» se trouvent deux fichiers ESRI File Geodatabases (.gdb) ainsi qu'un fichier Excel, lequel contient une liste des objets pour lesquels aucun calcul n'a été effectué. Les Feature Classes à disposition dans les géodonnées sont décrites de manière détaillée à l'annexe A. Les géodonnées peuvent être consultées aussi bien avec ArcGIS Pro qu'avec QGIS (SIG Open Source).

- **sig**

Dans le répertoire «sig» se trouvent des visualisations des données contenues dans le répertoire «data». Il y a à chaque fois une version pour ArcGIS Pro ainsi qu'une version pour QGIS.

- **Documentation**

Le répertoire «Documentation» contient le présent document Word avec la description de la méthode de calcul ainsi que des jeux de données de résultats (y compris le modèle de données de tous les jeux de données à livrer).

3.2 Description des modèles de données du jeu de données à livrer

Les données à livrer sont enregistrées dans deux ESRI File Geodatabases:

- MHP.gdb contient les résultats définitifs. Le Tableau 1 en présente une vue d'ensemble.
- MHP_Add contient des résultats intermédiaires, qui aident à la compréhension des résultats, ainsi que le réseau hydrographique utilisé. Le Tableau 2 en présente une vue d'ensemble.

L'annexe A contient les modèles de données détaillés pour toutes les données à livrer.

Tableau 1: Vue d'ensemble des modèles de géodonnées des résultats pour la GDB MHP:

Modèle (Classe)	Nom technique	Explication
Biogéocénose	MHPMKO	Biogéocénoses déterminantes pour le régime des eaux des hauts- et bas-marais (objet partiel d'inventaire, au besoin également corrigé dans les zones de chevauchement entre hauts- et bas-marais). La biogéocénose fait partie du périmètre hydrologique indicatif pour les marais.
Ourllet sensible	MHPSAO	La zone sensible au drainage et aux modifications de terrain aux abords de chaque biogéocénose. L'ourlet sensible fait partie du périmètre hydrologique indicatif pour les marais.
Bassins versants topographiques et types de surfaces - objet partiel	MHPTEO	Bassins versants topographiques de la biogéocénose. Classement, basé sur des règles, en surfaces partielles fonctionnelles en termes hydrologiques, calculées par objet partiel. Toutes les surfaces partielles font partie du périmètre hydrologique indicatif pour les marais.
Bassins versants topographiques et types de surfaces - vue synoptique	MHPTE	Bassins versants topographiques des biogéocénoses. Classement, basé sur des règles, en surfaces partielles fonctionnelles en termes hydrologiques, calculées comme vue d'ensemble de tous les objets. Toutes les surfaces partielles font partie du périmètre hydrologique indicatif pour les marais.
Périmètre hydrologique indicatif pour les marais - objet partiel	MHPO	Périmètre hydrologique indicatif pour les marais calculé par objet partiel. Le périmètre hydrologique indicatif pour les marais englobe les surfaces partielles biogéocénose et ourlet sensible ainsi que les bassins versants topographiques des biogéocénoses.
Périmètre hydrologique indicatif pour les marais - vue synoptique	MHP	Périmètre hydrologique indicatif pour les marais calculé comme vue d'ensemble de tous les objets. Le périmètre hydrologique indicatif pour les marais englobe les surfaces partielles biogéocénose et ourlet sensible ainsi que les bassins versants topographiques des biogéocénoses.
Points bas de dépressions	MHPSIO	Points les plus bas des dépressions calculées à partir du modèle numérique d'altitudes (profondeur > 1m).
Couche d'index	MHPIXO	Objets d'itération pour l'utilisation en séries de cartes, enrichis avec des attributs destinés à une lecture dynamique des séries de cartes.
Zones d'altitudes de la biogéocénose	MHPMKO_HZ	Données utilisées pour la cartographie (topographie biogéocénose).

Tableau 2: Vue d'ensemble des modèles de géodonnées des résultats pour la GDB MHP_Add:

Modèle (Classe)	Nom technique	Explication
Cours d'eau TLM (swisstopo)	TLM_FLISSGEWAESSER	Réseau hydrographique à la base des calculs.
Fossés de drainage	KANAL_DRAIN	Fossés de drainage détectés dans le TLM_FLISSGEWAESSER et qui n'ont pas été pris en considération comme cours d'eau lors des calculs (voir chapitre 2.5.1).
Profils en travers	QP	Profils en travers calculés, lesquels sont importants pour la caractérisation des bassins versants.
Extension des dépressions	SENKE	Extension des dépressions détectées avec une profondeur de plus d'un mètre et qui sont pertinentes en fonction de leur situation pour le périmètre hydrologique indicatif pour les marais.

