



Biodiversité 2025

Le castor – un partenaire efficace pour des eaux vivantes



Impressum

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

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

Auteurs

Christof Angst, Cécile Auberson (info fauna - service conseil national castor, Neuchâtel)

Accompagnement

Claudine Winter, Diego Dagani, OFEV

Mise en page

Funke Lettershop AG

Photo de couverture

En 2009, une famille de castors a détourné le Mederbach à Marthalen (ZH) et créé une zone humide de 4 hectares dans la forêt.

© Christof Angst

Bases cartographiques

info fauna 2025, Office fédéral de topographie, Office fédéral de la statistique

Téléchargement au format PDF

<https://www.bafu.admin.ch/castor>

Cette publication est également disponible en allemand.

© OFEV 2025

Table des matières

Abstracts	4
Résumé	5
1 Introduction	7
2 Recensement du castor 2022	9
3 Effet des barrages de castors sur la biodiversité	12
4 Comportement des poissons face aux barrages de castors	22
5 Influence des étangs de castors sur la qualité des eaux	28
6 Bilan carbone dans le territoire de castors à Marthalen (ZH)	31
7 Modèle de plaines alluviales créées par le castor pour la Suisse	35
8 Analyse des résultats	39
8.1 Evaluation et mise en perspective des résultats	39
8.2 Le castor comme partenaire pour le développement et le maintien de la biodiversité dans les cours d'eau	43
9 Le castor comme partenaire lors de projets environnementaux	45
9.1 Le castor comme partenaire dans le contexte des conventions-programmes dans le domaine de l'environnement	45
9.2 Champ d'action « Eaux » - le castor comme partenaire pour les projets d'aménagement de cours d'eau	45
9.3 Champ d'action « Forêt » – le castor et la biodiversité en forêt	49
9.4 Champ d'action « Zones urbanisées » – le castor et les projets de développement urbain	51
9.5 Champ d'action « Milieu ouvert » – le castor dans le contexte agricole	51
10 Conclusion	53
11 Références	54

Abstracts

L'effet positif que les activités du castor peuvent avoir sur la biodiversité, les fonctions écosystémiques et la structure des cours d'eau est bien connu dans les écosystèmes naturels. On peut cependant se demander si ces effets se manifestent également dans des habitats aquatiques anthropisés.

Connaître la réponse à cette question est important, car les activités des castors, par exemple la construction de barrages, pourraient être utilisées de manière ciblée par les autorités comme un instrument permettant d'atteindre divers objectifs en matière de protection de la nature ainsi que de renaturer des cours d'eau et des zones humides. Pour cela, et afin de prévenir les conflits potentiels entre les castors et les utilisateurs des terres, les instances exécutives ont besoin de connaissances supplémentaires, acquises dans le cadre d'un projet de recherche complet sur la fonctionnalité de l'activité de barrage des castors dans le paysage (2020 à 2023). Les résultats confirment les effets positifs que les barrages de castors peuvent avoir, y compris dans les cours d'eau suisses. Par leur activité, les rongeurs créent des habitats dynamiques, riches en structures et en espèces. La biodiversité augmente autour de ces barrages. Dans les étangs formés en amont, des processus biologiques et chimiques se produisent, pouvant conduire à une meilleure qualité de l'eau et à un stockage accru du carbone. De plus, ils permettent de retenir de grandes quantités d'eau dans le paysage. Les cours d'eau abritant des étangs de castors présentent ainsi une plus grande résilience face à des influences telles que le changement climatique.

En raison de son effet positif sur la biodiversité et les services écosystémiques, le castor devrait à l'avenir être intégré autant que possible dans les planifications de la Confédération et des cantons en matière d'infrastructure écologique.

Résumé

Le castor a été autrefois exterminé en Suisse. Sa est une réussite en matière de protection des espèces. Au cours des dernières décennies, il a repeuplé de nombreux cours d'eau et s'est bien établi. Grâce à sa capacité à transformer durablement les cours d'eau et leur environnement, le castor ne reste jamais bien longtemps inaperçu. Dans le paysage densément peuplé du Plateau suisse, ses activités de construction de barrages et de fouissage peuvent entrer en conflit avec les intérêts humains. Les autorités cantonales ont pris et continuent de prendre de nombreuses mesures pour gérer les conflits de manière pragmatique. Il existe donc de nombreuses sources d'information sur la gestion de cette espèce. La législation suisse sur la chasse tient également compte du potentiel conflictuel du castor.

Ce qui est sans doute moins connu, ce sont les effets positifs de son activité dans les domaines suivants :

- Promotion de la biodiversité
- Epuration des eaux
- Stockage du carbone
- Rétention d'eau

Afin de déterminer l'impact de cet animal sur les cours d'eau au niveau suisse, la Confédération a lancé en 2020 un projet de recherche sur la fonction des barrages dans le paysage. Ce projet a été financé dans le cadre du plan d'action de la stratégie biodiversité Suisse. Menée sur trois ans et composée des six modules suivants, cette étude livre des résultats prometteurs.

Recensement national 2022

Après avoir été éradiqué de Suisse à l'aube du 19^{ème} siècle, le castor a été réintroduit entre 1956 et 1977. Quelques décennies auront été nécessaires à son implantation, mais les tendances de populations sont devenues nettement positives au tournant du millénaire : si en 1993, seules quelques centaines de castors étaient recensés de manière sporadique sur le territoire helvétique, en 2008, ce sont déjà près de 1600 rongeurs qui peuplaient les cours d'eau suisses. Quatorze ans plus tard, le quatrième recensement national du castor illustre une croissance continue des populations : en 2022, la Suisse était occupée par près de 4900 individus.

Effet du castor sur la biodiversité

Cette tendance est réjouissante pour la nature en Suisse, en particulier pour la biodiversité aquatique, qui subit une forte pression aujourd'hui. En effet, le castor, ingénieur de l'écosystème, permet à de nombreuses espèces de se développer grâce à ses constructions. Barrages, canaux, clairières ou huttes, tous ces ouvrages offrent des structures et des habitats qui manquent actuellement dans les cours d'eau. Par ses actions, le castor rétablit une dynamique millénaire qui avait disparu avec lui. En moyenne, 2,6 fois plus d'espèces et 5,9 fois plus d'individus des espèces étudiées sont présents dans les tronçons influencés par le castor par rapport aux zones contrôlées. Et cette relation peut même atteindre 6,5 fois plus d'espèces et 62,1 fois plus d'individus dans les territoires où le castor peut déployer tout son potentiel : le facteur décisif pour obtenir de tels effets sur la biodiversité est la construction des barrages et toutes les autres activités permettant l'inondation des rives et des terrains adjacents des eaux.

Comportement migratoire des poissons face aux barrages de castors

Le retour du castor est cependant perçu comme un problème par certains. En effet, des craintes existent quant à la franchissabilité des barrages par les poissons et en conséquence à l'impact de ces ouvrages sur la migration piscicole.

Dans le cadre de ce projet, trois types de tronçons de cours d'eau représentatifs des rivières helvétiques et présentant des profils écomorphologiques très différents ont été étudiés. Il a été

démonstré que les craintes liées au retour du castor et son effet sur la migration des poissons sont largement infondées : en effet, les barrages du rongeur peuvent bel et bien être franchis par les poissons, et ce par toutes les espèces étudiées. Le taux de réussite est fortement corrélé aux débits augmentés suivant des précipitations, qui permettent une diminution de la différence de niveau d'eau entre l'amont et l'aval du barrage de castor et facilitent ainsi le passage. Il est apparu cependant que les caractéristiques écomorphologiques du cours d'eau déterminent également le succès de la traversée : plus le cours d'eau est connecté avec son espace aquatique, et plus des bras secondaires se forment, plus le pourcentage de poissons réussissant à franchir le barrage augmente.

Variations de la qualité des eaux dans les étangs de castors

Ce module s'est penché sur l'influence des barrages de castors sur la qualité des eaux. Des échantillons d'eau ont été prélevés sur 164 territoires de castors, en été et en hiver. Les analyses ont démontré une augmentation de la concentration de carbone organique dissous (DOC) en aval des barrages de castors. Ce phénomène est lié à l'augmentation de la productivité primaire des étangs de castors. Il a également été mesuré que la présence d'un barrage de castors permet de réduire la concentration de nitrates dans les eaux. Ces effets sont significativement corrélés avec la taille de la zone humide située à proximité : plus cette dernière est étendue, plus la réduction des nitrates et l'augmentation du DOC seront prononcées. Ainsi, pour que les castors puissent exercer une influence mesurable sur la qualité de l'eau, ils doivent pouvoir inonder partiellement ou complètement les espaces riverains d'un cours d'eau et créer des zones humides.

Bilan carbone d'un territoire de castors à Marthalen (ZH)

Un territoire de castors installé depuis treize ans a été choisi comme site d'étude du cinquième module. Le but était d'établir, sur une année entière, le bilan carbone d'un territoire de castors. La zone humide créée par les rongeurs produit presque le double de biomasse et triple la quantité de carbone stocké par rapport à la forêt présente avant leur arrivée.

Un modèle « Castor et zones alluviales » pour la Suisse

Finalement, un modèle numérique a été développé pour prédire l'influence des barrages de castors sur les espaces riverains des cours d'eau. Les zones humides créées par les barrages de castors peuvent représenter aussi bien une chance qu'une potentielle source de conflits. Ce modèle permet de visualiser leur ampleur et peut ainsi servir d'outil de gestion. Il est estimé qu'en Suisse, 290 km² sont influencés principalement de manière plutôt positive par le castor, tandis que 150 km² sont plutôt sujet à conflits. Cet outil pourra à l'avenir être utilisé pour identifier les zones les plus favorables à un renforcement de la biodiversité grâce à l'installation du castor ou comme aide à la planification cantonale afin de prédire d'éventuels conflits.

Le castor comme allié pour des eaux vivantes

Le castor apparaît comme étant un partenaire efficace pour soutenir la revitalisation des cours d'eau : il restaure les habitats et favorise la dynamique naturelle des cours d'eau. Les étangs créés par ses barrages exercent une influence concrète non seulement sur la biodiversité mais aussi sur l'hydrologie en améliorant la qualité des eaux via l'élimination des nitrates. Les zones inondées par le rongeur fonctionnent de plus comme puits de carbone. Elles fonctionnent également comme bassins de retenue et favorisent la recharge des nappes phréatiques.

Des outils existent déjà pour promouvoir cet animal et ses œuvres : les conventions-programmes dans le domaine de l'environnement permettent notamment de favoriser la création de réserve forestière humide. Le castor et son impact sur la biodiversité, les écosystèmes aquatiques et la qualité de l'eau méritent d'être intégrés au mieux dans les réflexions ultérieures et la mise en œuvre de la Confédération et des cantons.

1 Introduction

Depuis plusieurs années, la Suisse a intensifié ses efforts pour préserver la biodiversité sur son territoire. Si les mesures prises ont permis d'enregistrer certains succès localement, la biodiversité reste sous pression et les services écosystémiques ne sont pas garantis à long terme (OFEV, 2023a). Les espèces tributaires des habitats aquatiques et humides comptent parmi les plus menacées en Suisse, ce qui s'explique par le fait que 82 % des milieux liés aux eaux libres sont menacés dans le pays (OFEV, 2023b). À cela s'ajoute la disparition de plus de 90 % des zones humides du paysage helvétique depuis 1850 (OFEV, 2022a). Le déclin de la biodiversité aquatique est dû à l'augmentation de l'efficacité des systèmes de drainage (OFEV, 2023a), à la destruction des habitats pour gagner des terres arables ou des surfaces constructibles, à leur fragmentation par les infrastructures de transport, à la canalisation et l'enrochements des rives ou encore à la pollution des eaux (OFEV, 2023b). Toutes ces atteintes ont altéré la structure et la dynamique des habitats aquatiques en Suisse : de fait, le réseau hydrographique helvétique ne peut plus que rarement être décrit comme naturel, il est pratiquement toujours modifié par l'homme.

Le Parlement a reconnu ces problèmes et a adapté en 2011 la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux ; RS 814.20). La loi oblige les cantons à renaturer les cours d'eau (revitalisation et assainissement des centrales hydrauliques) et à définir des espaces réservés aux eaux. L'objectif est notamment de revitaliser 4000 km de cours d'eau d'ici à 2090. Les travaux ont commencé et fin 2019, 160 km de cours d'eau avaient été revitalisés, ce qui représente seulement 4 % de l'objectif fixé (état 2019 ; OFEV, 2021a). Il est cependant urgent de rétablir des eaux de surface proches de l'état naturel, autorégulées et résilientes (OFEV, 2022a) : le réchauffement climatique peut en effet générer des extrêmes tant en termes de crues que de sécheresses, ainsi qu'une modification des débits saisonniers auxquels il faudra désormais faire face (OFEV, 2021b). La hausse programmée des températures risque également de mettre à mal tout un cortège d'espèces d'eau douce prioritaires au niveau national, qu'il s'agisse d'insectes, de gastéropodes et bivalves, d'écrevisses ou encore de poissons. En effet, nombre de représentants de ces groupes sont considérés comme sensibles à la chaleur (OFEV, 2023a). Leur survie est d'ores et déjà compromise dans certains cours d'eau.

Nous disposons toutefois d'un partenaire efficace pour nous aider à atténuer ou à résoudre les problèmes conjugués du déclin de la biodiversité et du réchauffement climatique, du moins dans et à proximité des eaux : le castor. Ce bâtisseur infatigable pourrait en effet déployer ses compétences au service des écosystèmes et de la population humaine, pour autant qu'on lui en laisse les moyens. Son activité de construction, notamment de barrages, a conduit à le qualifier d'*ingénieur de l'écosystème*. Il modifie en effet considérablement les caractéristiques des systèmes fluviaux, ainsi que des habitats et des milieux qui y sont liés, et ceci depuis des millions d'années (Tedford & Harrington, 2003). La faune et la flore aquatiques ont eu le temps de s'adapter à cette dynamique et certaines sont même devenues tributaires des habitats créés par le rongeur. Qu'il s'agisse de barrages, de huttes, de clairières ou encore d'arbres morts sur pied ou tombés au sol, ces différentes structures ont un impact positif sur la biodiversité, tant aux abords des eaux calmes (Bashinskiy, 2020) que courantes (Brazier et al., 2020 ; Dalbeck et al., 2014 ; Dalbeck et al., 2020 ; Grudzinski et al., 2022 ; Law et al., 2016 ; Law et al., 2019 ; Nummi et al., 2019 ; Orazi et al., 2022 ; Sommer et al., 2018).

Les barrages de castors exercent également une influence sur les facteurs abiotiques. On citera entre autres une élimination augmentée des polluants, notamment des nitrates (Dewey et al., 2022 ; Larsen et al., 2021 ; Puttock et al., 2017), l'atténuation des effets négatifs de la diminution des précipitations combinée à l'augmentation des températures (Grudzinski et al., 2022) ainsi que la réduction (Dittbrenner et al., 2022) ou, au contraire, l'augmentation de la température de l'eau en aval des barrages (Majerova et al., 2015). Il a également été constaté que la présence de barrages de castors améliore le stockage de l'eau dans les sols (Dittbrenner et al., 2022 ; Majerova et al., 2015 ; Puttock et al., 2017).

Ces nombreuses études soulignent le potentiel de cet animal pour contribuer à une revitalisation des cours d'eau demandant peu de moyens (« low-tech ») et basée sur la dynamique propre au cours d'eau (« process based »), améliorant non seulement leur état biotique mais aussi abiotique. Toutefois, ces effets positifs sont souvent limités à des zones et à des conditions précises. Une étude plus détaillée sur l'ensemble de la Suisse était donc nécessaire pour déterminer comment et dans quelle mesure le castor peut être intégré en tant qu'outil de promotion de l'infrastructure écologique (pour en savoir plus sur l'infrastructure écologique : voir OFEV, 2012 > point 7.2). En effet, le Plateau suisse présente la particularité d'être plus intensivement occupé et exploité que les pays de référence des études citées précédemment (p.ex. Canada, Etats-Unis, Finlande, Suède). L'ampleur des effets peut également différer s'ils surviennent dans des eaux encore relativement naturelles ou fortement altérées, dans un paysage ouvert et agricole ou au cœur d'une forêt. Pour mieux appréhender les effets des activités du castor dans un paysage suisse densément peuplé, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a donc lancé, en 2020, un vaste projet de recherche sur la fonctionnalité des barrages de castors dans le paysage. Ce projet a pour but de :

- Fournir une vue d'ensemble des potentiels impacts du castor sur les écosystèmes aquatiques en Suisse ainsi que des zones de conflits ;
- Mieux comprendre les effets du castor d'un point de vue biologique ;
- Permettre une utilisation ciblée des capacités du castor afin de promouvoir la biodiversité et la connectivité du réseau écologique et identifier préventivement les zones à problèmes.

Le projet aborde trois thèmes - castor, biodiversité et services écosystémiques - comprenant chacun plusieurs modules. Le présent rapport vise donc, d'une part, à mettre en évidence le potentiel du castor pour le développement et la promotion d'un réseau écologique et, d'autre part, à montrer dans quels domaines le rongeur pourrait jouer un rôle actif afin d'atteindre plus rapidement les objectifs fixés en matière de protection de la nature et des espèces. Une meilleure compréhension de son rôle en tant qu'acteur de la dynamique des cours d'eau et promoteur de la biodiversité permettrait d'optimiser la gestion là où cela est nécessaire : les multiples avantages de cette espèce pourraient ainsi être mis en valeur et les conflits potentiels avec d'autres intérêts réduits.

2 Recensement du castor 2022

- Aujourd'hui, la population de castors de Suisse et du Liechtenstein est estimée à près de 4900 individus répartis dans 1402 territoires.
- Les castors se concentrent sur le Plateau suisse et dans les plaines des grandes vallées alpines.
- La colonisation des petits et très petits ruisseaux se poursuit. Près de 40 % des castors vivent dans des ruisseaux de moins de 5 m de large où ils construisent de plus en plus de barrages.
- Deux tiers des territoires de castors ne causent aucun conflit.

Après avoir été totalement éradiqué à l'aube du 19^{ème} siècle, le castor a été réintroduit en Suisse entre les années 1956 et 1977. Un total de 141 animaux a été relâché dans le cadre de cette réintroduction. Un suivi régulier des populations a été mis en place dès 1978, date du premier recensement national au cours duquel 111¹ animaux ont pu être dénombrés (Stocker, 1985). Quinze ans plus tard, en 1993, la population de castors suisses atteignait 454¹ individus (Rahm & Bättig, 1996). Lors du troisième recensement, en 2008, on estimait que près de 1600 animaux peuplaient les cours d'eau et les lacs (Angst, 2010). La croissance de la population suivait alors une courbe exponentielle. Il était donc important, après 14 ans, de refaire le point afin d'évaluer au mieux le potentiel de ce grand rongeur dans le cadre de la promotion de la biodiversité en Suisse, et ce en fonction du nombre ainsi que de la répartition spatiale des individus. Le quatrième recensement du castor, conduit durant l'hiver 2021-2022 et élargi pour la première fois au Liechtenstein, avait donc pour but de répondre aux questions suivantes :

- Combien de castors vivent actuellement en Suisse ?
- Comment occupent-ils le territoire, quels sont les cours d'eau choisis en priorité et où construisent-ils des barrages ?
- Comment les populations des différents bassins versants évoluent-elles ?

La population de castors a été estimée à quelques 4900 individus, répartis sur 1402 territoires (1382 en Suisse et 20 au Liechtenstein, voir Fig. 1). Pas moins de 803 territoires étaient occupés par des familles de castors, tandis que 599 l'étaient par des individus solitaires ou des couples (tous les résultats présentés ici se trouvent dans Angst et al., 2023). Présent dans l'Inn, le castor occupe désormais aussi le troisième grand bassin versant de Suisse après ceux du Rhône et du Rhin. Les castors sont absents du Tessin, mais la présence d'un individu dans le lac Majeur côté italien a pu être prouvée au début de l'année 2024. On ne sait toutefois rien sur son origine (Mori et al., 2024). Les castors occupent principalement les cours d'eau du Plateau suisse en dessous de 700 m d'altitude, seuls 3 % de leurs territoires se trouvent au-dessus de cette limite. Le territoire de castor le plus élevé d'Europe se situe à près de 1700 m d'altitude, à Samedan (GR). Depuis 2008, le nombre des territoires a augmenté de 8,2 % par an et la population s'est accrue annuellement de 8,3 %. La taille moyenne des territoires est de 1,75 km de longueur. Elle s'est nettement raccourcie depuis 2008. La plus grande densité de population de castors se trouve dans la vallée inférieure de la Thur, près de Frauenfeld, et le long de l'Aar et de ses affluents entre Thoun et Berne. Si l'on constate que la population continue d'augmenter dans toutes les régions, on observe cependant un ralentissement de la croissance dans certaines zones colonisées depuis longtemps. Cela indique une saturation des habitats disponibles.