3.3 La consultation des résultats dans le SIG / comme pdf

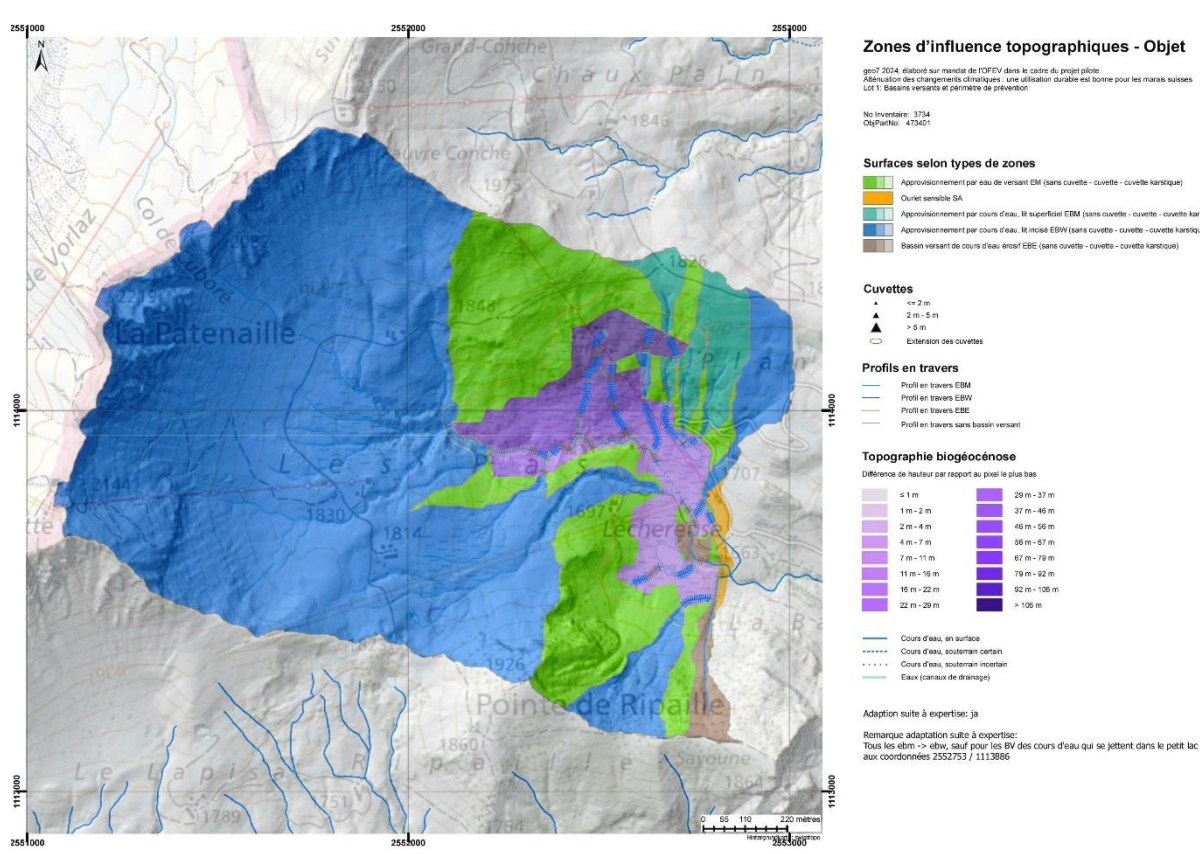
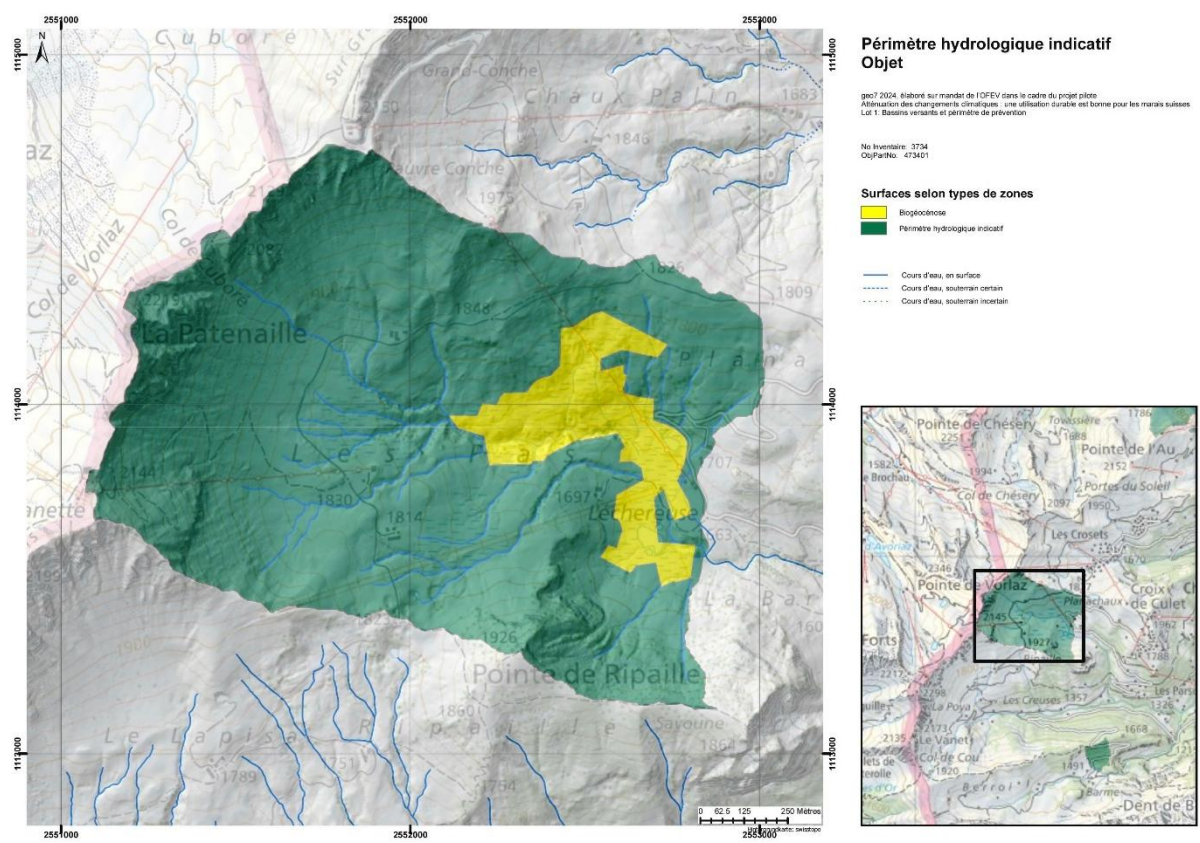
Le jeu de données des résultats comprend deux présentations:

- **Périmètre hydrologique indicatif pour les marais**
Le périmètre hydrologique indicatif pour les marais désigne la surface pertinente du point de vue hydrologique pour l'objet marécageux. La représentation en reste très simple (voir Figure 12).
- **Zones d'influence topographiques**
La représentation permet la compréhension de la situation hydrologique résultant des calculs. Bien que la visualisation soit multicouches et complexe, elle permet cependant à des utilisateurs-trices familiers-ères de la thématique d'en tirer de nombreuses informations (voir Figure 13).

Les deux formes de représentation existent aussi bien en relation avec les objets partiels (géodonnées, pdf) que de manière synoptique englobant l'ensemble de tous les objets partiels (géodonnées) (voir Figure 14). Synoptique signifie également sans chevauchement entre plusieurs objets individuels. La version synoptique est cependant très complexe pour la représentation des zones d'influence topographiques. C'est pourquoi nous recommandons d'examiner à chaque fois les deux formes de représentation, de façon à éviter des erreurs d'interprétation.

Comme les résultats sont également à disposition sous forme de géodonnées, les utilisateurs-trices peuvent effectuer d'autres mises en valeur géoinformatiques. Eu égard à la qualité des données de base utilisées, une échelle 1:5'000 est recommandée pour la consultation du périmètre hydrologique indicatif pour les marais.

Lors de la consultation des résultats, il faut garder à l'esprit que ceux-ci résultent de calculs documentés et qu'ils ont été générés sans autres analyses des objets individuels, ni relevés de terrain ou connaissances locales.



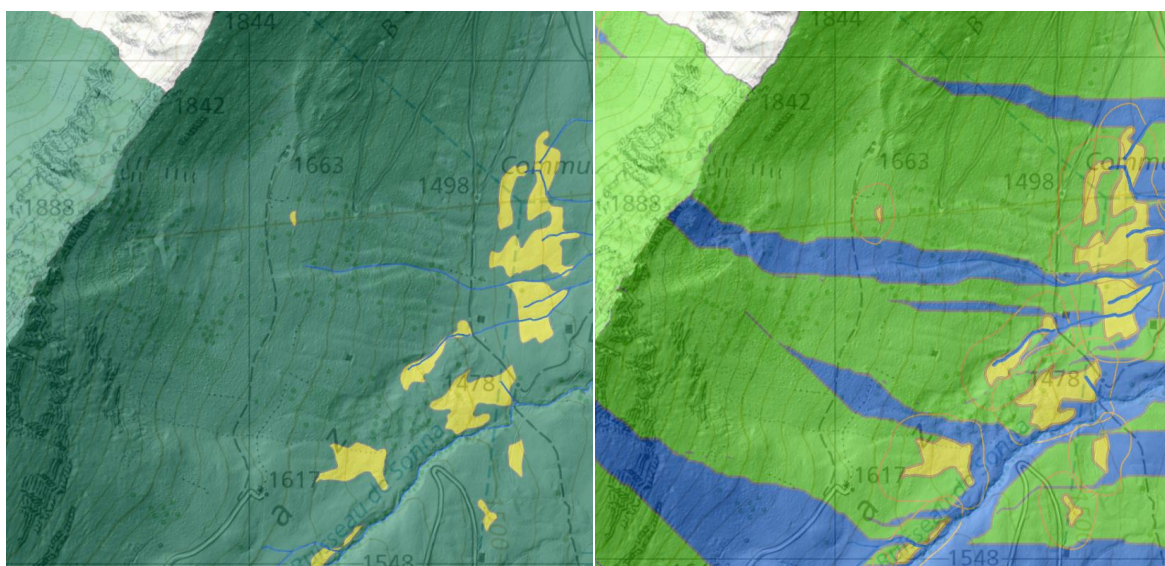


Figure 14 Représentation synoptique du périmètre hydrologique indicatif pour les marais (gauche) et de zones d'influence topographiques (droite).

La faisabilité de projets de construction dans le périmètre hydrologique indicatif pour les marais doit être établie de cas en cas sur le terrain, par une analyse approfondie de l'hydrologie du marais et en fonction de la localisation et du type de projet, par une personne compétente reconnue. Dans ce contexte, il faut également vérifier le périmètre hydrologique indicatif calculé pour les marais et, le cas échéant, en préciser les contours. Les travaux du Lot 2 s'inscrivent dans le prolongement des résultats du périmètre hydrologique indicatif pour les marais, génèrent une compréhension approfondie des fonctionnalités hydrologiques de l'objet par le biais d'examens de terrain et permettent une réponse plus précise en ce qui concerne la faisabilité de projets concrets de construction.

3.4 Les résultats en chiffres

Le Tableau 3 documente les chiffres-clé pour les 4'741 objets partiels calculés. La Figure 15 illustre un aperçu de l'ensemble des périmètres indicatifs pour les marais contenus dans le jeu de données à livrer. Tous les objets d'inventaire (objets hauts- et bas-marais) pour lesquels il n'existait pas déjà des calculs hydrologiques ont été calculés. Comme ils l'ont été de façon exhaustive pour les cantons de Berne et de Fribourg, ces derniers apparaissent en blanc dans la Figure 15.

Les résultats détaillés (géodonnées et cartes) se trouvent dans le jeu de données à livrer.

Tableau 3: Chiffres clé

Domaine	Nombre	Surface [km ²]	Proportion [%]
Suisse		41'290.7	100
Biotopes marécageux, objets partiels	4'741	177.4	0.4
Périmètre hydrologique indicatif pour les marais		1'265.5	3.1