¹ Les effectifs mentionnés dans le rapport Angst et al. (2023) pour 1978 et 1993 diffèrent légèrement de ceux présentés dans les rapports de Stocker (1985) et Rahm & Bättig (1996) pour des raisons méthodologiques. Pour de plus amples explications, voir Angst et al. (2023).

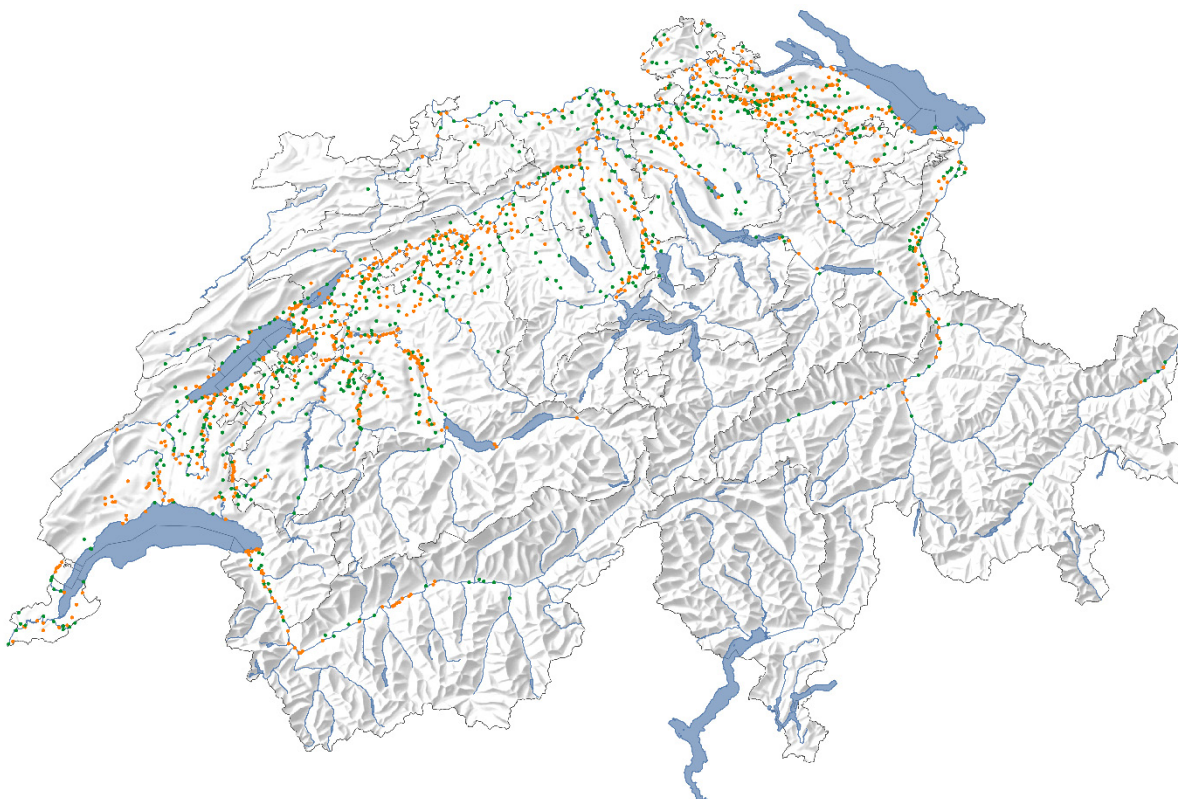


Fig. 1 : Distribution du castor en Suisse et au Liechtenstein à l'hiver 2021-2022. Le centre du territoire est déterminant (terrier occupé ou centre d'activité). Points verts : territoires individuels/de couples ; points orange : territoires familiaux.

Depuis 2008, la colonisation des petits et des très petits ruisseaux s'est poursuivie. Près de 40 % des castors vivent sur des ruisseaux de moins de 5 m de large (Tab. 1). C'est dans ces petits cours d'eau qu'ils construisent des barrages. Au minimum un barrage était trouvé dans près d'un quart des territoires solitaires et dans 35 % des territoires familiaux. Pas moins de 1316 barrages ont pu être comptés lors du recensement. Les barrages mesuraient entre 0,5 et 2,5 m de hauteur ; leur hauteur moyenne était de 0,5 m. Les familles construisent plus de barrages dans leur territoire que les animaux seuls ou les couples. En moyenne, deux barrages par territoire sont construits (max. = 26). Près d'un quart des familles (24 %) ont construit au moins quatre barrages. Le nombre des territoires de castor comportant un ou plusieurs barrages a augmenté depuis le dernier recensement national de 2008 ; ces territoires abritent davantage de familles, ce qui est un indice supplémentaire d'une colonisation toujours plus durable des petits cours d'eau.

Tab. 1 : Types de cours d'eau occupés en permanence par le castor (selon Delarze et al., 2015) en 1978, 1993, 2008 et 2022. Le tableau indique la proportion de territoires par type de cours d'eau.

Types de cours d'eau	1978	1993	2008	2022
Lac > 1 ha	12,5	6,5	10,5	8,7
Étang < 1 ha	3,1	7,9	8,2	13,5
Lac de retenue	6,3	2,9	1,5	1,1
Fleuve, rivière > 70 m	15,6	15,1	18,4	7,7
Grande rivière 10-70 m	46,9	39,6	25,7	18,7
Rivière 5-10 m	15,6	14,4	10,5	11,3
Ruisseau 0,5-5 m	0,0	13,7	24,9	38,7
Petit ruisseau < 0,5 m	0,0	0,0	0,2	0,4

Près de 40 % des territoires de castors se situent en zone de culture, 14 % sont pour moitié en zone de culture et pour moitié en forêt, 11 % se trouvent entièrement en forêt et 7 % en zone herbagère. Finalement, 6 % des territoires se situent dans des agglomérations. A l'échelle suisse, 28 % des territoires de castors peuvent être considérés comme conflictuels (problèmes liés aux dégâts causés par les barrages, à ceux causés aux infrastructures de transport et à ceux causés aux cultures et aux forêts). Les indemnités de ces dommages versées par les cantons et la Confédération (dégâts aux cultures et aux forêts) oscillent au total entre CHF 30 000.- et 80 000.- par année. Il est important de relever que la grande majorité de ces conflits (82,8 %) surviennent dans des zones agricoles (terres ouvertes ou herbages).

3 Effet des barrages de castors sur la biodiversité

- Grâce aux barrages de castors, l'habitat s'agrandit et se diversifie : la variabilité des profondeurs et vitesses de courant augmente.
- Les substrats présents dans les territoires de castors diffèrent de ceux présents dans les zones contrôles.
- L'augmentation de la diversité des habitats est plus importante dans les cours d'eau fortement altérés.
- Dans l'ensemble des zones étudiées (16 territoires), on trouve en moyenne 2,6 fois plus d'espèces et 5,9 fois plus d'individus dans les tronçons influencés par le castor par rapport aux zones contrôles. Le facteur décisif pour obtenir cet effet sur la biodiversité est la création de zones humides.
- L'augmentation de la biodiversité est plus importante dans les territoires forestiers que dans ceux situés en zone ouverte. Elle est également plus importante dans les territoires situés sur des cours d'eau fortement altérés que dans ceux aménagés dans des sites déjà proches de l'état naturel.
- Dans les territoires où les castors, grâce à leurs barrages, peuvent développer tout leur potentiel, on trouve 6,5 fois plus d'espèces et 62 fois plus d'individus.

On sait par la littérature que le castor peut profondément modifier un cours d'eau. En effet, par son activité d'abattage d'arbres ou de construction de barrages formant des étangs dans lesquels des arbres meurent, il est en mesure de créer des clairières au milieu d'une forêt, apportant ainsi de la lumière à un cours d'eau auparavant ombragé ; il peut engendrer une vaste zone humide là où le ruisseau était profondément incisé² et où l'échange entre les eaux souterraines et les eaux de surface n'était plus fonctionnel ; il est également capable de modifier la vitesse du courant et la profondeur du lit en créant des zones d'eau calme et profonde.

Ce module cherche à comprendre dans quelle mesure les modifications de l'écomorphologie d'un cours d'eau par les barrages de castor peuvent influencer d'autres organismes. Si l'impact positif du grand rongeur n'est plus à démontrer (voir chapitre 1), l'étendue de cette influence dans différentes configurations de cours d'eau et dans un contexte suisse, caractérisé par l'utilisation intensive du sol, n'a encore jamais été étudiée en détail. C'est pourquoi ce module analyse l'influence du castor sur la diversité et l'abondance de divers groupes d'organismes et ceci dans des cours d'eau présentant différents caractères écomorphologiques typiques de notre paysage.

Au total, seize territoires situés sur le Plateau suisse ont été étudiés. Dans trois d'entre eux, on a également suivi le comportement des poissons face aux barrages érigés par les castors (voir chapitre 4). Les seize territoires d'étude ont été sélectionnés sur la base de la matrice du tableau 2 (quatre territoires par groupe, Fig. 2-5). Chaque territoire a été comparé avec un tronçon contrôle situé en amont ou en aval sur le même cours d'eau, qui n'était pas influencé par l'activité des castors. Les tronçons contrôles présentaient à peu près la même écomorphologie, le même type de milieu naturel et la même géomorphologie que ceux qui existaient dans les territoires avant l'arrivée du castor. Un tronçon de 100 m a été échantillonné. Lorsque le territoire comprenait plusieurs barrages, l'échantillonnage a été réalisé de part et d'autre du barrage principal³. Tous les tronçons d'étude commençaient 25 m en aval du barrage et se terminaient 75 m en amont de celui-ci, dans l'étang.

² Le terme « cours d'eau incisé » désigne les cours d'eau qui se sont profondément enfoncés dans le terrain environnant. Cela se traduit par des berges abruptes et un fossé étroit. De tels cours d'eau sont souvent le résultat de processus d'érosion naturels ou d'interventions humaines, telles que la rectification des rivières ou la consolidation des berges, qui limitent la dynamique naturelle du cours d'eau.

³ Le barrage principal est celui qui protège un terrier ou une hutte occupée. C'est aussi souvent celui qui est le plus intensivement entretenu.

Réalisé avec des méthodes standard courantes, l'échantillonnage portait sur les groupes d'espèces suivants : les macrophytes (plantes aquatiques), le macrozoobenthos (invertébrés aquatiques), les libellules, les amphibiens et les poissons et écrevisses. Là où il était possible de le faire, les poissons ont fait l'objet d'un échantillonnage quantitatif afin de déterminer aussi la biomasse en plus de la diversité. Pour une description exacte des méthodes, on consultera Minnig et al. (2024a).

Tab. 2 : Les quatre groupes d'étude (A à D) de la matrice peuvent être décrits sommairement à l'aide des paramètres ci-après.

	Milieu	Cours d'eau	Taille de l'étang	Zone d'extension de l'étang
Groupe A	En milieu ouvert	incisé	Petite à moyenne	Uniquement dans la direction d'écoulement
Description	<i>Territoires présents dans des cours d'eau altérés et fortement incisés. Connectivité latérale limitée en raison de l'écomorphologie du ruisseau (fortement endigué), étangs plutôt de petite taille. Les barrages sont régulièrement détruits par les crues (durée d'existence : une à quelques années).</i>			
Groupe B	En forêt	naturel	Petite à moyenne	Majoritairement dans la direction d'écoulement
Description	<i>Territoires présents dans des cours d'eau naturels. Connectivité latérale limitée en raison du terrain plutôt raide. Les barrages peuvent persister plusieurs années.</i>			
Groupe C	En milieu ouvert	naturel	Moyenne à grande	En partie avec connectivité latérale
Description	<i>Territoires présents dans des cours d'eau naturels. Connectivité latérale possible en raison du terrain le plus souvent plat. Les barrages persistent souvent plusieurs années.</i>			
Groupe D	En forêt	incisé et/ou artificiel	Moyenne à grande	Avec connectivité latérale
Description	<i>Territoires présents dans des cours d'eau altérés à artificiels. Connectivité latérale marquée en raison du terrain très plat. Les étangs inondent de vastes surfaces (parfois plusieurs ha). Les barrages restent le plus souvent longtemps en place (jusqu'à 10-15 ans).</i>			



Fig. 2 : Tegelbach (TG), groupe A. Cours d'eau incisé, étang de taille petite à moyenne, étendu dans la longueur, en milieu ouvert (photo : Silvan Minnig).



Fig. 3 : Gilebächli (TG), groupe B. Cours d'eau naturel, étang de taille petite à moyenne, étendu dans la longueur, en forêt (photo : Silvan Minnig).



Fig. 4 : Rotbach (BE), groupe C. Cours d'eau naturel, étang de taille moyenne à grande, connecté avec les terres alentours, en milieu ouvert (photo : Silvan Minnig).



Fig. 5 : Riedgraben (BE), groupe D. Cours d'eau artificiel, incisé, étang de taille moyenne à grande, connecté avec les terres alentours, en forêt (photo : Silvan Minnig).

Les deux années étudiées (2021 et 2022) ont connu des conditions météorologiques très différentes. L'année 2021 a été marquée par de nombreux épisodes de crue de moyenne à grande importance, en particulier durant le premier semestre. L'année 2022 a enregistré nettement moins de crues et a connu un été caniculaire exceptionnel. Dans cinq des territoires étudiés, tous les barrages ont été détruits par des crues au cours des deux périodes d'étude ; à la suite de ces événements, il n'y avait plus que des restes de barrages et les étangs n'existaient presque plus ou avaient carrément disparu. Cette situation a été prise en compte lors de l'analyse.

Variabilité des habitats

Les barrages des castors peuvent modifier profondément la morphologie d'une partie d'un cours d'eau en ralentissant l'écoulement de l'eau ou en créant même des milieux d'eau calme. Dans les territoires influencés par les barrages, la vitesse du courant et la profondeur de l'eau varient davantage que dans les zones contrôles. Les barrages entraînent en outre un net accroissement du volume d'eau. Les tronçons contrôles ne présentent presque pas de zones d'eau profonde, stagnante ou s'écoulant lentement. Lors des crues, le passage de l'eau au-dessus du barrage creuse souvent un profond affouillement directement en aval de celui-ci. Les barrages augmentent aussi nettement la surface d'eau disponible : dans les territoires de castors, cette surface est 1,9 fois (médiane) plus grande que dans les zones contrôles. Les barrages retiennent des substrats, notamment des sédiments fins, qui sont absents dans les zones contrôles, ce qui explique pourquoi les territoires de castors abritent plus de plantes aquatiques (macrophytes) et paludéennes (hélophytes). Dans les zones contrôles, on trouve par contre davantage de pierres et de gravier (Minnig et al., 2024a). Les relevés effectués avec la méthode IAM (Indice d'Attractivité Morphodynamique) ont montré que les activités des castors

augmentent significativement la diversité des différents substrats et structures, surtout dans les cours d'eau fortement altérés (Vonlanthen et al., 2018).

Dynamique du milieu naturel

La méthode IAM consiste en un relevé détaillé unique des microstructures de chaque tronçon étudié (territoire et contrôle). Elle ne peut donc pas reproduire la dynamique qui existe dans un ruisseau, et en particulier dans les zones où vivent des castors. De plus, le relevé est effectué en période d'étiage. Il est donc possible que la variabilité de la profondeur d'eau et du courant soit périodiquement encore bien plus marquée.

La retenue de sédiments fins par le barrage est un phénomène temporaire, surtout dans les territoires des groupes A, B et C. Comme les crues provoquent régulièrement des perturbations hydrauliques lors desquelles il n'est pas rare que le barrage se troue ou cède entièrement, les différences de structure sédimentaire entre les territoires de castors et les zones de contrôle tendent toujours à s'égaliser.

Variabilité des habitats et associations végétales

La modification du courant, l'augmentation du volume d'eau et la variété des types de substrats facilitent la colonisation de plantes aquatiques et paludéennes dans les territoires de castor. L'analyse des espèces indicatrices dans les tronçons des territoires a permis d'identifier six types différents de milieu naturel selon Delarze et al. (2015), dont quatre ont aussi été trouvés dans les tronçons contrôles. Le type « végétation des rives d'eau courante » (Glycero-Sparganion) a pu être décrit dans la plupart des territoires étudiés (n = 14), suivi par le « marais à grandes laïches » (Magnocaricion, n = 6) et la « roselière terrestre » (Phalaridion, n = 2).

Dans certains territoires d'étude où les étendues d'eau retenue étaient particulièrement importantes, on a identifié plusieurs types de milieu naturel, notamment le type « eau avec végétation flottante libre » (Lemnion). Par comparaison, seul cinq zones contrôles présentaient un de ces types de milieu. Les tronçons de ruisseau modifiés par les barrages abritent donc des structures et des types de milieu naturel qui sont absents des zones contrôles, ce qui influe sur la diversité des associations végétales. Si le barrage cède, les structures des territoires se rapprochent de celles des tronçons contrôles, tout en restant plus variées. Les différences en ce qui concerne les types de milieux naturels persistent aussi après la rupture d'un barrage.

Influence des étangs de castors sur la température de l'eau

Les mesures de la température n'ont pas révélé de tableau clair : une légère hausse de la température a été constatée en aval du barrage de castors dans sept des seize territoires étudiés. Ce gradient positif a pu être mesuré à tout moment de la journée et de l'année. La variation de la température dans le sens du courant est par contre frappante, en particulier dans les petits cours d'eau. Dans huit des seize territoires d'étude, on a en effet constaté un refroidissement dans le sens de l'écoulement. La différence de température moyenne maximale sur l'ensemble des territoires étudiés était située entre +1,9 °C et -1,9 °C. Là où l'eau de l'étang du castor s'était le plus réchauffée (+2,1 °C), la différence de température entre l'amont et l'aval du barrage était de -1 °C. Bien que l'eau se soit nettement réchauffée dans l'étang, sa température a quand même baissé de 1 °C sur l'ensemble du tronçon étudié. Cela peut indiquer un échange entre l'eau du ruisseau provenant de l'étang des castors et les eaux souterraines. Cette eau retourne ensuite dans le ruisseau où elle ressort plus fraîche. Cet effet est décrit dans la littérature (échange hyporhéique), mais il semble dépendre fortement du site et n'a pas été étudié dans cette étude.

Influence sur la diversité des espèces et sur le nombre d'individus (abondance)

Tous les groupes évalués au sein des territoires ont démontré une augmentation aussi bien du nombre d'espèces que de l'abondance comparé aux zones contrôles (Fig. 6) : 100 espèces ont pu être trouvées dans les 16 sites d'étude (51 846 observations au total). 99 espèces étaient présentes dans les territoires de castors et 57 espèces dans les zones contrôles. On a compté 43 966 individus dans les territoires (84,8 %) et 7880 dans les zones contrôles (15,2 %). Le macrozoobenthos n'a pas

été utilisé lors de l'analyse générale pour deux raisons : d'une part, la méthode de relevé (relevé ponctuel) différait de celle utilisée pour les autres groupes (relevé sur un tronçon de 100 m) ; d'autre part, le groupe a été déterminé seulement au niveau des familles (voir le sous-chapitre macrozoobenthos ci-après). Ceci fait que les chiffres ne peuvent pas être comparés directement à ceux des autres groupes (détermination au niveau des espèces). Si l'on considère le total des 16 territoires évalués, on retrouve 2,6 fois plus d'espèces et l'abondance est multipliée par 5,9 comparé aux contrôles. Les détails séparés par groupe A, B, C ou D sont présentés dans le tableau 3. Les territoires du groupe D (en forêt et dans des cours d'eau artificiels) profitent de manière disproportionnée de la présence du castor (Fig. 7) grâce à l'inondation des espaces riverains et la meilleure connexion entre les écosystèmes terrestres et aquatiques. À cet égard, il est important de noter que les tronçons contrôles du groupe D ne présentaient de manière générale que peu d'espèces. Dans le groupe A, une augmentation de la diversité des espèces d'un facteur de 1,7 semble faible comparé aux trois autres groupes (Tab. 3).