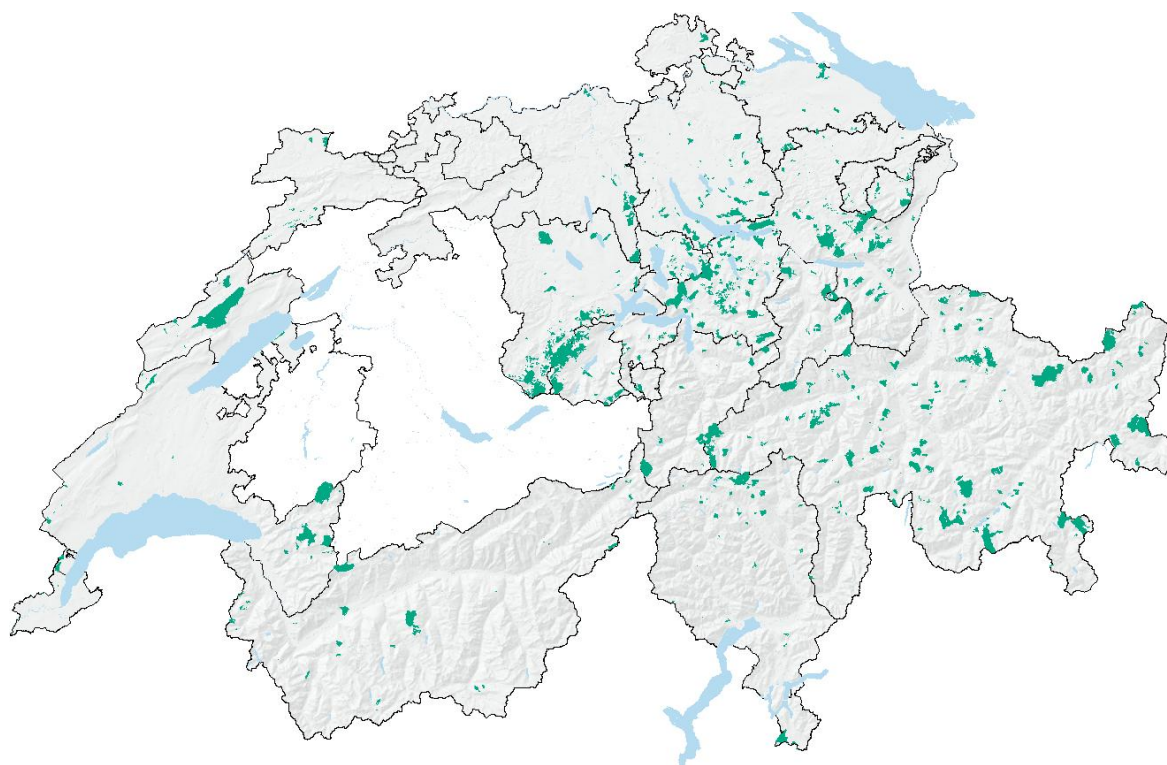


Figure 15: Périmètres indicatifs calculés pour les marais.

4 Perspective

De par le projet décrit dans le présent document, le périmètre hydrologique indicatif pour les marais est délimité pour toutes les surfaces de hauts- et bas-marais des inventaires des marais d'importance nationale. Contrairement aux zones-tampon trophiques, qui interdisent les apports de fertilisants dans un territoire restreint autour des objets marécageux, les périmètres hydrologiques indicatifs pour les marais désignent en règle générale de plus grands territoires. Dans ces derniers, les ressources en eau et les flux d'eau pertinents doivent être spécifiquement pris en considération, sauvegardés et, si cela favorise la régénération du marais, améliorés lors de prises de décision des autorités (procédures d'autorisation). Ces principes doivent contribuer à ce que soit garanties la conservation ou, là où cela s'avère judicieux, la restauration du régime local des eaux.

La question des effets d'un projet sur l'hydrologie du marais est toujours au centre de l'évaluation nécessaire à mener à l'aide du périmètre hydrologique indicatif pour les marais. A ce propos, il faut prendre en considération en particulier le type et les dimensions du projet, sa situation, son éloignement par rapport à la biogéocénose ainsi que la fonction hydrologique de la zone d'influence directement concernée.

L'introduction et la mise en œuvre de l'instrument de planification «Périmètre hydrologique indicatif pour les marais» dans les processus et procédures des cantons sont des tâches qui incombent aux autorités cantonales compétentes. Une mise en œuvre possible a été développée par le canton de Berne. Elle est succinctement présentée ci-après.

Mise en œuvre d'un «Périmètre hydrologique indicatif pour les marais (PHM)» dans le canton de Berne

Le «périmètre hydrologique indicatif pour les marais» sera introduit comme base contraignante pour les autorités par le biais du Plan sectoriel Biodiversité (Révision en préparation). Le canton soutient les autorités compétentes en matière de procédures d'autorisation à l'aide d'un guide (<https://www.weu.be.ch/fr/start/themen/umwelt/biodiversitaet/arten-und-lebensraum1/moore.html>) structuré en plusieurs étapes. Le processus instruit par ce guide a pour but de trier de manière précoce les demandes/projets de construction en fonction de leur influence sur le régime de l'eau.

Dans un premier temps, l'autorité décisionnelle/compétente en matière de construction examine à l'aide d'une clé d'aide à la décision simple et en consultant le PHM si des valeurs naturelles sont concernées par un projet de construction en cours de planification. Selon le type de projet de construction et selon la situation de ce dernier au sein du PHM (zones d'espacement, distance au biotope) elle inclut le service de protection de la nature. Celui-ci estime les effets du projet en jetant un œil aux différents compartiments du PHM (consultation des types de zones d'influence hydrologique). Selon la situation, cela peut conduire à l'édiction de différentes conditions pour le projet de construction ou cela nécessite l'intégration d'une personne compétente, de façon à clarifier les effets du projet sur l'hydrologie des marais. Souvent, une évaluation de l'hydrologie simplifiée suffit à édicter les conditions et mesures correctes. Dans de rares cas, le porteur de projet doit faire faire une expertise hydrologique pour le marais concerné. Le cahier des charges à cet effet est établi par le service cantonal.

Berne, 23. octobre 2025

geo7 AG

Traduction: LIN'eco, Ph. Grosvernier

Annexe A. Modèles de données du jeu de données à livrer

MHPMKO

Champ	Type de champ	Description	Domaine de valeurs / Nom de domaine
SHAPE	GEOMETRY	Géoréférencement comme surface 2D	
TEILOBJNR	LONG	Numéro d'objet partiel pour consultation par objet	
GARED	SHORT	Information, si l'objet a été édité par voie d'expertise	Domain: MhpJaNein
GABEM	TEXT (1000)	Champ de remarques pour explications quant aux adaptations par voie d'expertise	
QUELLE_MHP	TEXT (16)	Attribut pour citation des sources, de façon à ce que l'origine d'adaptations potentielles futures du périmètre hydrologique indicatif pour les marais puisse être identifiée. Les PHM calculés dans ce projet-ci présentent la valeur «Berechnung MHP 2».	
OBJEKTNUMMER	LONG	Numéro d'objet selon l'objet de l'inventaire fédéral	

MHPSAO

Champ	Type de champ	Description	Domaine de valeurs / Nom de domaine
SHAPE	GEOMETRY	Géoréférencement comme surface 2D	
TEILOBJNR	LONG	Numéro d'objet partiel pour consultation par objet	

MHPTEO

Champ	Type de champ	Description	Domaine de valeurs / Nom de domaine
SHAPE	GEOMETRY	Géoréférencement comme surface 2D	
TEILOBJNR	LONG	Numéro d'objet partiel pour consultation par objet	
UTYP	Text (5)	Type de mise en oeuvre (code de surface partielle)	Domain: FlaecheTyp
SENKE	Text (15)	Les surfaces qui se déversent dans une dépression de > 1 m de profondeur sans déversoir sont documentées comme «Senke» pour les besoins de l'analyse échohydrologique. Les «Karstsenken» sont des dépressions dont le point le plus bas est situé sur un sous-sol karstique selon le traitement décrit au chapitre 2.5.5.	Domain: SenkeTyp

MHPTE

Champ	Type de champ	Description	Domaine de valeurs / Nom de domaine
SHAPE	GEOMETRY	Géoréférencement comme surface 2D	
UTYP	Text (5)	Type de mise en oeuvre (code de surface partielle)	Domain: FlaecheTyp
SENKE	Text (12)	Les surfaces qui se déversent dans une dépression de > 1 m de profondeur sans déversoir sont documentées comme «Senke» pour les besoins de l'analyse écohydrologique. Les «Karstsenken» sont des dépressions dont le point le plus bas est situé sur un sous-sol karstique selon le traitement décrit au chapitre 2.5.5.	Domain: SenkeTyp

MHPO

Champ	Type de champ	Description	Domaine de valeurs / Nom de domaine
SHAPE	GEOMETRY	Géoréférencement comme surface 2D	
TEILOBJNR	LONG	Numéro d'objet partiel pour consultation par objet	

MHP

Champ	Type de champ	Description	Domaine de valeurs / Nom de domaine
SHAPE	GEOMETRY	Géoréférencement comme surface 2D	

MHPSIO

Champ	Type de champ	Description	Domaine de valeurs / Nom de domaine
SHAPE	GEOMETRY	Géoréférencement comme point 2D	
TEILOBJNR	LONG	Numéro d'objet partiel pour consultation par objet	
KARST	SHORT	Sous-sol karstique sans surfaces avec recouvrement par de la moraine.	Domain: MhpJaNein
TIEFE	DOUBLE	Profondeur de la dépression	

MHPIXO

Champ	Type de champ	Description	Domaine de valeurs / Nom de domaine
SHAPE	GEOMETRY	Géoréférencement comme surface 2D	
OBJNR_BE	LONG	Numéro d'objet pour consultation par objet	
TEILOBJNR	LONG	Numéro d'objet partiel pour consultation par objet	
GARED	SHORT	Information, si l'objet a été édité par voie d'expertise (oui: 1) ou s'il s'agit du résultat calculé automatiquement (non: 0)	Domain: MhpJaNein
GABEM	TEXT (1000)	Champ de remarques pour explications quant aux adaptations par voie d'expertise	
OBJEKTNUMMER	LONG	Numéro d'objet selon l'objet de l'inventaire fédéral	

MHPMKO_HZ

Champ	Type de champ	Description	Domaine de valeurs / Nom de domaine
SHAPE	GEOMETRY	Géoréférencement comme surface 2D	
TEILOBJNR	LONG	Numéro d'objet partiel pour consultation par objet	
HZ	FLOAT	Zones d'altitude arrondie à 0.5m (altitude par rapport au pixel le plus bas de la biogéocénose). Exemple: 8.5 signifie Zone 8.5 – 9m au-dessus du pixel le plus bas de la biogéocénose.	