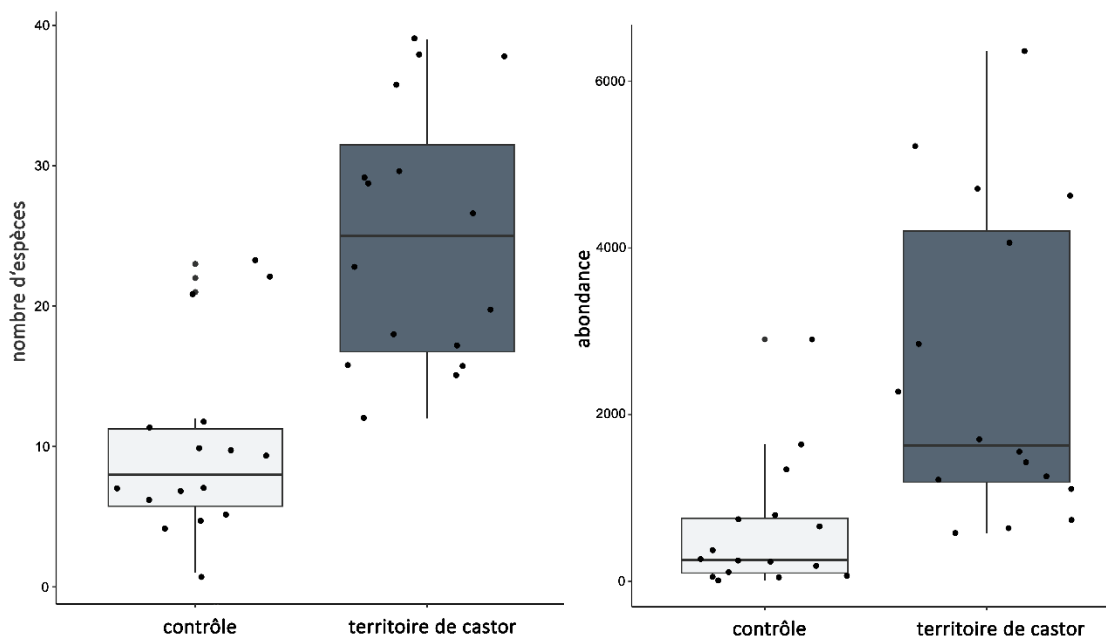


Fig. 6 : Différence du nombre d'espèces (à gauche) et de l'abondance (nombre d'individus, à droite) entre les tronçons situés dans les territoires de castors et les tronçons contrôles dans les seize sites étudiés.

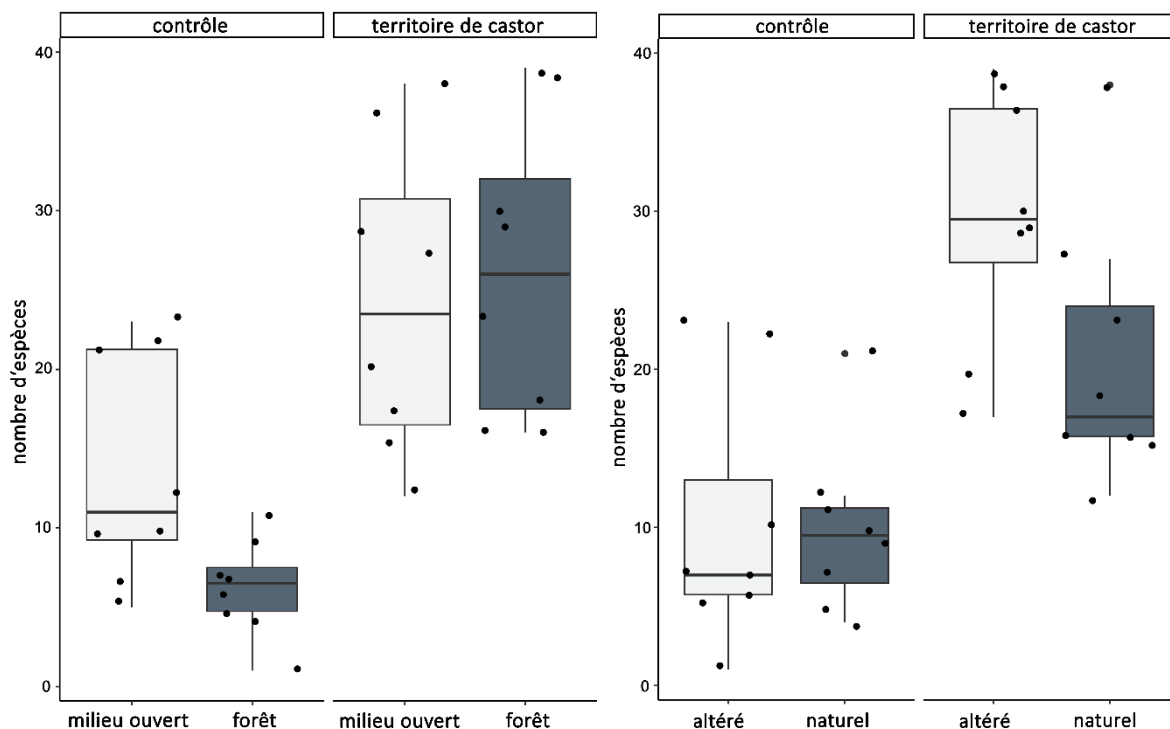


Fig. 7 : Différence du nombre d'espèces entre le milieu ouvert et la forêt (à gauche) et entre les cours d'eaux altérés et proches de l'état naturel (à droite).

Si l'on considère uniquement les 11 territoires ayant gardé leurs barrages tout au long de l'expérience (5 territoires les ont perdus lors des crues de 2021), on constate que le nombre d'espèces est plus que triplé et que l'abondance est multipliée par 13,7 dans les zones influencées par les barrages comparé aux zones contrôles.

Un nombre d'espèces plus élevé a aussi été constaté dans les cinq territoires où les barrages ont été détruits par les crues. Le nombre d'individus y était par contre pratiquement le même que dans les tronçons contrôles (Tab. 3).

Tab. 3 : Résumé des résultats principaux pour le nombre d'espèces et l'abondance. Les résultats concernant l'ensemble des territoires sont présentés globalement, puis séparés selon les 4 groupes. * différence significative.

Territoires vs contrôles	Groupe	Nombre d'espèces	Abondance
16 territoires vs contrôles		x 2,6***	x 5,9***
	Groupe A	x 1,7*	x 2,0*
	Groupe B	x 2,2	x 7,3
	Groupe C	x 2,0	x 1,9
	Groupe D	x 6,5***	x 62,1***
11 territoires avec barrages fonctionnels vs contrôles		x 3,1**	x 13,7**
5 territoires sans barrages de castors vs contrôles		x 1,7**	x 1,4

Macrophytes (plantes aquatiques)

Les macrophytes constituent des structures importantes dont sont tributaires de nombreuses autres espèces, qui y trouvent des cachettes et de la nourriture, s'y reproduisent et y déposent leurs œufs (p. ex. les odonates, voir ci-après). Les territoires de castors présentaient significativement plus de

macrophytes que les sites contrôles (3 fois plus d'espèces et 9 fois plus d'individus). Cette augmentation de l'abondance est particulièrement prononcée dans les territoires situés en forêt. Les étangs de castors peuvent aussi abriter des indicateurs d'eau calme comme les étoiles d'eau (*Callitriche* ssp.) ou les utriculaires (*Utricularia* ssp.) ; comme ces espèces sont des plantes flottantes dépourvues de racine, même une faible vitesse d'écoulement suffit à empêcher leur croissance.

Amphibiens

Si des amphibiens ont pu être observés dans 14 des 16 territoires de castors étudiés (87,5 %), seuls 4 sites contrôles étaient occupés (25 %). Près de 90 % des observations effectuées dans le cadre de cette étude ont été enregistrées dans les territoires (32 observations vs 4 observations dans les contrôles ; Tab. 4).

Six taxons ont pu être identifiés au total dans le cadre de ce projet : la grenouille rousse (*Rana temporaria*), le complexe grenouille verte (*Pelophylax* spp.), le crapaud commun (*Bufo bufo*), la rainette verte (*Hyla arborea*), le triton palmé (*Lissotriton helveticus*) et le triton alpestre (*Ichthyosaura alpestris*). Les tritons et la rainette verte n'ont pu être découverts que dans les territoires de castors. Les amphibiens réagissent fortement à la présence du rongeur et à ses barrages : seule une espèce en moyenne a été enregistrée dans les sites contrôles, tandis que dans les territoires, il y en avait en moyenne 2,5 (Fig. 8 et 9). Dans plusieurs territoires forestiers présentant de grands étangs, les grenouilles rousses se sont reproduites abondamment : douze ans après avoir été modifié par le castor, le territoire de 4 ha de Marthalen (groupe D) est l'un des 20 plus grands sites de reproduction de grenouilles rousses de Suisse, avec 4490 pontes (données : banque de données info fauna, 2025).

Tab. 4 : Résumé des résultats principaux pour les amphibiens.

	Territoire de castors	Site contrôle
% d'occupation des sites d'étude par des amphibiens	87,5 %	25 %
Nombre d'observations	32	4
Nombre moyen d'espèces	2,5	1

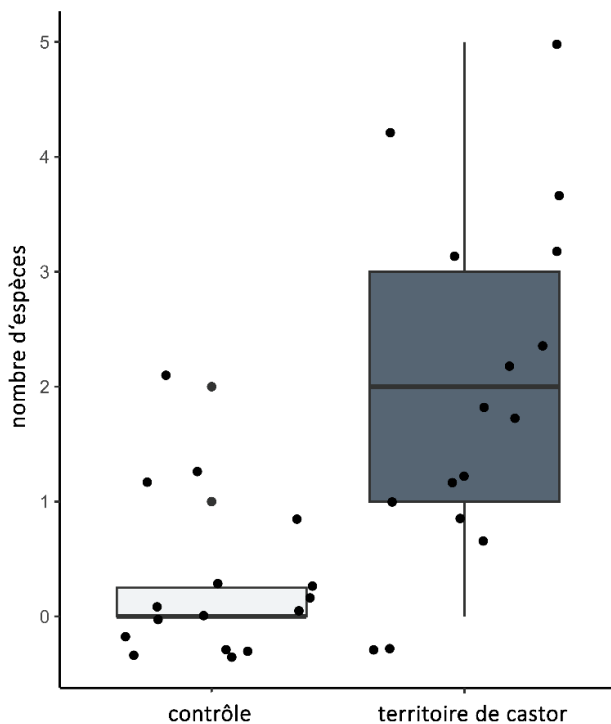


Fig. 8 : Les barrages de castors impactent positivement le nombre d'espèces d'amphibiens présentes dans un cours d'eau.



Fig. 9 : Pontes de grenouilles rouges à côté du Rotbach (BE). Le barrage érigé par les castors et les modifications du courant ont entraîné la formation de petites flaques sur le cours du ruisseau en amont du barrage, dans lesquelles les amphibiens peuvent se reproduire (photo : Christof Angst).

Poissons

Au total, 18 espèces de poissons ou d'écrevisses ont été trouvés. L'écrevisse à pattes rouges (*Astacus astacus*), classée comme espèce vulnérable (VU), n'a pu être observée que dans deux territoires de castors. Il y a significativement plus d'espèces dans les territoires comparé aux zones contrôles, et la truite atlantique (*Salmo trutta*) est l'espèce la plus fréquemment rencontrée. La taille ainsi que le poids des individus sont influencés positivement par la présence d'un territoire de castors : la biomasse médiane des poissons y est deux fois plus lourde que dans un tronçon contrôle (60,8 kg vs 29 kg ; Tab. 5 et Fig. 10). Cette mesure est corrélée à la taille médiane des truites. Elle est plus élevée dans les territoires (178,5 mm) que dans les contrôles (142 mm). Et les truites sont plus nombreuses dans les territoires des castors que dans les sites contrôles (55 vs 41 individus) mais l'effet n'était pas significatif.

Le site d'étude du Gilebach (TG), un petit affluent présent dans la zone alluviale de la Thur, présente une abondance de poissons exceptionnelle (+528 % par rapport aux autres tronçons). Ce barrage (et l'étang de castor qui se trouve en amont) est pourtant le plus petit recensé dans le cadre de cette étude. Cinq espèces ont été identifiées dans ce territoire, le vairon (*Phoxinus phoxinus*) étant le plus répandu avec 3964 individus dénombrés (96,7 %). Cela souligne la fonction importante des petits barrages à l'embouchure de grandes rivières : les jeunes poissons peuvent séjourner dans l'étang de castor en bancs et à l'abri des prédateurs avant de regagner la rivière. L'étang, situé à l'écart du grand tronçon lotique, peut également contribuer à réduire la dérive des jeunes poissons due aux crues répétées des grands cours d'eau.

Tab. 5 : Résumé des résultats principaux pour les truites.

	Territoire de castors	Site contrôle
Biomasse médiane des truites [kg]	60,8	29
Taille médiane des truites [mm]	178,5	142
Nombre d'individus médian	55	41

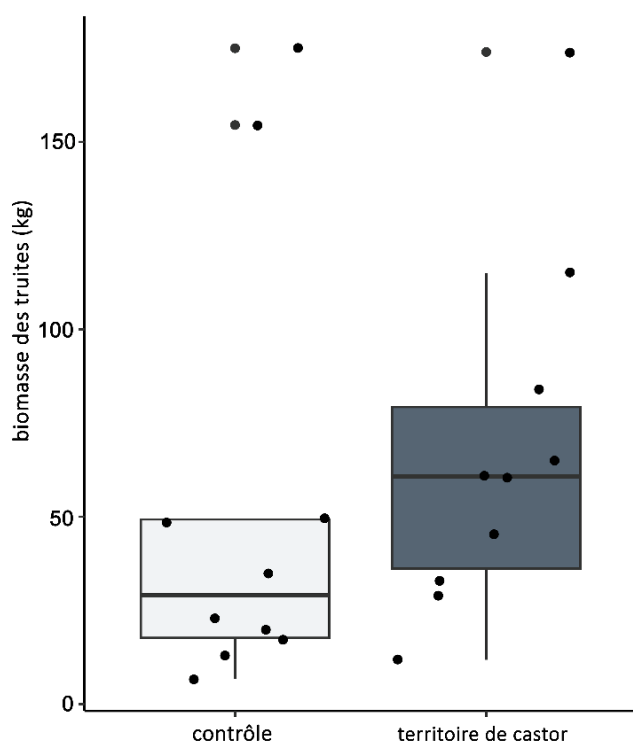


Fig. 10 : La biomasse des truites (en kg) est plus élevée dans les territoires de castors que dans les zones contrôles.

Les activités du castor favorisent la croissance de la communauté de poissons surtout dans les cours d'eau fortement altérés. Dans les cours d'eau moins altérés ou proches de l'état naturel, ce sont avant tout les gros poissons plus âgés qui profitent des habitats plus profonds, semblables à des affouillements, présents dans les étangs de castors.

Odonates

Les odonates réagissent fortement à la modification des habitats par les barrages de castors : sur les 30 espèces identifiées dans les territoires, seule la moitié (16 espèces ; Tab. 6) ont été retrouvées dans les sites contrôles. L'abondance des odonates réagit également positivement à la présence de barrages : alors que 2847 individus ont été enregistrés dans les territoires de castors, seules 860 l'ont été dans les tronçons contrôles. Cet effet est à attribuer en grande partie à la diversification des macrophytes (voir ci-dessus) ainsi qu'à l'ouverture de la canopée en forêt par les actions d'abattage et/ou d'inondation du castor. On sait que la faune d'odonates spécialisés sur les plans d'eau est plus diversifiée que celle des cours d'eau, ces résultats ne sont donc pas surprenants : la création d'étangs par le castor et ses barrages a favorisé la guildes d'odonates la plus riche. Si 36 % des espèces d'odonates de Suisse sont considérées comme menacées (Monnerat et al., 2021), seule une espèce liste rouge (*Erythromma lindenii*) a pu être identifiée dans le cadre de ce projet.

Tab. 6 : Résumé des résultats principaux pour les odonates.

	Territoire de castors	Site contrôle
Nombre d'espèces	30	16
Nombre d'individus observés	2847	860

Macrozoobenthos

Parmi tous les groupes étudiés, le macrozoobenthos est le groupe ayant réagi de la manière la plus neutre. Aucune tendance claire due à la présence de barrages n'a pu être décelée. Les résultats sont fortement influencés par la destruction des barrages de castors par les crues. Une forte réaction a été

observée dans les quatre territoires de castors en forêt du groupe D, où les taxons trouvés dans les zones influencées par le castor étaient significativement plus nombreux que dans les tronçons contrôles. A noter que ce groupe n'a été déterminé pour l'instant qu'au niveau de la famille. Des identifications des individus collectés jusqu'au niveau de l'espèce sont en cours et révéleront peut-être des différences significatives en termes d'abondance ou de richesse spécifique.

Diversité des territoires de castors

Parmi les 8 tronçons les plus diversifiés, on compte 5 sites en milieu ouvert et 3 sites forestiers. Cinq de ces tronçons se situent dans des ruisseaux dégradés et 3 dans des ruisseaux proches de l'état naturel. Dans 2 de ces 8 tronçons, les barrages ont été détruits par des crues. Ces deux sites présentaient néanmoins une diversité élevée, ce qui souligne l'importance des structures résiduelles.

4 Comportement des poissons face aux barrages de castors

- Les barrages de castors peuvent être franchis par les poissons, et ce par toutes les espèces étudiées (truite atlantique, chevine commun, chabot).
- La capacité des poissons à franchir les barrages de castors est fortement corrélée aux débits augmentés lors des précipitations (épisodes de crues). Les crues tendent en effet à égaliser la différence du niveau d'eau en amont et en aval du barrage, le barrage est submergé et le passage est ainsi facilité.
- Les caractéristiques écomorphologiques du cours d'eau sont également déterminantes pour le succès de la traversée : plus le cours d'eau est connecté avec l'espace réservé aux eaux, plus le pourcentage de poissons réussissant à franchir le barrage de castor augmente.
- Une sélectivité par la taille a pu être constatée chez les truites et les chevaines. Les individus inférieurs à une certaine taille présentent un taux de passage plus faible, et ce même lorsque le cours d'eau est en crue. Cette sélectivité par la taille dépend des caractéristiques du chenal ainsi que de la hauteur du barrage.

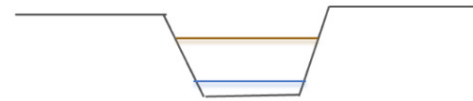
En Suisse, les cours d'eau naturels sont devenus rares aujourd'hui, en particulier sur le Plateau (OFEV, 2022a). Parmi les causes de cet état de fait, on peut notamment citer les quelques 100 000 seuils artificiels parsemant les cours d'eau. Les seuils sont néfastes pour les poissons car ils entravent leur migration (OFEV, 2022b). Ils ne sont toutefois pas les seuls à exercer une forte pression sur l'habitat de la faune piscicole : canalisation des cours d'eau, perte des structures⁴, pollution, prélèvements d'eau, augmentation de la température des eaux liée au réchauffement climatique, tous ces facteurs et d'autres encore nuisent à la santé de la faune aquatique indigène (OFEV, 2022b). Il n'est ainsi pas surprenant qu'aujourd'hui, près de 65 % des espèces de poissons indigènes soient considérées comme éteintes ou menacées (OFEV, 2022b).

Le castor et les poissons partagent le même milieu depuis des millions d'années et, de fait, les constructions des premiers font partie de l'habitat des seconds. Les barrages peuvent avoir différents impacts sur la faune aquatique, aussi bien positifs que négatifs (en fonction par exemple des espèces concernées, des conditions hydrologiques ou encore topographiques du lieu ; Rosell et al., 2005). Dans un réseau hydrologique naturel et dynamique, ils n'entravent pas la migration des poissons de manière générale (p.ex. Kemp et al., 2012 ; Taylor et al., 2010 ; Wolf et al., 2022). Dans certaines situations, il peut temporairement arriver que le passage des poissons soit empêché par les barrages de castors et que des sédiments se déposent dans les zones de frai (p.ex. Collin &, 2001 ; Cutting et al., 2018 ; Lokteff et al., 2013).

Dans les cours d'eau artificiels et canalisés, les barrages de castors sont soupçonnés de représenter un obstacle important pour les poissons. Ce module a donc pour but d'étudier l'influence des barrages de castors sur la faune piscicole et d'évaluer leur degré de franchissabilité dans un contexte suisse (donc sur des cours d'eau souvent relativement artificiels). Lors d'épisodes caniculaires, il a été constaté que les étangs créés par les barrages permettent de maintenir une zone immergée suffisante au maintien de la faune piscicole dans des cours d'eau pratiquement asséchés (White & Rahel, 2008). Certains auteurs supposent donc que les étangs de castors sont utilisés comme refuges par différentes espèces de poissons lors de vagues de chaleur (Dittbrenner et al., 2022 ; Hägglund & Sjöberg, 1999). Cette hypothèse est également testée dans la présente étude.