KANAL_DRAIN

Champ	Type de champ	Description	Domaine de valeurs / Nom de domaine
SHAPE	GEOMETRY	Géoréférencement comme surface 2D	

QP

Champ	Type de champ	Description	Domaine de valeurs / Nom de domaine
SHAPE	GEOMETRY	Géoréférencement comme surface 2D	
LNIE	LONG	Numéro de la ligne du cours d'eau	
POS	LONG	Position (métrique) du profil en travers sur la ligne du cours d'eau	
TeilObjNr	LONG	Numéro d'objet partiel pour consultation par objet	
seed	Text (255)	Type de mise en oeuvre utilisé pour le calcul des bassins versants (code de surface partielle) sur le profil en travers (voir chapitre 2.5.4)	«ebm», «ebw», «ebe», «ebe2», <NULL>
Z_Diff	FLOAT	Différence de hauteur entre la valeur minimale de z au milieu du profil en travers (+/- 2.5m) et le côté le plus bas du profil (si dans la biogéocénose)	
Z_Diff_mean	FLOAT	Moyenne «Z_Diff» sur 5 profils	
Z_diff_PG	FLOAT	Différence de hauteur entre la valeur minimale de z au milieu du profil en travers et en bordure de la biogéocénose	
Dist_PG	FLOAT	Distance horizontale entre la valeur minimale de z au milieu du profil en travers et en bordure de la biogéocénose	
PG	FLOAT	Pente forfaitaire [%]: «Z_diff_PG» / «Dist_PG»	
Z_min	FLOAT	Valeur minimale de z au milieu du profil en travers (+/- 2.5m)	
SOHLENGEF	FLOAT	Pente du lit du cours d'eau [%]	
symb	Text (8)	Type de mise en oeuvre utilisé pour la visualisation du profil en travers (code de surface partielle) sur le profil en travers (voir chapitre 2.5.3).	«ebm», «ebw», «ebe», , <NULL>

SENKE

Champ	Type de champ	Description	Domaine de valeurs / Nom de domaine
SHAPE	GEOMETRY	Géoréférencement comme surface 2D	
Senken_ID	LONG	ID d'une dépression.	
TeilObjNr	LONG	Numéro d'objet partiel pour consultation par objet	

TLM Réseau hydrographique

Modèle de données du jeu de données officiel swissTLM3D Réseau hydrographique.

Domain MhpJaNein

Code	Description
0	non
1	oui

Domain FlaecheTyp

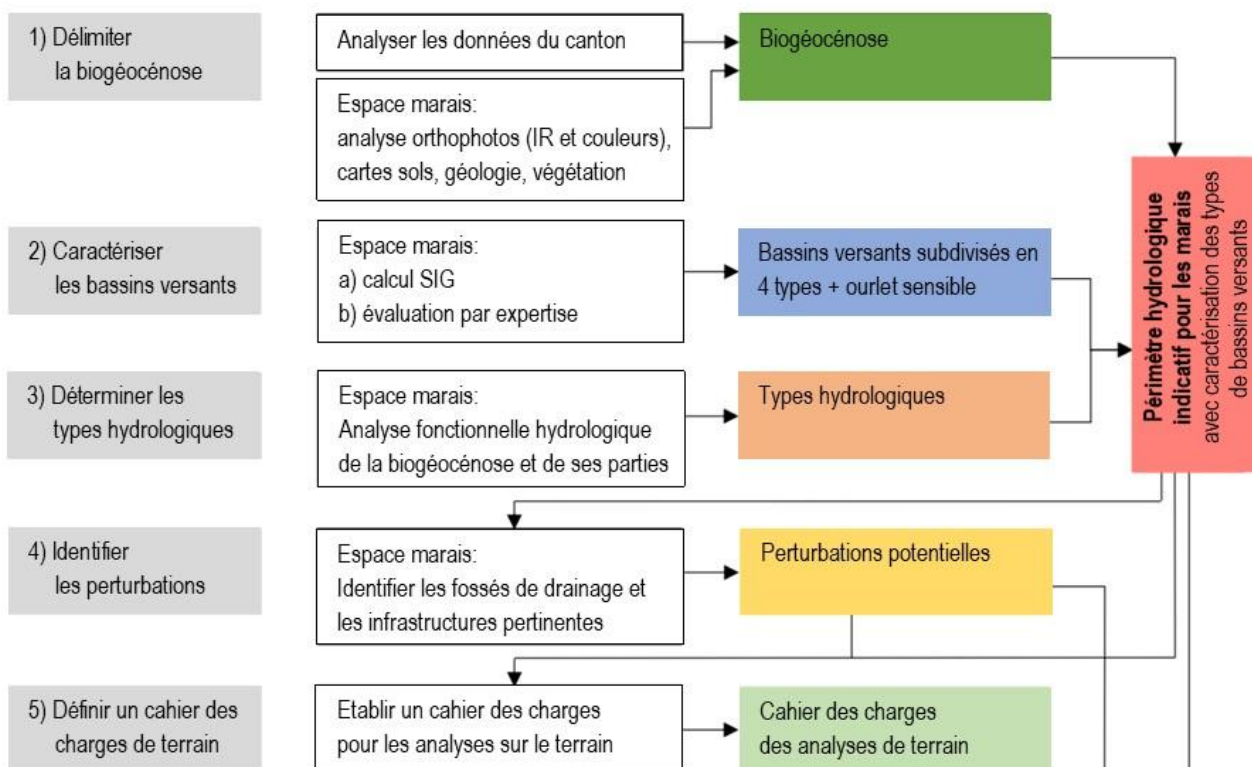
Code	Description
em	Approvisionnement en eau de versant
ebm	Approvisionnement superficiel par un cours d'eau
ebw	Approvisionnement par un cours d'eau incisé
ebe	Bassin versant de cours d'eau érosif