⁴ Sous la dénomination « structures », on comprend les niches, les fissures, les recoins et autres caches constitués de bois mort, de pierres, de racines affleurantes sur les berges, etc. La présence de structures dans les cours d'eau est importante car elles fournissent des refuges contre les prédateurs, des substrats pour la ponte ou encore des surfaces auxquelles s'accrocher.

Trois cours d'eau typiques du Plateau suisse traversés par au minimum un barrage de castors ont été sélectionnés dans le cadre de ce module. Les tronçons d'étude présentaient un gradient de caractéristiques écomorphologiques allant du chenal très incisé et canalisé du Tegelbach (TG) (ci-après « incisé » ; Fig. 11) à la situation du Schwarzbach (ZH), au chenal ouvert d'un côté et bien connecté latéralement avec la forêt alluviale (ci-après « connecté » ; Fig. 13), en passant par une situation intermédiaire, où le chenal du Chriesbach (ZH), bien qu'incisé, peut occasionnellement déborder et inonder les berges (ci-après « intermédiaire » ; Fig. 12).



- chenal
- barrage de castor
- cours d'eau (en aval du barrage)

Fig. 11 : Barrage de castors sur le Tegelbach (TG). Le tronçon concerné est incisé, l'étang ne peut s'étendre que dans le chenal (image : Thomas Kreienbühl).



- chenal
- barrage de castor
- cours d'eau (en aval du barrage)

Fig. 12 : Barrage de castors sur le Chriesbach (ZH). Le tronçon concerné est également incisé : l'eau ne peut pas se répandre entièrement sur la plaine alluviale. Cependant, des berges aplanies peuvent tout de même être inondées lors de petites crues (image : Silvan Minnig).

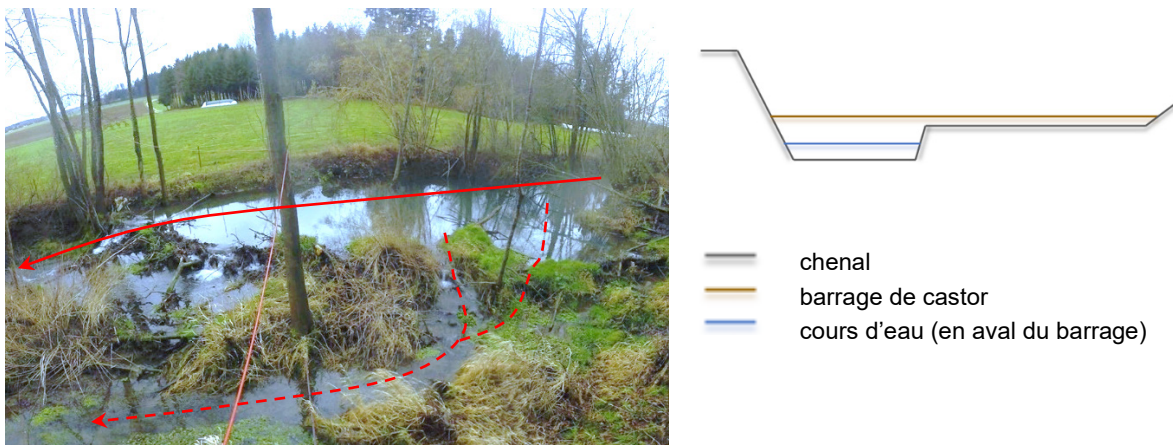


Fig. 13 : Barrage de castors sur le Schwarzbach (ZH). Le tronçon concerné est connecté à la plaine alluviale, l'eau peut s'y répandre. Ligne rouge : le chenal d'origine. Ligne en pointillés : canal latéral. L'eau présente au premier plan est déviée sur la plaine alluviale par le barrage (image : Silvan Minnig).

Des poissons ont été marqués par PIT-tags afin de suivre leurs déplacements entre deux doubles antennes placées de part et d'autre du barrage. Le doublement des antennes permet de déterminer le sens de nage du poisson marqué. Trois groupes ont été constitués : deux groupes « contrôles » (amont et aval) et un groupe « transfert ». Tous les individus appartenant à ce dernier groupe ont été capturés en amont du barrages et relâchés en aval. Ce dispositif expérimental s'appuie sur ce que l'on appelle le comportement de « homing » des poissons, à savoir leurs efforts pour rejoindre leur territoire d'origine (Halvorsen & Stabell, 1990 ; Höjesjö et al., 2007). Trois types de poissons ont été distingués au sein de ce groupe : les « grimpeurs – G » ont été détectés par les deux doubles antennes et ont donc traversé le barrage de castors avec succès ; les « nageurs – N » n'ont été détectés que par la double antenne aval et n'ont donc pas traversé le barrage ; finalement les « autres » n'ont été détectés par aucune antenne et n'ont donc pas cherché à remonter le courant une fois relâchés⁵ (Fig. 14).

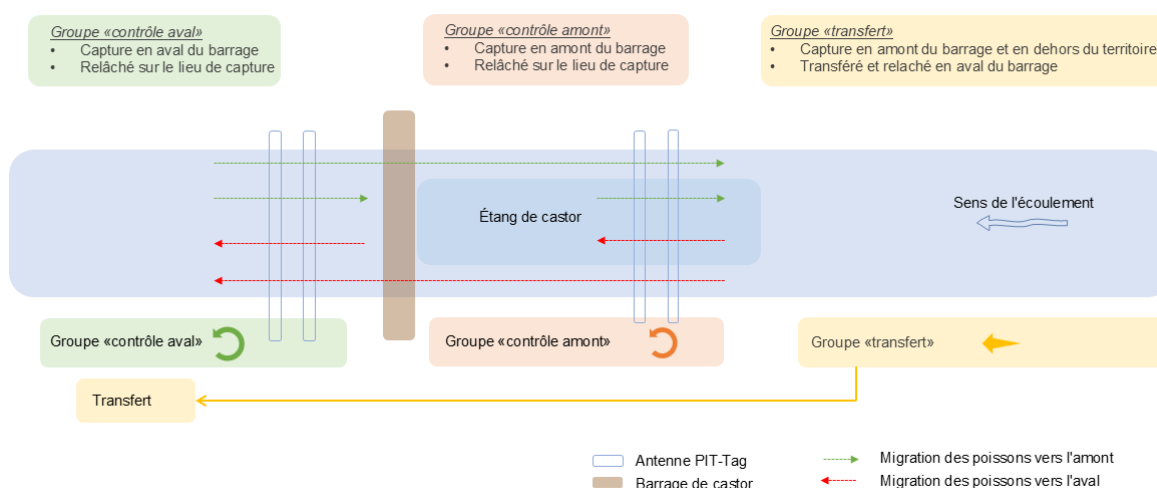


Fig. 14 : Schéma présentant l'expérience. Les poissons présents dans le groupe déplacé en aval (« transfert ») du barrage se sont répartis en trois catégories : les « grimpeurs », qui ont traversé le barrage ; les « nageurs », qui s'en sont approchés sans le traverser ; et les « autres », qui n'ont pas tenté de remonter le courant.

⁵ Cette absence de détection peut avoir trois causes : 1) le poisson n'a effectivement pas eu la volonté de remonter le courant ; 2) il s'est fait manger par un autre poisson ou par un oiseau ; 3) il est mort des suites du marquage. Cette dernière hypothèse est la moins probable : dans le cadre d'un essai préalable à cette étude, aucun poisson n'est mort à cause du PIT-tag dans un intervalle de 48 h après l'intervention.

Des mesures de la température de l'eau ont également été prises dans le cadre de ce projet. Seule la température des cours d'eau incisé (Tegelbach) et connecté (Schwarzbach) a été analysée dans ce module. En effet, la présence d'un affluent à proximité du barrage de castors dans le système intermédiaire (Chriesbach) ne permet pas d'obtenir des données représentatives de l'effet de refroidissement lié à l'étang de castor. La température a été mesurée à l'aide de loggers placés sur le fond du lit. Une période de mesure durant une vague de chaleur ainsi qu'une période contrôle de même durée ont été définies. Des valeurs de températures ont également été enregistrées en amont et en aval de l'étang. Pour plus de détails concernant la méthode, voir Kreienbühl et al. (2024).

Franchissabilité des barrages

Quel que soit le type du tronçon d'étude (incisé, intermédiaire ou connecté), au moins une partie des poissons présents dans le groupe « transfert » a réussi à franchir le barrage de castors. Si le nombre de passages a été le plus élevé en été (et durant des épisodes de crues), des franchissements ont toutefois été démontrés durant l'année entière. Par rapport aux autres tronçons étudiés, le barrage de castors du Schwarzbach (connecté) est le plus souvent franchi par les truites lorsque le débit est normal et que les conditions sont sèches.

Dans le système le plus incisé du Tegelbach, peuplé quasi exclusivement de truites atlantiques (*Salmo trutta s.l.*), seules des truites ont été capturées et marquées. Plus de 20 % de toutes les truites transférées en aval du barrage de castor ont réussi à le traverser. Si l'on considère uniquement celles ayant présenté un comportement laissant penser qu'elles souhaitaient activement remonter le cours d'eau (groupes des « nageurs » et des « grimpeurs »), ce pourcentage s'élève à 30 % (Tab. 7).

De même, dans le système connecté du Schwarzbach, peuplé majoritairement par des truites, les données ne concernent que cette espèce. Ici, les pourcentages se sont révélés plus élevés : 53,8 % du total a traversé le barrage, tandis que 75,7 % des truites ayant activé la première double antenne ont réussi à passer le barrage (Tab. 7).

Le tronçon intermédiaire du Chriesbach arborait un panel d'espèces plus étoffé : en plus de la truite atlantique, le chevaine commun (*Squalius cephalus*) ainsi que le chabot (*Cottus gobio*) ont également pu être marqués. Les pourcentages de passage se situent entre 29,6 % et 33,9 % si l'on considère le total des poissons marqués, tandis qu'il s'élève même jusqu'à 45,3 % (chevaine commun) si l'on considère uniquement les individus appartenant aux groupes des « nageurs » et des « grimpeurs ». Les détails se trouvent dans le tableau 7.

Tab. 7 : Résultats de l'étude par PIT-tags par type de tronçon étudié et espèce de poisson. La colonne « Total marqué (TM) » se rapporte au total de poissons marqués appartenant au groupe « transfert ». La colonne « nageurs » se rapporte aux poissons du groupe « transfert » ayant activement nagé vers le barrage de castor sans le traverser, et la colonne « grimpeurs » se rapporte aux poissons du groupe « transfert » ayant réussi à traverser le barrage.

Cours d'eau	Type de tronçon	Espèce	Total marqué (TM)	Nageurs (N)		Grimpeurs (G)		
				Nombre (n)	% TM	Nombre (n)	% TM	% Nageurs
Tegelbach	incisé	<i>Salmo trutta</i>	217	150	69,1%	45	20,7%	30,0%
Chriesbach	intermédiaire	<i>Salmo trutta</i>	124	112	90,3%	42	33,9%	37,5%
		<i>Squalius cephalus</i>	76	53	69,7%	24	31,6%	45,3%
		<i>Cottus gobio</i>	27	23	81,2%	8	29,6%	34,8%
Schwarzbach	connecté	<i>Salmo trutta</i>	249	177	71,1%	134	53,8%	75,7%

Plus le chenal concerné est plat et connecté à la plaine alluviale, plus le pourcentage de « grimpeurs » augmente, passant de 30 % sur le tronçon incisé du Tegelbach à plus de 75 % sur le chenal connecté du Schwarzbach. Même les chabots, dont les capacités natatoires sont faibles (OFEFP, 2004), parviennent à traverser le barrage du chenal intermédiaire du Chriesbach. A noter que ces derniers présentent toutefois une tendance au déplacement lorsqu'ils se retrouvent dans une situation de translocation, telle que celle créée dans le cadre de cette étude.

La majorité des traversées (toutes espèces confondues) se déroule lorsque le débit est augmenté par des précipitations, quelle que soit la saison (Fig. 15). Pendant ces épisodes, une diminution de la différence du niveau d'eau entre l'amont et l'aval du barrage de castors ainsi que la submersion du barrage facilitent le passage (Fig. 16 et 17). Ce comportement migratoire est connu depuis longtemps et pour de nombreuses espèces piscicoles (Jonsson, 1991 ; Taylor & Cooke, 2012). Des passages isolés hors des périodes de crues ont toutefois également été observés dans le cadre de cette étude, majoritairement dans les systèmes connecté et intermédiaire.

Les conditions météorologiques influencent fortement le taux de traversée : en effet, durant l'été sec de 2022, les barrages de castors ont été bien moins franchis qu'en 2021, année très arrosée (pourcentages de traversée au Tegelbach : 41,2 % en 2021 vs. 16,4 % en 2022 ; au Schwarzbach : 81,1 % vs. 68,8 %). Cette relation a déjà été observée dans le cadre d'autres études (p.ex. Lokteff et al., 2013 ; Taylor et al., 2010). Même durant une année de sécheresse, les pourcentages de traversée restent toutefois importants sur le tronçon bien connecté latéralement (68,8 %), tandis qu'ils sont drastiquement réduits dans le tronçon incisé (16,4 %).

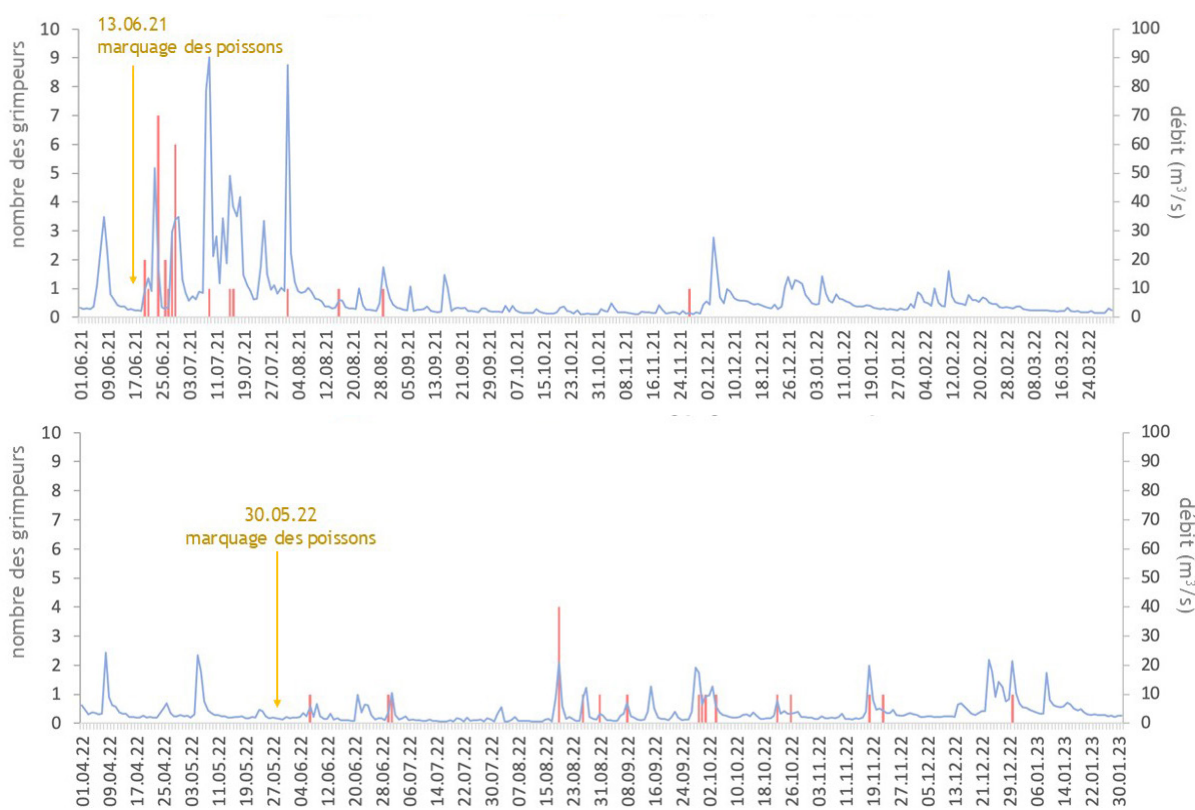


Fig. 15 : Nombre de traversées par jour (en rouge) par les « grimpeurs » du Tegelbach (truites). La courbe bleue illustre le débit maximal des eaux (maximum journalier, station de mesure de la Murg, Frauenfeld, à 3,5 km de distance). L'axe y à gauche indique le nombre de traversées par jour, l'axe y à droite indique le débit de la Murg (m^3/s).



Fig. 16 : Barrage de castors sur le Tegelbach au débit d'étiage le 07.07.2021 avec une différence de niveau de 1,2 m entre l'amont et l'aval du barrage. Image prise avec un objectif ultra grand angle de 149° (les distances et les proportions sont trompeuses ; image : Silvan Minnig).



Fig. 17 : Barrage de castors sur le Tegelbach en cas de forte crue le 08.07.2021 avec une différence de niveau d'eau minimale entre l'amont et l'aval du barrage. Photo prise avec un objectif ultra grand angle de 149° (les distances et les rapports de taille sont trompeurs ; image : Silvan Minnig).

La taille des poissons ne semble pas avoir d'impact sur la réussite de la traversée du barrage pour le chabot. Les truites dont la taille est inférieure à 15 cm semblent toutefois présenter un taux de réussite plus faible que les individus plus grands sur le tronçon du Schwarzbach, bien connecté avec la plaine alluviale. Cette taille limite augmente avec l'incision du cours d'eau, atteignant 20 cm dans le système intermédiaire et 22,5 cm dans le système incisé. Le chevine est également soumis à cette sélectivité par la taille. Jusqu'à une longueur de 17,5 cm, les remontées sont rares et généralement inférieures à la valeur moyenne. Ce n'est qu'à partir de 22,5 cm que le taux de remontée devient nettement supérieur à 50 %. Cette analyse confirme le constat selon lequel la franchissabilité des barrages de castors par les poissons dépend non seulement de leur taille mais aussi des caractéristiques du chenal.

Les résultats démontrent que les barrages de castors sont franchissables pour la faune piscicole. Ces obstacles temporaires peuvent être surmontés plus ou moins facilement en fonction du débit et de l'écomorphologie du cours d'eau. Dans des situations telles que celles étudiées, un isolement génétique des populations lié aux barrages et les impacts négatifs corrélés ne sont pas à craindre (Ruzich et al., 2019, Esguícero & Arcifa, 2010, Junge et al., 2014).

Utilisation des étangs de castor durant des vagues de chaleur

Dans les systèmes étudiés, on constate une différence de température durant une vague de chaleur entre la zone influencée par le castor, plus fraîche, et la zone contrôle. Cependant, dans le tronçon incisé, les températures restaient généralement supérieures à 20°C, tandis qu'elles étaient généralement inférieures à 20°C dans le tronçon connecté. A noter que dans le système connecté,

cette différence de températures n'intervient que dans l'étang de castor : 25 m en aval, la température de l'eau avait déjà retrouvé la valeur qu'elle présentait en amont de l'étang. Ainsi, il semblerait que la baisse de températures enregistrée soit liée à une couche d'eau plus froide stagnant au fond de l'étang de castor, tandis que les eaux réchauffées du cours d'eau restent en surface et « glissent » par-dessus le barrage avant de s'écouler en aval.

Dans le système incisé, les poissons semblent réduire leur activité, tandis que les truites présentes dans le tronçon connecté restent actives même durant les canicules. Bien que la différence de température de l'eau entre la zone contrôle et l'étang de castor du système connecté soit significative, un effet décisif sur les truites n'a pas pu être démontré avec certitude. Les températures de l'eau mesurées ne permettent pas d'affirmer que les truites ont été soumises à un stress accru en amont de l'étang de castors. On ne peut donc pas en conclure que l'augmentation du nombre de poissons dans l'étang de castor pendant la vague de chaleur est due à une différence de température entre la zone contrôle en amont et l'étang de castor.

S'il n'est ainsi pas possible de prouver l'effet refuge de l'étang de castor en période de canicule, l'éventuel effet rafraîchissant des étangs de castors peut être un avantage pour les espèces de poissons aimant le froid, comme la truite, précisément dans les eaux se réchauffant fortement en été.

5 Influence des étangs de castors sur la qualité des eaux

- La concentration plus élevée de carbone organique dissous⁶ (DOC) en aval des barrages de castors est liée à l'augmentation de la productivité primaire des étangs de castors.
- De manière générale, la présence d'un barrage de castor permet de réduire la concentration de nitrates⁷ dans les eaux en aval.
- La concentration de DOC et celle de nitrates est significativement corrélée avec la taille de la zone humide située à proximité : plus cette dernière est étendue, plus l'augmentation du DOC et la réduction des nitrates seront prononcées.
- Pour que les étangs de castor puissent exercer une influence mesurable sur la qualité de l'eau, ils doivent pouvoir inonder la plaine alluviale et créer des zones humides.

Les cours d'eau suisses, et plus particulièrement les petits cours d'eaux du Plateau et des fonds de vallées, sont impactés par des charges élevées de nutriments (entre autres les nitrates), provenant notamment d'une utilisation intensive d'engrais par l'agriculture. Des concentrations trop élevées peuvent conduire à une mortalité piscicole élevée dans les rivières et à une eutrophisation des lacs (OFEV, 2022a).

Les barrages de castors, en ralentissant le courant et en créant des retenues, augmentent le temps de résidence des molécules à un endroit. Cela permet l'activation de différents processus physico-chimiques, conduisant localement à un stockage accru de l'azote dans les sédiments (Larsen et al., 2021 ; Puttock et al., 2017). Les végétaux jouent également un rôle de fixateur, en mobilisant ce nutriment pour croître et en les extrayant ainsi du cours d'eau (Law et al., 2016 ; Devito & Dillon, 1993 ; Rosell et al., 2005).

Dans ce module, 164 systèmes comprenant au minimum un barrage de castors ont été considérés. L'objectif est d'estimer dans quelle mesure les étangs de castor contribuent à améliorer la qualité de l'eau en Suisse et dans quels types de cours d'eau les barrages peuvent soutenir efficacement les efforts de réduction des nutriments. La variabilité saisonnière a également été évaluée, des échantillons ayant été collectés aussi bien en hiver qu'en été.

⁶ Le DOC contribue au cycle du carbone et il est un élément important de la chaîne alimentaire aquatique. En quantité trop importante, il risque toutefois d'impacter négativement la qualité de l'eau. La quantité de carbone organique dissous (DOC) dans un système est liée à la décomposition de matière organique (p.ex. des feuilles, des algues, etc.).

⁷ Les nitrates, lorsqu'ils sont présents en quantité trop importante, sont une source de pollution des cours d'eau. Ils mènent notamment à une eutrophisation du milieu.

Les territoires de castors échantillonnés présentaient soit un seul barrage soit une cascade de barrages ; dans ce second cas de figure, les prélèvements ont été effectués en amont du premier étang et en aval du dernier barrage. Cinq échantillons d'eau différents ont chaque fois été collectés. Les prélèvements réalisés en été et en hiver ont permis de rassembler des données robustes sur la variabilité saisonnière de l'effet des étangs de castors sur la concentration de nitrates et de carbone organique dissous (DOC) dans les cours d'eau suisses.

La hauteur de chaque barrage a été mesurée afin de déterminer le volume d'eau des étangs, ce qui permet d'estimer le temps de séjour de l'eau (pour une description exacte de la méthode, voir Berger, 2023 et Larsen et al., 2024a). Il a été estimé que la plupart des tronçons en amont du barrage (107 sur 164) présentaient un volume d'eau pouvant aller jusqu'à 500 m³. Les plus grands étangs atteignent un volume compris entre 3000 et 3500 m³.

Carbone organique dissous (DOC)

La concentration de carbone organique dissous (DOC) dans les cours d'eau échantillonnés est plus élevée en été (2,78 mg/l) qu'en hiver (1,98 mg/l). Au vu de la littérature sur la question, une hausse des concentrations de DOC dans les étangs de castors était attendue (Larsen et al., 2021). Cette augmentation a bel et bien été observée dans la présente étude ; les concentrations de DOC estivales en aval des barrages sont plus élevées dans 97 des 157 cas. En hiver cependant, le nombre de tronçons présentant une augmentation des concentrations de DOC est presque identique à celui où une diminution est observée (respectivement 77 et 80). Les concentrations plus élevées de DOC sont donc dues à une augmentation de la productivité primaire dans l'étang, celle-ci étant plus importante durant les mois d'été. Cette augmentation du DOC est probablement due à la décomposition du carbone organique particulaire (COP), qui peut provenir par exemple de la dégradation de la végétation, ce qui contribue à enrichir les réseaux trophiques en aval du cours d'eau.

Des grands volumes d'étang sont positivement corrélés avec une hausse de la concentration du DOC.

Nitrates (NO₃⁻)

S'il arrive que les concentrations de nitrates diminuent ou augmentent, des diminutions ont été plus fréquemment observées (104 diminutions sur 158 mesures en été et 89 diminutions sur 158 mesures en hiver, Fig. 18). Les résultats permettent d'exclure une augmentation de la production d'ammonium dans les étangs, suivie d'une nitrification en nitrates en aval.

Sur les 164 tronçons échantillonnés, 25 présentaient des zones humides situées à moins de 50 m de distance. Ces 25 tronçons sont répartis dans l'ensemble de la Suisse. Dans quatorze cas, la zone humide était directement connectée au ruisseau ; une diminution des concentrations de nitrates (médiane : -3,56 mg/l) et une augmentation des concentrations de DOC (médiane : 1,05 mg/l) y ont été mesurées en été. Cette tendance s'observe également en hiver, mais de manière moins marquée (-0,17 mg/l pour les nitrates ; 0,20 mg/l pour le DOC). Il est intéressant de noter qu'il existe une relation entre la taille des zones humides situées à une distance maximum de 50 m le long des cours d'eau, la diminution des concentrations de nitrates et l'augmentation de celles de DOC. Ces corrélations sont plus fortement prononcées en été qu'en hiver.

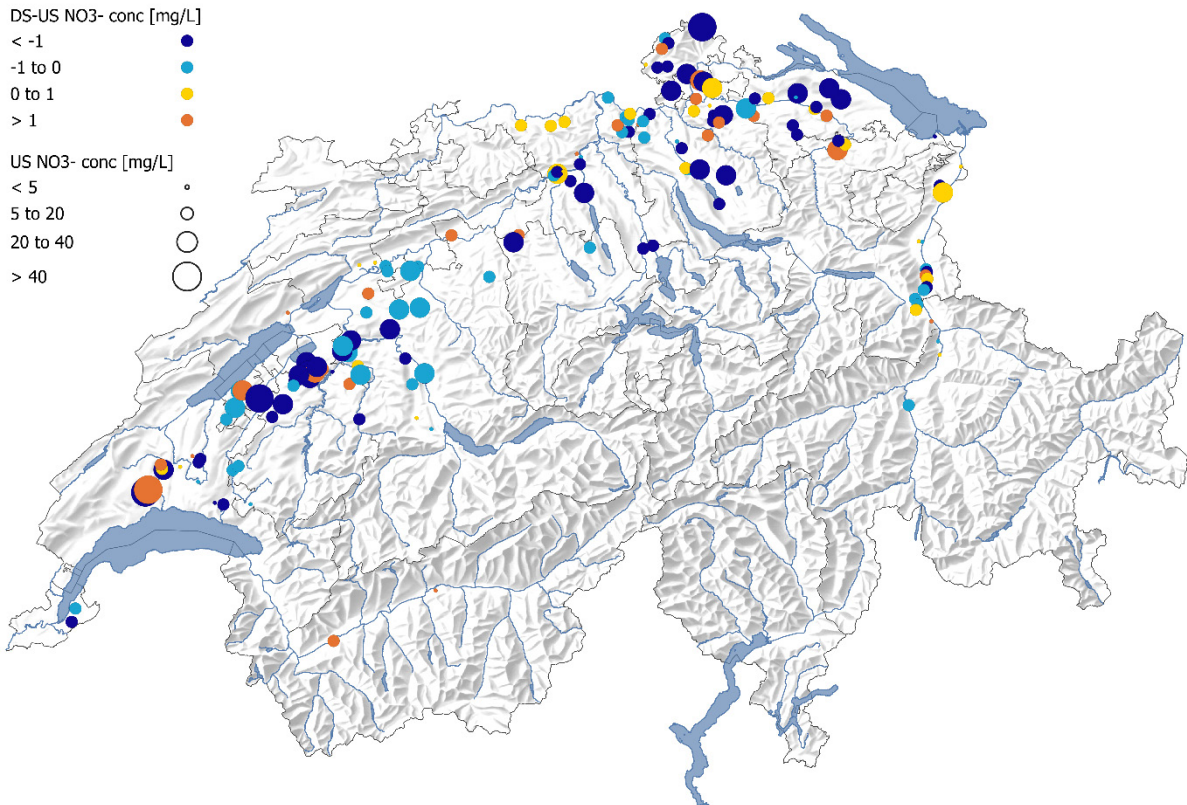


Fig. 18 : Modifications estivales des concentrations de nitrates dans les cours d'eau présentant des barrages de castor. Points : sites des prélèvements d'échantillons d'eau. La couleur bleue indique une baisse de la concentration en aval des étangs, la couleur orange indique une augmentation de la concentration. La taille des cercles représente la charge initiale en amont des étangs de castors. US = échantillon amont ; DS = échantillon aval.

Il est bien connu que les zones humides peuvent réduire la concentration de nitrates et augmenter la concentration de DOC dans les systèmes aquatiques (Larsen et al., 2021). La présente étude montre que la qualité de l'eau s'améliore surtout là où des zones humides sont créées par les barrages de castors. Des quantités importantes de nitrates sont alors extraites des ruisseaux et la charge en DOC augmente en aval.

Les tronçons de cours d'eau avec des zones humides adjacentes dans lesquels la qualité de l'eau s'est améliorée présentent une plus grande distance entre les deux échantillons d'eau (+ 67 %), des étangs avec un volume d'eau plus important (+ 127 %) et une plus longue durée de séjour de l'eau (+ 442 % en hiver, + 413 % en été). Les zones humides adjacentes avaient aussi une pente moins forte (- 59 %) et un débit plus faible (- 72 % en hiver, - 78 % en été).

Grâce à la pente réduite, le débit plus faible et le plus long séjour de l'eau, les turbulences sont réduites, ce qui favorise l'apparition de conditions anaérobies et une réduction de la teneur en nitrates. De nombreux processus biologiques, chimiques et physiques se déroulant dans les zones humides permettent le traitement de l'azote et soutiennent la plupart de ses transformations naturelles. Combinée avec la productivité végétale élevée et les activités métaboliques organiques, l'étroite association des conditions aérobies et anaérobies dans leurs sols crée en effet des conditions favorables à la transformation des nitrates en gaz atmosphérique par dénitrification.

La condition préalable pour que ces processus puissent influencer positivement la qualité de l'eau est la reconnexion du cours d'eau avec les terres alentours et le développement desdites zones humides.

6 Bilan carbone dans le territoire de castors à Marthalen (ZH)

- La zone humide de Marthalen (ZH) produit presque le double de biomasse et triple la quantité de stockage de carbone par rapport à la forêt présente avant l'arrivée du castor.
- Ce puits net de carbone est lié aux pertes de carbone inorganique dissous (DIC⁸), probablement alimentées par l'absorption de HCO_3^- par les algues et la végétation aquatique pour la photosynthèse.

Dans les tronçons lents ou stagnants tels que ceux formés par les étangs de castors, le temps de résidence de l'eau s'allonge, ce qui entraîne une augmentation de la productivité des écosystèmes aquatiques. Cette augmentation, couplée au fait que l'eau se mélange moins dans les tronçons lents à stagnants, peut entraîner une forte augmentation des processus anaérobies dans l'eau et les zones riveraines. Cela peut avoir des effets non seulement sur la vitesse mais aussi sur les chemins du cycle du carbone et de la séquestration du carbone dans les cours d'eau (Larsen et al., 2021). En Suisse, les effets des barrages de castors sur le bilan carbone pourraient cependant s'avérer importants, puisque le castor continue à se propager, en particulier dans les ruisseaux du Plateau, et à construire de très nombreux barrages. Outre les modifications locales des puits et des sources de carbone, un barrage de castors peut avoir des effets importants sur le cycle du carbone de l'ensemble du réseau hydrographique situé en aval. En effet, les écosystèmes qui s'y trouvent s'adaptent à la modification des apports de carbone organique et inorganique dissous. Enfin, le castor peut favoriser la transformation des forêts alluviales en zones humides, ce qui modifie leurs caractéristiques paysagères et entraîne une augmentation aussi bien du stockage du carbone que des flux atmosphériques de CO_2 et de CH_4 (méthane). Ce module fournit la première évaluation du bilan carbone annuel d'une vaste zone influencée par le castor en Suisse et montre les modifications qui résultent des changements de l'hydrologie et de la productivité des écosystèmes.

L'étude a été menée dans une zone humide créée par le castor en 2009 près de Marthalen (ZH), une sous-section du ruisseau Mederbach traversant la forêt de Niederholz. Des zones inondées temporairement ou en permanence se sont développées et, au fil du temps, la zone entièrement boisée s'est transformée en zone humide ouverte (Fig. 19). Pour établir le bilan carbone de ce système, des sites automatisés et des sites de collecte de données sur le terrain ont été sélectionnés à travers la zone humide. Les mesures visent à capturer les principales composantes du système, à savoir les flux d'eau et de carbone entrants et sortants, les flux provenant des zones d'eau libre et les flux provenant des sols humides et secs de la zone humide. Tandis que des valeurs de DOC et DIC (carbone organique dissous et carbone inorganique dissous) ont été collectées deux fois par semaine, les flux de dioxyde de carbone (CO_2) et de méthane (CH_4) ont été mesurés toutes les deux semaines. La biomasse a également été quantifiée à l'aide d'images de drone et d'échantillons de plantes collectées sur des parcelles de 40 x 40 cm. Le volume de bois mort a été calculé à l'aide de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et sur la base d'un modèle numérique de surface. Finalement, le stockage de carbone par les sédiments a été estimé. Concernant la méthode, voir d'Epagnier (2023) et Larsen et al. (2024b).

⁸ Le DIC regroupe l'ensemble du carbone inorganique dissous dans l'eau. Il est défini comme la somme de tous les carbonates : $\text{DIC} = [\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$



Fig. 19 : Photos aériennes de la zone d'étude, vue vers le sud. En haut, en 2011, soit deux ans après l'arrivée des castors. En bas, en 2022. Cercle rouge : pont sur le Mederbach (photo en haut : AWEL ; photo en bas : Christof Angst).

Les principaux résultats de cette étude sont que le DIC est à la fois le plus grand intrant et le plus grand extrant de carbone dans le système, et que la zone humide des castors est globalement un puits net de carbone. Après le DIC, le plus grand extrant est constitué par les émissions de CO_2 des sols de la zone humide, les émissions de CO_2 des surfaces aquatiques étant relativement faibles. Il est essentiel de noter les différences d'unités de masse entre les flux de CO_2 et de CH_4 , toutes les pertes de CH_4 étant inférieures de plusieurs ordres de grandeur à celles de CO_2 , et ne contribuant donc que très peu au bilan carbone global du système.

Nous estimons que le puits de carbone net global du système est d'environ 63 tonnes par an (Tab. 8), soit environ 17 % des intrants de carbone. Cela est dû en grande partie, mais pas exclusivement, aux différences entre les concentrations de DIC à l'entrée et à la sortie du système. Il est important de noter que cette estimation du puits est remarquablement proche des variations de stockage estimées pour la biomasse et l'accumulation de sédiments organiques (58,7 tonnes par an). Cela suggère que les estimations du budget du carbone sont proches de l'équilibre, et donc relativement robustes malgré les incertitudes évidentes.

Tab. 8 : Composants et estimations de la masse de carbone [t ou kg]. Les valeurs de CH₄ en [kg] sont mises en évidence en italique, le reste des valeurs est indiqué en tonnes [t]. Les deux valeurs surlignées en bleu indiquent qu'elles doivent être comparées, car la différence entre les intrants et les extrants doit être prise en compte dans les variations de stockage mesurés.

Composant	Masse de carbone [t ou kg] / année
<i>Intrants</i>	
DIC _{intran} [t]	347,5
DOC _{intran} [t]	26,4
Intrant de carbone total [t]	373,9
<i>Extrants</i>	
DIC _{extran} [t]	202,7
DOC _{extran} [t]	15,5
CH ₄ eau [kg]	23,4
CO ₂ eau [t]	4
CH ₄ sol [kg]	1,2
CO ₂ sol [t]	47,6
C _{infiltration}	41,2
Extrant de carbone total [t]	311
Intrants – extrants [t]	62,9
<i>Stockages</i>	
Carbone dans la biomasse [t]	16,8
Carbone organique dans les sédiments [t]	41,9
Stockage total [t]	58,7

L'origine de ce puits net de carbone est liée aux pertes de DIC, qui sont probablement alimentées par l'absorption de HCO₃⁻ par les algues et la végétation aquatique (utilisation en tant que source de CO₂ dans la photosynthèse). L'abondance des plantes aquatiques et des algues dans le territoire de castors de Marthalen, ainsi que la nette dominance de l'absorption cumulative de DIC pendant les périodes photosynthétiquement actives du printemps et de l'été soutient cette interprétation d'une augmentation de la productivité primaire nette (PPN) aquatique.

L'augmentation de la PPN fournit un stockage saisonnier de carbone dans la biomasse qui se décomposera plus tard et sera disponible sous la forme d'un stockage accru de matière organique dans les sédiments des zones humides, ou potentiellement exporté vers l'aval. Nos estimations de l'évolution annuelle de la biomasse et du stockage de la matière organique sédimentaire sont remarquablement proches de la différence entre les entrées et les sorties de carbone mesurées, ce qui suggère que la majorité de ces augmentations de la PPN sont retenues comme stockage supplémentaire de carbone dans la zone humide.

La création de cette zone humide par les castors a permis le développement d'un grand puits de carbone qui n'existait pas auparavant dans le paysage. Cette zone produit presque le double de biomasse et triple la quantité de stockage de carbone par rapport à la forêt présente avant l'arrivée du

castor. En outre, la séquestration dans les sols est très probablement de plus longue durée que dans les arbres.

Ces résultats doivent toutefois être considérés avec prudence. En effet, selon les estimations, le Mederbach, sur son tronçon présent dans le territoire des castors de Marthalen, perd environ 40 % de son eau entre l'amont et l'aval. Ces pertes se situent certes dans les fourchettes déjà connues (Puttock et al., 2017 ; Woo & Waddington, 1990), mais leur répartition inhabituelle (10 % par infiltration et 30 % par évaporation) peut avoir une incidence sur l'interprétation des données collectées sur le cycle du carbone à Marthalen et empêcher une généralisation des résultats. Il serait donc souhaitable de reproduire cette expérience dans des zones humides formées par des castors présentant des caractéristiques différentes afin d'obtenir une image générale de l'impact de ce rongeur sur le cycle du carbone.

7 Modèle « Castor et zones alluviales » pour la Suisse

- Les castors colonisent de préférence les cours d'eau avec une pente inférieure à 4 % et de moins de 6 m de large.
- Les castors peuvent potentiellement construire des barrages sur 9848 km de cours d'eau en Suisse.
- En construisant des barrages, le castor pourrait influencer positivement la biodiversité et les services écosystémiques en Suisse sur une superficie d'environ 298 km² (les opportunités l'emportent sur les conflits). En comparaison, des conflits sont toutefois à prévoir sur environ 152 km².
- Les zones situées au-dessus de 600 m d'altitude seront à l'avenir davantage colonisées par les castors, ce qui représente une grande chance pour la biodiversité. En effet, ces régions élevées présentent l'avantage d'être marquées par une part plus importante d'opportunités pour la nature comparé aux zones situées en dessous de cette limite, où les conflits peuvent être plus importants en raison d'une exploitation du sol plus intensive.

Un réseau de territoires de castors présentant des barrages peut fournir de nombreux services écosystémiques (pour une vue d'ensemble, voir Larsen et al., 2021). Ils créent des retenues qui permettent le relèvement du niveau des eaux souterraines. Ils peuvent également entraîner des modifications de l'hydrologie, de la géomorphologie, du cycle des nutriments et de l'écologie (Larsen et al., 2021). La connectivité longitudinale et latérale des cours d'eau est affectée par ces changements. Cette connectivité aquatique dépend toutefois aussi dans une large mesure de l'utilisation des sols à proximité du cours d'eau.

Modèle de zones alluviales créées par le castor

Un modèle spatial a été développé afin d'évaluer le potentiel de modification des cours d'eau suisses par les castors. Ce modèle délimite les zones de retenue et les zones inondables prévisibles sur lesquelles les castors peuvent avoir une influence en construisant des barrages, zones qui seront désignées ci-après par le terme « plaines alluviales créées par le castor ».