Domain SenkeTyp

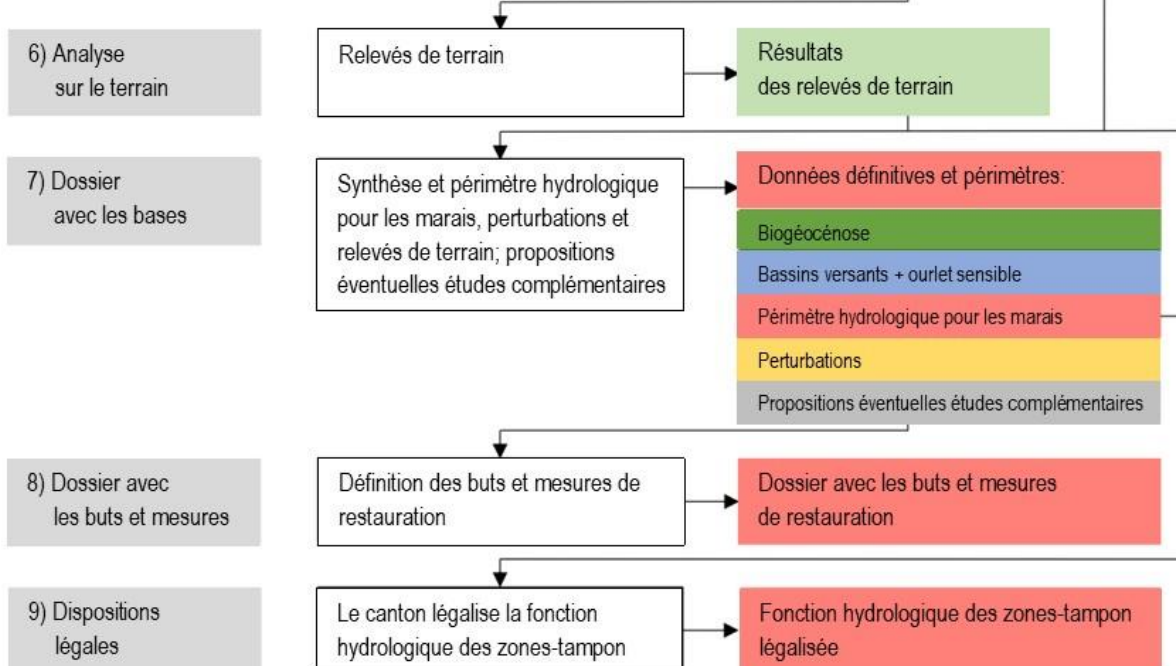
Code	Description
Senke	Dépression
Karstsenke	Dépression karstique
keine Senke	Pas de dépression

Annexe B. Le flux de travail «espace marais»

A) Analyse préalable selon Espace marais



B) Analyse éco-hydrologique, relevés de terrain, buts et mesures de restauration



Annexe C. Critères «ourlet sensible»

5) Ourlet sensible (sa)

Entre 0 et 25m du CBM, arrêter le (sa) dès que :

- Dolines ou sous-sol dans lequel l'eau s'infiltre et n'alimente pas le CBM

Limite du (sa) à **25m** si :

- Pente raide (>4%) en aval entre 0 et 25m du CBM
- Cours d'eau entre 0 et 25m du CBM
- Crête entre 0 et 25m du CBM (au moins 50cm de dénivelé par rapport à CBM)
- Terrain monte, mais les flux n'atteignent pas le CBM entre 0 et 25m du CBM

Entre 25 et 50m du CBM, arrêter le (sa) dès que:

- Pente raide (>4%) en aval du CBM
- Cours d'eau
- Crête (au moins 50cm de dénivelé par rapport à CBM)
- Terrain monte, mais les flux n'atteignent pas le CBM
- Dolines ou sous-sol dans lequel l'eau s'infiltre et n'alimente pas le CBM.

Sinon **50m** de (sa) autour du CBM