Ce modèle a été établi sur la base de jeux de données existants relatifs aux sites abritant des barrages de castors et aux propriétés hydro-géomorphologiques des zones alluviales des cours d'eau. Pour cela, on a utilisé les données concernant plus de 2000 sites connus de barrages recensés dans toute la Suisse entre 1990 et 2022 (banque de données info fauna, 2023). Pour modéliser les tronçons de cours d'eau sur lesquels le castor peut potentiellement ériger des barrages, les facteurs influençant le comportement de construction de barrage du rongeur, à savoir les caractéristiques des cours d'eau (largeur, pente, débit ; Rosell & Campbell-Palmer, 2022) ainsi que l'utilisation du sol dans les terres alentours ont été considérés. Ces informations ont été comparées avec les caractéristiques des cours d'eau répertoriées pour la Suisse.

Sur la base des cours d'eau se prêtant à la construction de barrages et de données topographiques à haute résolution, une méthode statistique spécialement développée, objective et donc facilement transposable a permis de délimiter les plaines alluviales particulièrement adaptées à la création d'étangs de castors (Fig. 20). La délimitation de ces plaines alluviales créées par le castor se base sur le rapport entre la hauteur du terrain, la profondeur de l'eau du ruisseau et une hauteur de barrage théorique de 0,5 m (hauteur moyenne des barrages en hiver 2022) ou de 1,5 m (16 % des barrages avaient une hauteur $\geq 1,5$ m en hiver 2022 ; chapitre 2, Angst et al., 2023). Afin d'estimer la propagation potentielle des plaines alluviales créées par les castors, le modèle numérique d'altitude à 2 m (swiss DEM 3D) a été utilisé. On trouvera des informations plus précises sur la méthode dans Dennis et al. (2024).

Zones remises en eau et ampleur des effets positifs et négatifs des étangs

Les surfaces alluviales calculées à partir du modèle de construction des barrages ont été évaluées afin de déterminer leur « potentiel » de valorisation écologique ou l'existence de « conflits potentiels » avec l'utilisation des sols. Le potentiel de valorisation écologique reflète l'augmentation de la biodiversité et des services écosystémiques et est considéré comme positif. Les conflits potentiels peuvent apparaître à proximité des zones où les terres sont exploitées à des fins productives, en particulier des zones habitées, des infrastructures de transport, de l'agriculture (surfaces de grandes cultures) et des installations hydrauliques. Toutes les zones qui étaient reliées avec ces utilisations du sol (Giuliani et al., 2022) ont été évaluées négativement (Dennis et al., 2024).

Cours d'eau appropriés pour la construction de barrage

La modélisation du comportement de construction de barrage montre que le castor crée de préférence des retenues d'eau sur les ruisseaux étroits de faible numéro d'ordre, avec une pente n'excédant pas 4 %. Lorsque la pente est plus forte, la probabilité qu'il bâtisse un barrage diminue fortement. La pente est le principal facteur qui influence et explique le comportement du castor en matière de construction de barrage. La plupart des barrages sont construits sur des cours d'eau de moins de 6 m de large et la probabilité que le castor bâtisse sur des cours d'eau plus larges diminue avec l'augmentation de la largeur du cours d'eau. En effet, la pression du courant exercée sur le barrage (« streampower ») devient alors trop élevée : le rongeur ne peut plus construire de barrage ou alors celui-ci est régulièrement détruit et emporté par la rivière. Selon le modèle, la longueur totale des cours d'eau sur lesquels les castors peuvent construire des barrages est de 9848 km.

Potentiel des surfaces pouvant être inondées par un barrage de castor

Le tableau 9 indique pour chaque canton la superficie totale des plaines alluviales créées par le castor et les effets positifs et négatifs attendus. Si l'on considère l'ensemble de la Suisse, le castor peut coloniser davantage de surfaces présentant essentiellement un potentiel élevé pour la nature et les services écosystémiques et où il faut s'attendre à peu de conflits (29 840 ha) que de surfaces présentant majoritairement un potentiel de conflits élevé (15 213 ha). Près d'un cinquième des surfaces (19,4 %) sont en forêt, les autres (80,6 %) se trouvent en milieu ouvert.

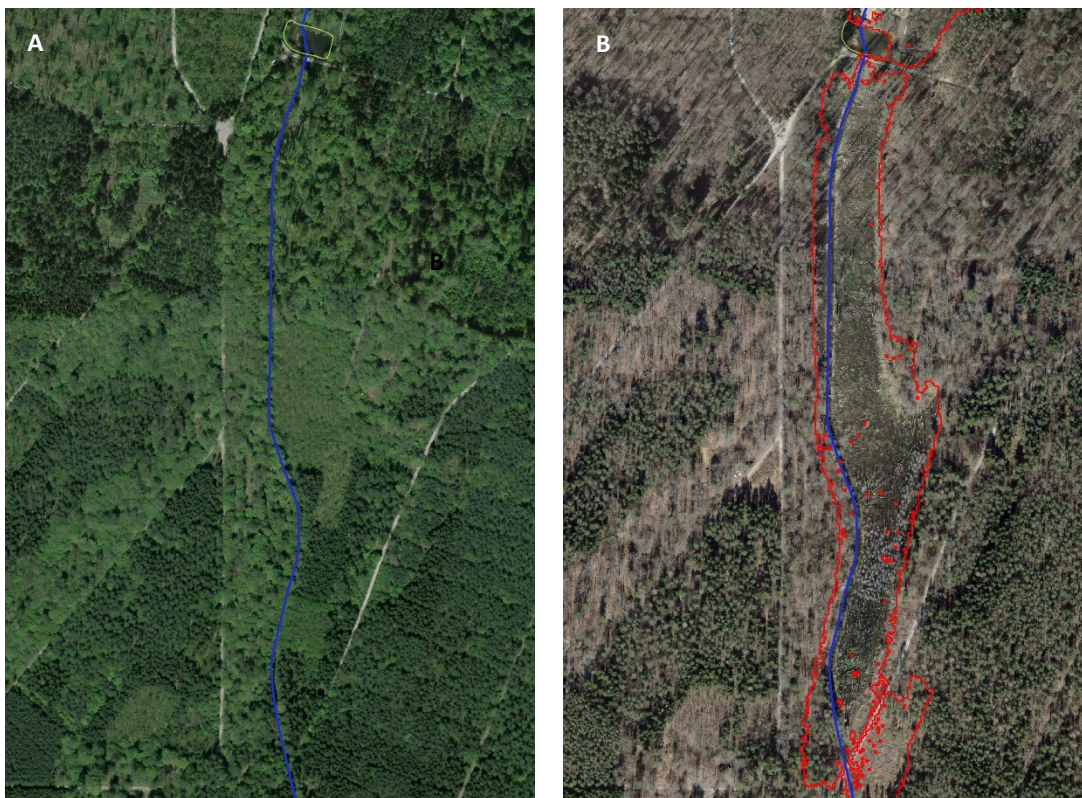


Fig. 20 : Délimitation d'une plaine alluviale créée par le castor. A : photographie aérienne 2009 avant l'arrivée du castor ; B : photographie aérienne du même tronçon en 2023. En bleu = cours d'eau, en rouge = limite de la plaine alluviale créée par le castor avec un barrage de 0,5 m de hauteur. La zone influencée par le castor est bien reconnaissable en raison de l'absence d'arbres.

Le potentiel de conflits est avant tout élevé dans les cours d'eau situés à basse altitude et diminue fortement à partir de 600 m. Les surfaces façonnées par le castor au-dessus de cette limite offrent le plus souvent un potentiel élevé pour la biodiversité et les services écosystémiques. Aujourd'hui, 89 % des territoires de castors se trouvent en dessous de 600 m (Angst et al., 2023). Sur le Plateau, les places se font rares et les castors colonisent de plus en plus les zones d'altitude. Il est donc probable que ces nouvelles populations causeront moins de conflits que celles situées à plus basse altitude, tout en apportant un bénéfice accru pour la biodiversité.

Tab. 9 : Surfaces en ha des plaines alluviales créées par le castor (surfaces selon le modèle utilisant une hauteur de barrage théorique de 0,5 m).

Canton	Superficie totale (ha)	Surtout un potentiel élevé pour la nature (ha)	Surtout un potentiel de conflits élevé (ha)
Argovie	2914	1616	1298
Appenzell Rhodes-Extérieures	135	126	9
Appenzell Rhodes-Intérieures	65	60	5
Bâle-Campagne	631	355	276
Bâle-Ville	3	1	2
Berne	8012	4788	3225
Fribourg	2556	1987	569
Genève	835	610	226
Glaris	359	303	56
Grisons	1912	1411	501

Jura	1256	704	552
Lucerne	3916	2192	1724
Neuchâtel	534	323	211
Nidwald	101	75	26
Obwald	260	223	37
Schaffhouse	403	197	207
Schwytz	860	763	98
Soleure	1910	977	933
Saint-Gall	2376	1909	467
Thurgovie	2569	1816	753
Tessin	1287	1011	276
Uri	220	194	26
Valais	2645	1653	992
Vaud	4271	3113	1158
Zurich	4435	2973	1462
Zoug	587	462	125
Total	45 053	29 840	15 213

Le modèle montre que la probable expansion future du castor offre un potentiel élevé pour la promotion de la biodiversité et peut être d'une utilité importante pour la nature et la société. Le développement de modèles semblables dans d'autres contextes, par exemple celui de l'aménagement des cours d'eau visant en priorité des solutions proches de l'état naturel ou basées sur des processus intégrant le castor, pourrait contribuer à accélérer la restauration des cours d'eau, à améliorer leur qualité écologique et à minimiser en même temps les conflits indésirables liés à l'utilisation du sol.

8 Analyse des résultats

8.1 Evaluation et mise en perspective des résultats

Biodiversité

La présente synthèse démontre l'influence importante du castor sur la biodiversité, la résilience et la fonction naturelle de nos eaux superficielles. Par ses barrages, il contribue à restaurer une dynamique propre aux cours d'eau et permet de recréer des plaines alluviales. La capacité du castor à connecter et à inonder les terres environnantes est déterminante pour favoriser la biodiversité (Messlinger et al., 2022) et l'on peut affirmer que plus la retenue d'eau est importante, plus les bénéfices en termes de biodiversité seront grands (Fig. 21 ; chapitre 3).



Fig. 21 : Le castor offre à certaines espèces la possibilité de se reproduire à des endroits auparavant invisibles. Les interstices situés entre les racines de cette souche renversée dans un étang de castors à Herzogenbuchsee (BE) ont par exemple permis au martin-pêcheur de nicher (image : Christof Angst).

Le travail de Messlinger et al. (2022) illustre, sur une durée d'étude de plus de 20 ans, que les effets positifs sur les espèces prioritaires et liste rouge sont durables tant que l'activité du castor se poursuit. En revanche, dès qu'elle cesse, un déclin rapide intervient chez certaines de ces espèces. La vitesse à laquelle les populations réagissent à la présence ou à l'absence de cet ingénieur de l'écosystème s'explique par la longue coévolution entre ces espèces. Le castor influence en effet les milieux riverains et les cours d'eau depuis plusieurs millions d'années (Tedford & Harrington, 2003 ; Zahner et al., 2022) et ainsi, une grande partie des habitants d'eau douce de nos contrées est donc intimement liée aux activités du castor.

Mais la diversité spécifique n'est pas la seule impactée par cette espèce. Le nombre d'individus (abondance ou biomasse) peut également être multiplié (jusqu'à 62 fois ! ; voir chapitre 3) grâce aux constructions du rongeur. Cette augmentation de l'abondance revêt une grande importance compte tenu du recul de la biomasse en Europe au cours des dernières décennies (Hallmann et al., 2017 ; Seibold et al., 2019).

En plus de la disponibilité accrue de nourriture dans les étangs de castors, sa qualité est aussi essentielle, par exemple la teneur en acides gras oméga 3 hautement insaturés (*highly unsaturated fatty acid*, HUFA). Wingfield et al. 2018 ont ainsi pu montrer que le succès de reproduction de l'hirondelle bicolore (*Tachycineta bicolor*) augmente lorsque les oisillons sont nourris avec des

insectes aquatiques ayant une teneur en HUFA élevée plutôt qu'avec des insectes terrestres présentant une teneur en HUFA moindre.

L'influence du castor sur la biodiversité a surtout été analysée à basse altitude. Une étude menée dans la forêt bavaroise, à une altitude d'environ 650 m, a montré que le castor exerce une grande influence sur la diversité des espèces et l'abondance (plantes, araignées, coléoptères, hétéroptères, oiseaux, amphibiens, reptiles, mammifères de petite et moyenne taille et chauve-souris) et qu'il contribue largement à la restauration des systèmes fluviaux (Orazi et al., 2022). Ce fait est important pour la Suisse, car notre modèle de zones alluviales (chapitre 7) illustre qu'à partir d'environ 600 m, la part d'effets positifs pour la diversité des espèces commence à nettement surpasser la part des conflits attendus. C'est à ces altitudes que se trouvent les petits cours d'eau qui constituent la plus grande partie du réseau hydrographique suisse. Dans les petits cours d'eau proches des sources, les castors sont les principaux créateurs de biotopes pour 19 espèces d'amphibiens en Europe, malgré leurs exigences différentes en matière d'habitat (Dalbeck et al., 2020). De plus, les étangs de castors sont des refuges importants pour les amphibiens (larves et adultes) lors de crues (Dalbeck & Weinberg, 2009). En raison de leur grande diversité structurelle et des nombreuses cachettes, ces étangs semblent ainsi faire partie des rares milieux où la coexistence entre poissons et amphibiens est possible sous certaines conditions.

Si les effets positifs sur la diversité et sur le nombre d'individus (biomasse) démontrés dans le cadre de cette étude restent localisés à 16 sites de recherche, on peut toutefois s'attendre à ce que la diversité spécifique et l'abondance des espèces soit impactée à un niveau plus large. Une méta-analyse a fait le tour de la question, et les résultats parlent d'eux-mêmes : le castor permet une augmentation du nombre d'espèces animales et d'espèces végétales au niveau du paysage dans 83 %, respectivement 79 % des cas (Sommer et al., 2018).

Alors qu'une grande majorité des milieux associés aux eaux (76 %) et le cortège des espèces qui leur sont liées sont menacés (OFEV, 2023b), le castor offre une grande chance pour sauvegarder et promouvoir la biodiversité au sein même de ces habitats.

Migration piscicole par les barrages de castor

Comme de nombreuses autres recherches scientifiques, cette étude a démontré que les barrages de castors ne constituent pas une barrière à la migration piscicole (p.ex. Kemp et al., 2012 ; Taylor et al., 2010 ; Ode, 2025 ; Wolf et al., 2022 ; Needham et al., 2025). Il apparaît toutefois que pour assurer un passage aisé à toutes les espèces, il est nécessaire qu'une dynamique de crue naturelle soit présente. C'est en effet en période de hautes eaux après des événements pluvieux que la majorité des traversées s'effectuent, et ce quelle que soit l'espèce étudiée. Dans les cours d'eau où il n'y a pas de dynamique de crue (par exemple dans les cours d'eau artificiels tels que les passes à poissons au niveau des barrages hydroélectriques), les barrages de castors peuvent fortement limiter, voire empêcher complètement, la migration piscicole.

Les caractéristiques écomorphologiques du cours d'eau jouent également un grand rôle dans le taux de migration : plus le cours d'eau est naturel et connecté avec les environs (autrement dit, plus l'eau peut inonder les surfaces adjacentes et même éventuellement créer des cours d'eau de contournement), plus les poissons pourront remonter facilement le tronçon. En outre, le succès des poissons lors du passage des barrages de castors est d'autant plus grand que le cours d'eau est peu incisé. La connectivité latérale des cours d'eau avec les rives est ainsi un enjeu de taille pour augmenter le taux de succès de la migration piscicole à travers les barrages de castors.

Les trois sites d'études sélectionnés représentaient bien le contexte suisse : deux sites étaient incisés et peu naturels, tandis que le troisième, plus plat, permettait au castor d'inonder les terrains alentours – la zone alluviale, ce qui permet la création de chenaux secondaires. Ainsi, on a pu démontrer que même sur des cours d'eau relativement artificiels, la présence du castor ne constitue pas une menace de plus pour les poissons, bien au contraire : ce groupe peut largement profiter des bienfaits du

rongeur, que cela soit par les nombreux habitats et structures créées ou par une productivité d'insectes augmentée, ce qui accroît l'offre alimentaire pour les poissons (Fig. 22).



Fig. 22 : Les barrages, construits principalement sur de petits cours d'eau, ne sont pas les seules œuvres du castor contribuant à promouvoir la biodiversité des cours d'eau. Dans les grandes rivières et les fleuves, le bois mort introduit par le rongeur permet à la faune de se développer. Ici, une grande réserve hivernale constituée par le castor dans l'Aar permet à de nombreux poissons, et notamment des juvéniles, de s'alimenter et se protéger des prédateurs (image : Christof Angst).

Qualité des eaux

En érigeant des barrages sur les petits cours d'eau, le castor peut contribuer à considérablement réduire la teneur en nutriments (p. ex. les nitrates). Lorsque les petits étangs de castors ne peuvent s'étendre qu'à l'intérieur du cours d'eau et donc, dans le meilleur des cas, seulement ralentir l'écoulement du ruisseau dans le chenal, l'épuration est minime voire non mesurable. En revanche, lorsque l'eau coule sur les surfaces riveraines adjacentes et y crée des zones humides, l'épuration peut être importante. Dans les habitats du castor où l'effet est le plus marqué (voir p. ex. les Fig. 21, 23 ou 24), on a mesuré une réduction de la charge en azote pouvant aller jusqu'à 20 %. Pour que les processus physico-chimiques et biologiques responsables se déroulent de manière optimale, les cours d'eau doivent pouvoir humidifier les berges grâce aux étangs créés par les castors, ou le ruisseau doit pouvoir s'écouler sur les zones adjacentes (plaine alluviale) et y former des étangs.

Puits de carbone

La réduction des émissions de gaz à effet de serre, et notamment de CO₂, est aujourd'hui perçue comme une nécessité et une urgence mondiale. Le castor peut, à son échelle, nous apporter une aide dans cette lutte. Il a été calculé que le territoire de castors de la forêt de Niederholz, à Marthalen, fait office d'efficace puits de carbone. En effet, la zone humide aujourd'hui en place stocke près de 3 fois plus de carbone que la forêt qui occupait l'espace avant l'arrivée des castors. En une année, près de 63 tonnes de cet élément sont stockées dans les plantes aquatiques et dans les sédiments⁹ présents

⁹ Le stockage du carbone dans les sols semble de plus être plus durable que dans les arbres.

sur cette surface de 4 hectares (Fig. 23). Cela correspond à 231 tonnes d'équivalent-CO₂¹⁰ sur ces 4 hectares par an.

Pour que les processus physico-chimiques de stockage se déroulent de manière optimale et pour obtenir de tels résultats, il est nécessaire que l'eau bloquée par les barrages de castors puisse s'écouler sur la plaine alluviale adjacente et que de larges zones humides et productives se créent.



Fig. 23 : La végétation et les sédiments présents dans l'étang de castor de Marthalen (ZH) captent près de 3 fois plus de carbone que la forêt qui était présente avant l'arrivée du rongeur (image : Christof Angst).

Zones humides créées par le castor

L'une des mesures phare évoquée dans la stratégie biodiversité suisse est la mise en place d'une infrastructure écologique fonctionnelle (OFEV, 2012). Aujourd'hui cependant, il existe un déficit de 650 000 hectares de surfaces de qualité pour atteindre cet objectif, dont près de 108 000 concernent des milieux impactés par le castor (cours d'eau dynamiques, eaux lentes et stagnantes, petits plans d'eau, etc. ; Rutishauser et al., 2023). La majorité de ces surfaces doit être gagnée sur le Plateau. Leur mise en place est urgente car elles sont particulièrement précieuses du fait de leur fonction de connexion des habitats.

Le rétablissement de populations d'amphibiens après la construction d'étangs en grand nombre dans le canton d'Argovie sur 20 ans illustre bien ce fait : une forte augmentation de l'offre en biotopes de valeur permet de conserver et même de renforcer efficacement les populations d'amphibiens (Moor et al., 2022). Notre étude sur la biodiversité (voir chapitre 3) a démontré que les activités du castor permettent également la création de nombreux étangs propices au développement des amphibiens. Ces plans d'eau comptent parmi les habitats d'eau douce les plus riches en espèces et les plus importants sur le plan écologique. Leur valeur ne réside pas uniquement dans les étangs pris individuellement, mais surtout dans les réseaux d'étangs connectés à l'échelle du paysage fonctionnant comme corridors de mise en réseau. Ces milieux apportent une contribution importante à la société par les services écosystémiques qu'ils fournissent, et une protection efficace de tels réseaux d'étangs est essentielle au maintien de ces fonctions (Hill et al., 2018).

A une échelle plus large, notre modèle de plaines alluviales souligne que le castor peut contribuer à cette création d'habitats de valeur (Fig. 24). Plus de 45 000 hectares, dont près de 30 000 présentant principalement des opportunités pour la nature et peu de conflits, peuvent être façonnés par le castor,

¹⁰ Le carbone représente environ 27 % du poids d'une molécule de CO₂. Ainsi, 63 tonnes de carbone pur représentent environ 231 tonnes de CO₂.

et ainsi contribuer à ce réseau si nécessaire au maintien de la biodiversité (aussi bien terrestre qu'aquatique) dans notre pays. Cela représente tout de même environ 40 % des habitats aquatiques requis par Rutishauser et al. (2023). Des solutions durables sur le long terme peuvent être financées via des programmes cantonaux ou nationaux (voir chapitre 9).

Près de 15 000 hectares supplémentaires pourraient également être influencés positivement par le castor. Ils sont cependant des sources prévisibles de conflits. Un bon accompagnement de l'arrivée de l'animal, des réflexions sur les mesures de préventions envisageables et une sensibilisation des propriétaires et des exploitants permettraient toutefois de désamorcer bien des problématiques et d'ainsi gagner simplement de nombreux hectares au bénéfice de la nature (voir chapitre 9).



Fig. 24 : A Herzogenbuchsee (BE), le castor a permis l'émergence de nombreux habitats de valeur pour la faune et la flore. Des solutions existent pour concilier tous les intérêts en présence : ici, la forêt concernée par l'inondation a été mise en réserve, et la route a été surélevée d'un mètre. Cercle rouge : hutte de castors ; lignes rouges en pointillé : barrages de castor (image : Christof Angst).

8.2 Le castor comme partenaire pour le développement et le maintien de la biodiversité dans les cours d'eau

Une infrastructure écologique riche en biodiversité s'appuie sur des zones centrales qui servent à la conservation des habitats et des espèces, ainsi que sur des aires de mise en réseau entre les zones centrales. Ces deux éléments doivent permettre aux espèces de se reproduire, de se nourrir et de se déplacer. La mise en réseau garantit en outre la connexion des habitats, indispensable à l'échange de populations entre les différentes zones centrales.

Les zones influencées par le castor remplissent exactement ces fonctions pour de nombreuses espèces, puisqu'elles leur offrent un espace pour se reproduire et chercher de la nourriture ainsi qu'une protection contre les prédateurs et la possibilité de se déplacer pour atteindre d'autres habitats. Les territoires du castor peuvent avoir une taille considérable – jusqu'à plusieurs kilomètres de long – et relier les écosystèmes terrestre et aquatique. Ils constituent donc des milieux naturels et des surfaces de mise en réseau d'une grande qualité.

Les eaux superficielles courantes et stagnantes constituent un maillage dense réparti de manière relativement uniforme sur l'ensemble du territoire helvétique. Une part importante des cours d'eau du pays sont cependant dans un état écologique critique. En outre, les effets des changements

climatiques accroissent encore la pression qui pèse déjà sur de nombreuses espèces qui y vivent. Comme les moyens actuels affectés pour revitaliser les cours d'eau n'ont pas encore permis d'améliorer suffisamment cette situation, il est important d'envisager d'autres mesures pour soutenir la revitalisation des eaux en plus de celles déjà prises (Ecoplan, 2021). La présente étude montre que le castor est pour cela un partenaire qui agit rapidement, efficacement et économiquement en revitalisant gratuitement des tronçons entiers de cours d'eau.

Il est aussi important de considérer les activités de construction du castor à la lumière du réchauffement global, puisque ses barrages exercent une influence directe sur l'hydrologie. Ils créent de véritables bassins de rétention qui peuvent conserver de l'eau lorsque la rivière s'assèche, favorisent la recharge des nappes phréatiques et peuvent aussi contribuer à atténuer la force des crues. Ils offrent un potentiel considérable en tant que réservoirs d'eau superficielle. Selon des estimations réalisées lors de l'étude, les activités du castor en Suisse pourraient à elles seules retenir un volume d'eau superficielle atteignant 1,05 à 2,22 millions de m³ si toutes les rivières propices à cette espèce étaient colonisées. Enfin, les castors ont un effet positif sur la qualité de l'eau, puisque leurs étangs et leurs zones alluviales participent à l'élimination des nitrates et fonctionnent comme puits de carbone (cf. chapitres 5 et 6).

Avec près de 5000 individus répartis sur 1402 territoires, le castor est aujourd'hui bel et bien de retour en Suisse (Angst et al., 2023). Ses barrages vont donc faire de plus en plus partie de nos paysages aquatiques. La colonisation du réseau hydrographique suisse par cette espèce constitue une grande chance pour le maintien et le développement de la biodiversité et pour la mise en réseau de milieux naturels de grande valeur. Le castor contribue également à réduire les effets du réchauffement climatique. Si nous laissons un peu plus de place aux eaux, il pourra se révéler être un partenaire efficace pour la restauration et la connexion de cours d'eau proches de l'état naturel.

9 Le castor comme partenaire lors de projets environnementaux

Comme le montre ce rapport, le castor modifie activement le paysage aquatique et le rend plus vivant. Ce chapitre expose la valeur ajoutée de ces modifications et explique comment elles peuvent contribuer de manière efficace et peu coûteuse à la réalisation des objectifs biologiques, écologiques et hydrologiques de projets environnementaux, tant dans les milieux aquatiques qu'en forêt, en zone urbanisée et en milieu ouvert. Il montre également comment il est possible de réduire ou d'éviter durablement les conflits et les dommages dans le cadre de projets.

9.1 Le castor comme partenaire dans le contexte des conventions-programmes dans le domaine de l'environnement

Les conventions-programmes sont un instrument clé pour la mise en œuvre commune de la politique environnementale par la Confédération et les cantons (OFEV, 2023c). Cet instrument est parfaitement approprié pour intégrer de manière ciblée les activités du castor dans des projets environnementaux. Il permet ainsi de réaliser efficacement, rapidement et à peu de coûts l'établissement d'une infrastructure écologique. La Confédération et les cantons y fixent ensemble les objectifs à atteindre, les prestations à fournir par les cantons, la qualité attendue et les contributions fédérales disponibles pour y parvenir. Les conventions-programmes sont un instrument financier basé sur le droit de l'environnement, qui visent à promouvoir l'atteinte des objectifs stratégiques de la Confédération dans le domaine de l'environnement.

Le castor et ses activités peuvent avantageusement être intégrés dans certains programmes pour soutenir la réalisation de leurs objectifs. Il s'agit en particulier des programmes « Revitalisation des eaux », « Dangers naturels gravitaires » (projets de protection contre les crues), « Paysage » (urbanisation) et du programme partiel « Biodiversité en forêt ».

9.2 Champ d'action « Eaux » - le castor comme partenaire pour les projets d'aménagement de cours d'eau

En ce qui concerne les projets d'aménagement de cours d'eau, une distinction est faite entre les projets de revitalisation prévus par la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20) et les projets de protection contre les crues prévues par la loi fédérale sur l'aménagement des cours d'eau (LACE, RS 721.100). Les deux types de projet sont soumis aux mêmes exigences écologiques (art. 37, al. 2, LEaux). Dans les deux cas, le tracé naturel des cours d'eau doit autant que possible être respecté ou rétabli. Les eaux et l'espace réservé aux eaux doivent être aménagés de façon qu'ils puissent accueillir une faune et une flore diversifiées et que les interactions entre eaux superficielles et eaux souterraines soient maintenues autant que possible. Par ailleurs, une végétation adaptée à la station doit pouvoir croître sur les rives. Comme le montre le présent rapport, il peut être opportun d'intégrer le potentiel du castor dans les projets d'aménagement des cours d'eau.

a) Le castor comme partenaire dans les projets de revitalisation

En matière de revitalisation, on privilégie en principe les projets dans lesquels, après suppression des aménagements ou des dépotoirs à alluvions, les processus hydrodynamiques se renforcent d'eux-mêmes. Il convient en particulier d'exploiter cette dynamique naturelle des eaux plutôt que de recourir uniquement à des mesures constructives pour restaurer un cours d'eau proche de l'état naturel. Laisser le castor agir peut aussi contribuer à engendrer des processus dynamiques favorisant la revitalisation naturelle d'un cours d'eau conformément au droit sur la protection des eaux (OFEV, 2023c). Les activités du castor ont en particulier un impact positif sur les exigences suivantes édictées pour les projets de revitalisation :

- Permettre une évolution dynamique de la structure des cours d'eau après les premières interventions techniques.

- Promouvoir des milieux aquatiques, amphibies et terrestres diversifiés.
- Rétablir une connectivité longitudinale aquatique, amphibie et terrestre ainsi qu'une connectivité latérale eau-terre des espaces et des fonctions (zone riveraine).
- Rétablir une morphologie des eaux naturelle ou au moins proche de l'état naturel (grâce à la réactivation d'un charriage proche des conditions naturelles et la garantie d'un espace réservé aux eaux en tenant compte de la protection contre les crues).
- Permettre la formation de structures dynamiques créées par le cours d'eau lui-même, plutôt que de construire des structures artificielles statiques (selon l'aménagement du cours d'eau, il peut être nécessaire d'introduire des structures initiales guidant le courant afin de déclencher des processus dynamiques propres).

Les activités du castor et les processus dynamiques qu'elles engendrent peuvent contribuer à la réalisation d'un grand nombre de ces exigences concrètes imposées aux projets de revitalisation.

b) Le castor comme partenaire dans des projets de protection contre les crues

Les projets de protection contre les crues doivent également être exécutés de manière à obtenir un résultat aussi proche que possible de l'état naturel. Il faut notamment accorder une attention particulière à la largeur naturelle du fond du lit, garantir un espace amphibie suffisant et rétablir le mieux possible la connectivité longitudinale terrestre.

C'est surtout dans les petits cours d'eau que le castor peut contribuer de manière efficace à réaliser les exigences écologiques posées aux projets de protection contre les crues. Comme le castor a colonisé un nombre croissant de cours d'eau sur le Plateau ces dernières années, il est possible de déjà l'inclure à titre de partenaire potentiel dans de nombreux projets d'aménagement de cours d'eau. Les castors vivent souvent à proximité ou au sein même d'un périmètre de projet et les jeunes individus doivent trouver des sections de cours d'eau libres pour établir leur propre territoire. La question n'est donc souvent pas de savoir si les castors coloniseront un périmètre de projets hydrauliques, mais quand ils s'y installeront et commenceront à y agir. Il convient donc dans tous les cas d'intégrer le castor dans tous les futurs projets d'aménagement des cours d'eau.

Il est également possible d'« imiter » les castors à l'aide de barrages artificiels, appelés « Beaver Dam Analogs » ou BDA (Goldfarb, 2018 ; Pollock et al., 2023 ; Fig. 25), et d'initier ainsi une dynamique naturelle. Ce système a été développé aux États-Unis, où il est utilisé à une grande échelle pour rehausser le fond du lit des cours d'eau incisés et, à moyen terme, ramener l'eau dans la zone des berges (zone alluviales). Les BDA sont aussi utilisés pour augmenter la probabilité d'une colonisation par le castor, puisqu'ils créent des tronçons d'eau plus profonde et coulant lentement dans les petits ruisseaux, ce qui est un milieu idéal pour l'installation du rongeur. Souvent, les castors complètent les BDA avec leurs propres barrages, tout en modifiant le cours d'eau par toutes leurs activités, renforçant ainsi leur impact positif sur la diversité des espèces et d'autres processus écologiques et hydrologiques. Ce faisant, ils compensent un défaut des BDA, auxquels il manque le caractère dynamique propre aux structures générées par les activités typiques du castor (Wheaton et al. 2019).

Les premiers BDA construits en Suisse visent principalement à rehausser le fond du lit des très petits cours d'eau incisés (Minnig et al., 2022 ; Werdenberg et al., 2023 ; Minnig et al., 2024b ; Fig. 26). En forêt, il est possible de construire des BDA à peu de frais sur les petits ruisseaux en utilisant les matériaux naturels qui se trouvent sur place, par exemple pour créer des étangs pour les amphibiens (Pellet, 2021).

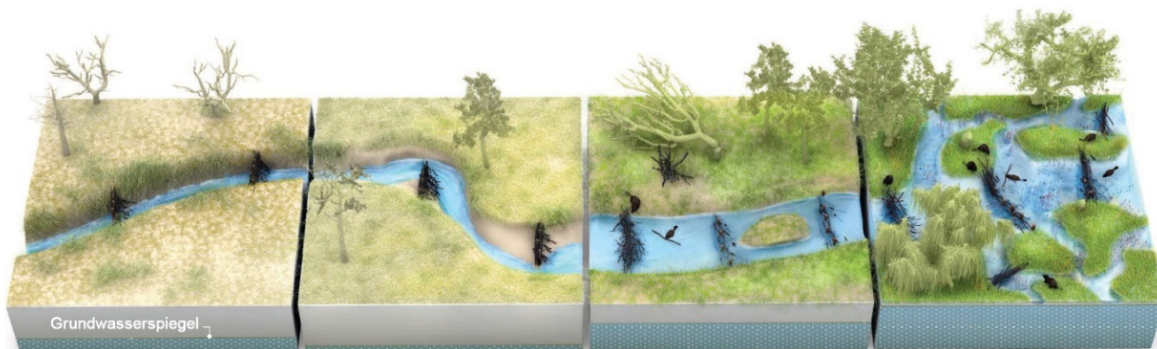


Fig. 25 : « Un ruisseau retrouve la vie ». Aux États-Unis, les BDA sont utilisés pour revitaliser les cours d'eau et rétablir des populations de castors. De gauche à droite : 1) Construction de BDA sur des cours d'eau incisés. 2) Les BDA détournent le courant, ce qui provoque une érosion des berges et un élargissement du cours d'eau. 3) Le castor colonise la zone et construit d'autres barrages. Le niveau de la nappe phréatique s'élève. 4) Le castor crée un réseau dynamique de milieux naturels, comme on peut le voir par exemple sur les figures 23 et 24 (illustration : © Science, V. Altounian in Goldfarb, 2018).



Fig. 26 : Plusieurs *Beaver Dam Analogs* sur un petit ruisseau auparavant fortement incisé à Kaufdorf (BE). Avant la construction des BDA, le ruisseau d'origine ressemblait à la portion située en aval du dernier BDA, à droite de l'image. Plus d'informations sur le projet : voir Minnig et al. (2024b) (photo: Christof Angst).

Si on laisse le champ libre au castor dans le cadre d'un projet d'aménagement de cours d'eau, des conflits avec les objectifs de la protection contre les crues ou avec l'utilisation des sols adjacents peuvent survenir, raison pour laquelle il est nécessaire de clarifier à l'avance quelles mesures pourront les prévenir. Dans la plupart des cas, l'espace réservé aux eaux garantit l'existence d'une distance suffisante entre les activités du castor et les infrastructures comme les chemins. Suivant la situation, il faut toutefois prendre des mesures préventives supplémentaires, en particulier les suivantes :

- **Installation de grillage anti-fouissage :**

Les grillages anti-fouissage peuvent protéger les infrastructures installées dans l'espace réservé aux eaux ou situées à une distance maximale de 10 m du bord de la berge contre des activités de fouissage particulièrement importantes (Angst, 2014 ; Service conseil national castor, 2025).

- **Aplanissement ponctuel de la berge :**

Une berge aplanie peut protéger les voies de circulation qui ne sont pas équipées de grillage anti-fouissage ou prévenir une forte érosion de la berge due à l'activité de fouissage du castor, à condition qu'elle offre d'autres endroits plus pentus où le castor pourra creuser. L'inclinaison du talus devrait être comprise entre 1:5 et 1:3 (maximum). Les talus plus pentus dans lesquels le castor peut creuser son terrier devraient être aménagés là où aucune infrastructure ne peut être endommagée (Angst, 2014 ; Angst, 2022).

- **Adaptation de la section transversale du chenal :**

Comme le montrent les résultats présentés au chapitre 3, ce sont les barrages de castors et toutes les activités connexes qui créent une plus-value écologique. C'est pourquoi la section transversale du chenal devrait être dimensionnée de façon à évacuer une crue moyenne, même avec la présence de barrages de castor de 1 à 1,5 m de hauteur (pour plus d'information sur les hauteurs des barrages de castor en Suisse, voir le chapitre 3).

- **Adaptation du système de drainage :**

Lorsqu'un castor construit un barrage, il peut provoquer des retenues d'eau dans les drainages agricoles. Dans une telle situation, un système collecteur peut évacuer l'eau drainée hors de la zone de conflit et la déverser plus bas dans le cours d'eau, à un point en aval duquel le castor n'érige naturellement pas de barrage ou, en accord avec les autorités compétentes, ne sera pas autorisé à le faire (Angst, 2014 ; Fig. 27a-d). Cette mesure permet en outre d'installer une vanne dans la dérivation pour garder l'eau dans le sol en période de sécheresse.

- **Adaptation de la taille des voûtages sous les infrastructures de transport :**

Des voûtages suffisamment grands réduisent le risque que les castors construisent des barrages à l'intérieur ou qu'ils se retrouvent obstrués par du bois flottant (Angst, 2022 ; Jensen et al., 1999). Une autre solution consiste à installer un collecteur de bois flottant devant le voûtage.

- **Développement de la végétation riveraine :**

L'ombre apportée par la végétation riveraine composée d'arbustes et d'arbres joue un rôle important dans le contexte des changements climatiques. Lorsque la végétation riveraine est suffisamment diversifiée, le castor peut coloniser durablement un tronçon de cours d'eau sans la surexploiter. En outre, une végétation riveraine diversifiée lui offrira suffisamment de nourriture en hiver et de bois pour construire ses barrages.



Fig. 27a : L'Orpundbach (BE) avant la revitalisation. (photo : Christof Angst)



Fig. 27b : L'Orpundbach (BE) après la revitalisation. (photo : Christof Angst)



Fig. 27c : Regard du système collecteur courant parallèlement au cours d'eau (ligne en traitillé). (photo : Christof Angst)



Fig. 27d : Déversement du collecteur dans l'Orpundbach. Il ne doit pas y avoir de barrage de castor en aval du déversement. (photo : Christof Angst)

Le modèle « Castor et zone alluviale » et la planification de projets d'aménagements de cours d'eau

Le modèle « Castor et zones alluviales » (voir chapitre 7) peut être utilisé pour évaluer si un chenal doit être élargi ou si d'autres mesures de prévention doivent être intégrées dans un projet d'aménagement de cours d'eau. Si le modèle montre que des barrages de castors pourraient provoquer une inondation indésirable des terrains adjacents, il faut examiner la possibilité d'augmenter la section transversale du chenal à l'endroit concerné afin de minimiser les effets négatifs ultérieurs sur les surfaces et les infrastructures adjacentes. La mise en œuvre de cette mesure dans le contexte d'un projet d'aménagement de cours d'eau peut éviter de devoir réaliser de futures interventions techniques et permet donc d'économiser des ressources financières. Cela permet en même temps de garantir à long terme la dynamique naturelle et d'augmenter la diversité des espèces sur le site concerné. Le modèle cartographique « Castor et zones alluviales » est à disposition des services cantonaux via la plateforme VDC (virtual data center) d'InfoSpecies ainsi que sur le site du service conseil national castor (Dennis et al., 2024 ; Service conseil national castor, 2025).

9.3 Champ d'action « Forêt » – le castor et la biodiversité en forêt

Dans le programme partiel « Biodiversité en forêt » de la convention-programme « Forêt » (OFEV, 2023c), une priorité élevée est accordée aux mesures qui visent spécifiquement à conserver les milieux naturels prioritaires au niveau national comme les forêts humides (cf. aide à l'exécution « Biodiversité en forêt : objectifs et mesures » ; Imesch et al., 2015). Le castor peut créer des biotopes humides de grande valeur en forêt (Fig. 28 ; Bussmann-Charran et al., 2025). S'il est certes possible de délimiter des réserves forestières tout à fait indépendamment d'une colonisation par le castor, le programme partiel « Biodiversité en forêt » prévoit toutefois explicitement d'autoriser les activités des castors dans les réserves forestières afin de favoriser leur impact positif sur la formation et la conservation des forêts humides. Après concertation entre le canton et le propriétaire forestier, le

castor et ses activités peuvent être inclus comme partie intégrante d'un contrat conclu en vue de la délimitation d'une réserve forestière naturelle ou spéciale. À cet égard, il est important de noter que les réserves forestières spéciales ont l'avantage de permettre des interventions subventionnées visant à favoriser la biodiversité.



Fig. 28 : Territoire de castor près d'Hersiwil (SO) ayant fait partie de l'étude sur la biodiversité. En plus de l'inondation de la forêt, les activités du castor peuvent aussi détrempier temporairement des prairies. Cercle rouge : hutte ; traitillé rouge : barrages.

Le modèle cartographique « Castor et zones alluviales » présenté dans le chapitre 7 peut servir à identifier les surfaces appropriées pour la conservation de forêts humides lors de la planification cantonale des réserves forestières. Comme les castors peuvent également utiliser et influencer les environs immédiats des périmètres engorgés, il est recommandé de délimiter une zone tampon suffisamment grande afin de prévenir les conflits potentiels.

Là où l'on peut s'attendre à un conflit, il faut examiner la possibilité de délimiter une réserve forestière spéciale, où des interventions sont possibles, plutôt qu'une réserve forestière naturelle. Dans ce type de réserve, les mesures prises en vertu de l'indicateur de prestation IP 2.2¹¹ peuvent explicitement servir à la gestion des activités de castor (OFEV, 2023c ; OFEV, 2023d).

¹¹ IP 2.2 : Les mesures visant à encadrer les activités des castors sont convenues avec les responsables cantonaux ou fédéraux (OFEV) chargés de la gestion de l'espèce.

9.4 Champ d'action « Zones urbanisées » – le castor et les projets de développement urbain

Les villages et les villes abritent une quantité remarquable d'espèces animales, fongiques et végétales (OFEV, 2023a). La biodiversité dans les zones urbanisées est cependant mise à mal par l'imperméabilisation des sols, la pollution de l'air, les émissions lumineuses, l'utilisation de biocides et de produits phytosanitaires ainsi que par l'entretien intensif des espaces publics et des jardins privés et leur aménagement monotone. Pour cette raison, la Confédération a défini dans la conception « Paysage suisse » des objectifs de qualité paysagère de façon que les zones urbanisées puissent contribuer davantage à la biodiversité et à la mise en place de réseaux écologiques dans le paysage (OFEV, 2022c).

Le castor peut jouer dans ce contexte un rôle important, puisqu'il est en mesure de valoriser écologiquement tous les types de cours d'eau, et donc aussi ceux situés dans les zones urbanisées. De plus, la présence d'une grande diversité de plantes, de papillons et d'oiseaux dans les espaces verts et les espaces ouverts contribue non seulement à développer et à maintenir la biodiversité, mais a aussi un effet positif sur les êtres humains (Scopelliti et al., 2012 ; Carrus et al., 2015). Les étangs de castor attirent beaucoup de monde et enthousiasment par leur diversité dynamique. Les espaces verts et les plans d'eau améliorent en outre la circulation de l'air et le microclimat urbain. Cette fonction rafraîchissante va jouer un rôle toujours plus important dans les villes densément bâties et peut contribuer à l'adaptation aux changements climatiques. Lorsque l'on étudie des projets d'aménagement de cours d'eau en zone urbanisée, il peut donc être particulièrement enrichissant d'intégrer le potentiel du castor en tant que créateur de milieux naturels humides et riches en espèces.

La construction de barrages par le castor dans les zones urbanisées peut cependant aussi être à l'origine de dégâts. Comme pour les autres projet, des mesures préventives peuvent s'avérer nécessaires. À cet égard, la section transversale du cours d'eau joue un rôle absolument clé en ce qui concerne la prévention des dommages provoqués par l'élévation du niveau de l'eau, et ce aussi dans les zones urbanisées. Si cette section est suffisamment grande, les castors peuvent ériger des barrages et créer des étangs sans que cela entraîne ultérieurement des conflits.

Les mesures présentées dans les parties consacrées à l'aménagement de cours d'eau et à la biodiversité en forêt valent également pour la gestion des territoires de castor dans les zones urbanisées et ne sont donc pas reprises ici.

9.5 Champ d'action « Milieu ouvert » – le castor dans le contexte agricole

Dans les objectifs environnementaux de l'agriculture (OEA), il est précisé que la production agricole doit conserver et favoriser les services écosystémiques rendus par la biodiversité (OFEV & OFAG, 2016). Comme le présent rapport l'a déjà plusieurs fois mentionné, le castor contribue à favoriser la biodiversité, même en zone agricole (Fig. 29). Les activités du rongeur peuvent cependant aussi affecter la surface agricole utile, par exemple lorsque des surfaces se retrouvent inondées directement (par des barrages) ou indirectement (par l'obstruction de drains). Dans de tels cas, l'ordonnance fédérale sur la chasse et la protection des mammifères et oiseaux sauvages (OChP, RS 922.01) prévoit que des indemnités soient versées pour les dommages pour autant que les mesures de prévention raisonnables aient été appliquées au préalable dans les règles de l'art. La Confédération participe aussi aux coûts des mesures de prévention. La législation sur la chasse prévoit que, en ultime recours, des castors causant d'importants dommages peuvent être abattus. Pour que le tir puisse être autorisé, il faut que les dommages ne puissent pas être évités par des mesures raisonnables (pour plus de détail voir l'OChP).

Il existe cependant encore d'autres possibilités pour faire face aux conflits qui peuvent survenir entre la présence du castor dans les cours d'eau et les intérêts de l'agriculture :

- **Inscription des surfaces touchées en tant que « surface de promotion de la biodiversité » (SPB)** de type prairie extensive, prairie riveraine de cours d'eau ou prairie à litière : dans ce type de SPB, les petites structures improductives sont prises en compte à hauteur de 20 % de la surface totale en bordure du cours d'eau. Les surfaces inondées, les barrages, les arbres tombés et les autres structures créées par le castor pourraient ainsi entrer dans cette catégorie de « petites structures improductives » (Agridea, 2024). La SPB de type 16, spécifique à la région, offre en outre des possibilités supplémentaires pour caractériser et indemniser la présence du castor.
- **Développement d'une mesure « réseau écologique »** : au sein des réseaux écologiques, des mesures spécifiques au réseau visant à développer la biodiversité peuvent être définies et financées. Les pertes de surfaces occasionnées par le castor pourraient être dédommagées via cet outil. L'inconvénient de cette mesure est que son application est limitée aux membres des réseaux écologiques et laisse de côté toute une frange des agriculteurs et agricultrices.
- **Adaptation des cultures** : l'adaptation de l'exploitation des surfaces agricoles situées à proximité des cours d'eau pourrait créer des synergies entre la présence du castor et la production agricole. En ce sens, la promotion de nouvelles cultures et de modes d'exploitation ancestraux, par exemple les terres assolées humides (Fabian et al., 2023) ou encore les prairies irriguées sont non seulement possibles mais aussi économiquement pertinentes.



Fig. 29 : Dans la zone agricole près de Hersiwil (SO), les barrages érigés par le castor ont créé une zone humide d'un seul tenant qui relie deux zones forestières. Même les petites surfaces inondables, comme celle visible à gauche en haut de l'image, renforcent la biodiversité en milieu ouvert, puisqu'elles forment des habitats humides de grande valeur et des éléments de mise en réseau. Cercle rouge : hutte ; traitillé rouge : barrages (photo : Christof Angst).

10 Conclusion

Les résultats du projet national de recherche sur le castor et les très nombreuses études internationales montrent de manière impressionnante que le castor peut apporter une contribution considérable à l'existence de cours d'eau vivants, riches en espèces et plus résilients face aux influences extérieures. Les habitats et les structures générés par ses barrages et leur renouvellement incessant dû à ses activités complètent la dynamique du cours d'eau et permettent aux espaces riverains de bénéficier d'un régime hydrique dynamique à l'instar des zones alluviales.

Les activités du castor constituent une opportunité majeure pour rétablir durablement des milieux naturels aquatiques complexes proches de l'état naturel, et de nombreux arguments plaident en faveur de leur utilisation accrue et ciblée dans l'aménagement de notre environnement. Donner au castor la place qui lui revient dans les projets d'aménagement des cours d'eau présente des avantages non seulement écologiques, mais aussi sociétaux et économiques, car leurs activités sont plus efficaces que des mesures techniques complexes et leur travail ne coûte rien. De plus, la diversité des milieux naturels qu'il façonne accroît notre qualité de vie. En comprenant le castor et son comportement, et en l'intégrant correctement dès le stade de la planification des projets d'aménagement de cours d'eau, les effets indésirables de ces activités peuvent être identifiés et anticipés, ce qui permet d'agir en amont pour les éviter durablement. Tout cela fait du castor un partenaire inégalé pour des cours d'eau vivants.

11 Références

- Agridea (2024). Promotion de la biodiversité dans l'exploitation agricole. Exigences de base et niveaux de qualité Conditions – charges – contributions. 26 p.
- Angst C. (2010). Vivre avec le castor. Recensement national de 2008 : Perspectives pour la cohabitation avec le castor en Suisse. Connaissance de l'environnement no 1008. Office fédéral de l'environnement, Berne, et Centre Suisse de Cartographie de la Faune, Neuchâtel. 156 p.
- Angst C. (2014) : Revitalisation de cours d'eau : le castor est notre allié. Guide pratique. Connaissance de l'environnement n° 1417. Office fédéral de l'environnement, Berne : 16 p
- Angst, C. (2022). Biber und SBB-Bahninfrastruktur Massnahmen und Prävention. 61 S.
- Angst C., Auberson C., Nienhuis C. (2023). Recensement 2022 du castor en Suisse et au Liechtenstein. info fauna – service conseil castor et Fornat AG. 136 p.
- Bashinskiy, I. V. (2020). Beavers in lakes: a review of their ecosystem impact. *Aquatic Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10452-020-09796-4>
- Berger, K. (2023). Modification and spatial variation of riverine water quality due to beaver damming across Switzerland. Master thesis, Institute of Geography, University of Berne, Switzerland. 137 pp.
- Brazier, R.E., Puttock, A., Graham, H.A., Auster, R.E., Davis, K.H., Brwon, C.M.L. (2020). Beaver: Nature's ecosystem engineers. *WIREs Water*. 2021;8:e1494. <https://doi.org/10.1002/wat2.1494>
- Bussmann-Charran, K., Vorburger, C., Parli, R., Angst, C., Bregenzer, I., Burger, S., Durr, C., Ginzler, C., Gossner, M., Grunig, A., Jutz, X., Kury, D., Lanz, K., Rohner, B., Rutishauser, M., Weber, P. (2025): Biodiversität fördern durch die Wiederherstellung feuchter und nasser Wälder. Synthesezentrum Biodiversität. <http://doi.org/10.55408/eawag:34971>
- Collin, P. & R.J. Gibson (2001). The general ecology of beavers (*Castor* spp.), as related to their influence on stream ecosystems and riparian habitats, and the subsequent effects on fish – a review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 10: 439–461. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1012262217012>
- Carrus, G., Scopelliti, M., Laforteza, R., Colangelo, G., Ferrini, F., Salbitano, F., Agrimi, M., Portoghesi, L., Semenzato, P. & Sanesi, G. (2015). Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas. *Landscape and urban planning*, 134, 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.022>
- Cutting, K. A., Ferguson, J. M., Anderson, M. L., Cook, K., Davis, S. C., & Levine, R. (2018). Linking beaver dam affected flow dynamics to upstream passage of Arctic grayling. *Ecology and Evolution*, 8(24), 12905-12917. <https://doi.org/10.1002/ece3.4728>
- Dalbeck, L. & Weinberg, K. (2009). Kurzfristige Auswirkungen eines Hochwassers auf Amphibien-gemeinschaften in Biberteichen eines Mittelgebirgstales. *Zeitschrift für Feldherpetologie* 16: 103–114 S.
- Dalbeck, L., Janssen, J., & Luise Völsger, S. (2014). Beavers (*Castor fiber*) increase habitat availability, heterogeneity and connectivity for common frogs (*Rana temporaria*), *Amphibia-Reptilia*, 35(3), 321-329. <https://doi.org/10.1163/15685381-00002956>
- Dalbeck, L., Hachtel, M., & Campbell-Palmer, R. (2020). A review of the influence of beaver castor fiber on amphibian assemblages in the floodplains of European temperate streams and rivers. *Herpetological Journal*, 30(3), 135–146. <https://doi.org/10.33256/HJ30.3.135146>
- Delarze, R., Gonseth, Y., Eggenberg, S. et Vust, M., (2015). Guide des milieux naturels de Suisse. Écologie, menaces, espèces caractéristiques. 456 p.
- Dennis, M., Angst, C., Larsen, J., Rey, E. & Larsen, A. (2024). A national scale floodplain model revealing channel gradient as a key determinant of beaver dam occurrence and inundation potential

can anticipate land-use based opportunities and conflicts for river restoration. *Global Ecology and Conservation*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03304>

d'Epagnier, R. F. (2023). Beaver impacts on the riverine carbon budget in a study area in Marthalen (CH). Master thesis, Faculty of Science, University of Bern. 98 pp.

Devito, K. J., & Dillon, P. J. (1993). The importance of runoff and winter anoxia to P and N dynamics of a beaver pond. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(10), 2222–2234. <http://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/handle/10214/15788>

Dewey, C., Fox, P. M., Bouskill, N. J., Dwivedi, D., Nico, P., Fendorf, S. (2022). Beaver dams overshadow climate extremes in controlling riparian hydrology and water quality. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34022-0>

Dittbrenner, B. J., Schilling, J. W., Torgersen, C. E., and Lawler, J. J. (2022). Relocated Beaver Can Increase Water Storage and Decrease Stream Temperature in Headwater Streams. *Ecosphere* 13(7): e4168. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4168>

Ecoplan (2021). Überprüfung des Gewässerschutzrechts hinsichtlich Klimawandel. Diskussionsgrundlage zur Weiterentwicklung des Vollzugs. Bundesamt für Umwelt, Bern. 54 p.

Esguícero, A. L. & Arcifa, M. S. (2010). Fragmentation of a Neotropical migratory fish population by a century-old dam. *Hydrobiologia*, 638, 41-53. <https://doi.org/10.1007/s10750-009-0008-2>

Fabian Y., Roberti G., Zorn A., Szerencsits E., Gramlich A. (2023). Die Nutzung von vernässenden Ackerflächen neu denken. *Geomatik Schweiz*, 121, (7-8), 2023, 161-164.

Giuliani, G., Rodila, D., Külling, N, Maggini, R. & Lehmann, A. (2022). Downscaling Switzerland Land Use/Land Cover Data Using Nearest Neighbors and an Expert System. *Land* 2022, 11(5), 615. <https://doi.org/10.3390/land11050615>

Goldfarb, B. (2018). Beaver, rebooted. *sciencemag.org* VOL 360 ISSUE 6393. <https://doi.org/10.1126/science.360.6393.1058>

Grudzinski, B. P., Fritz, K., Golden, H. E., Newcomer-Johnson, T. A., Rech, J. A., Levy, J., Fain, J., McCarty, J. L., Johnson, B., Vang, T. K., Maurer, K. (2022). A global review of beaver dam impacts: Stream conservation implications across biomes. *Global Ecology and Conservation*. Vol. 37. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02163>

Hägglund, Å., & Sjöberg, G. (1999). Effects of beaver dams on the fish fauna of forest streams. *Forest Ecology and Management*, 115(2-3), 259-266. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00404-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00404-6)

Hallmann, C. A., Sorg, M. Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D. & de Kroon, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>

Halvorsen, M. & Stabell, O. B. (1990). Homing behaviour of displaced stream-dwelling brown trout. *Animal Behaviour*, 39, 1089-1097. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb01372.x>

Hill, M. J., Hassall, C., Oertli, B., Fahrig, L., Robson, B. J., Biggs, J., Samways, M.J., Usio, N., Takamura, N., Krishnaswamy, J & Wood, P.J. (2018). New policy directions for global pond conservation. *Conservation Letters* 2018;11:e12447. <https://doi.org/10.1111/conl.12447>

Höjesjö, J., Økland, F., Sundström, L., Pettersson, J. & Johnsson, J. (2007). Movement and home range in relation to dominance; a telemetry study on brown trout *Salmo trutta*. *Journal of Fish Biology*, 70, 257-268. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01299.x>

Imesch N., Stadler B., Bolliger M., Schneider O. (2015). Biodiversité en forêt : objectifs et mesures. Aide à l'exécution pour la conservation de la diversité biologique dans la forêt suisse. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne. L'environnement pratique no 1503 : 190 p.

info fauna (2023). Base de données nationale de la faune.

info fauna (2025). Base de données nationale de la faune.

Jensen, P.G., Curtis, P. D. & Hamelin D. L. (1999). Managing Nuisance Beavers Along Roadsides. A Cornell Cooperative Extension Publication. 13 p. ISBN 1-57753-267-8.

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4442.7600>

Jonsson, N. (1991). Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. Nordic journal of freshwater research, 66, 20-35.

Junge, C., Museth, J., Hindar, K., Kraabøl, M. & Vøllestad, L. A. (2014). Assessing the consequences of habitat fragmentation for two migratory salmonid fishes. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 24, 297-311. <https://doi.org/10.1002/aqc.2391>

Kemp, P.S., Worthington, T.A., Langford, T.E.L., Tree, A.R.J., Gaywood, M.J. (2012). Qualitative and quantitative effects of reintroduced beavers on stream fish. Fish and Fisheries 13, 153-181.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2011.00421.x>

Kreienbühl, T., Müller, J., Minnig, S. und Zogg, N. (2024). Verhalten von Fischen an Biberdämmen. Untersuchungen mit PIT-Tags. Auftragnehmer: Ecqua GmbH. 67 Seiten.

Larsen, A., Larsen, J.R., Lane, S.N. (2021): Dam builders and their works: Beaver influences on the structure and function of river corridor hydrology, geomorphology, biogeochemistry and ecosystems. Earth-Science Reviews 218. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103623>

Larsen, A., Berger, K., Angst, C., Auberson, C., Ceperley, N., d'Épagnier, R., Robinson, R., Schaeffli, B. & Larsen, J. (2024a). Modification and spatial variation of riverine nitrogen and dissolved organic carbon concentrations due to beaver damming across Switzerland. Expertenbericht des Moduls 3.2 des nationalen Biberprojektes «Funktionalität der Stauaktivität des Bibers in der Landschaft- ein Projekt zur Stärkung der ökologischen Infrastruktur». 59 S.

Larsen, J., d'Épagnier, R., Angst, C., Berger, K., Boek, K., Ceperly, N., Schaeffli, B., Thurnheer, S., Larsen, A. (2024b). Towards a carbon budget for the Marthalen beaver wetland. Expertenbericht des Moduls 3.3 des nationalen Biberprojektes «Funktionalität der Stauaktivität des Bibers in der Landschaft- ein Projekt zur Stärkung der ökologischen Infrastruktur». 11 pp.

Law, A., McLean, F., & Willby, N. J. (2016). Habitat engineering by beaver benefits aquatic biodiversity and ecosystem processes in agricultural streams. Freshwater Biology, 61(4), 486-499.

<https://doi.org/10.1111/fwb.12721>

Law, A., Levanoni, O., Foster, G., Ecke, F., & Willby, N. J. (2019). Are beavers a solution to the freshwater biodiversity crisis? Diversity and Distributions, 25(11), 1763-1772.

<https://doi.org/10.1111/ddi.12978>

Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20)

Loi fédérale sur la chasse et la protection des mammifères et oiseaux sauvages (Loi sur la chasse, LChP, RS 922.0)

Loi fédérale sur l'aménagement des cours d'eau (LACE, RS 721.100)

Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN, RS 451)

Lokteff, R. L., Roper, B. B., & Wheaton, J. M. (2013). Do beaver dams impede the movement of trout? Transactions of the American Fisheries Society, 142(4), 1114-1125.

<https://doi.org/10.1080/00028487.2013.797497>

Majerova, M., Neilson, B. T., Schmadel, N. M., Wheaton, J. M., and Snow, C. J. (2015). Impacts of beaver dams on hydrologic and temperature regimes in a mountain stream, Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 3541–3556, <https://doi.org/10.5194/hess-19-3541-2015>

- Messlinger, U., Achtziger, R., Faltin, I. & Bachmann, M. (2022): Monitoring von Biberrevieren in Westmittelfranken 2022. 117 S.
- Minnig, S., Werdenberg, N., Widmer, A., Polli, T., Egloff, N., Vonlanthen, P., Angst, C. (2022). Der Natur abgeschaut: «Beaver Dam Analogs». Innovative und kostengünstige Revitalisierungsmethode für natürliche Fließgewässer. Aqua und Gas Nr. 4. S. 38-45.
- Minnig, S., Polli, T., Krieg, R., Lüscher, B., Kury, D., Kreienbühl, T., und Jacob, G. (2024a). Expert:innenbericht: Einfluss des Bibers auf die Biodiversität – eine Meta-Analyse. Genossenschaft umweltbildner.ch. Bern: 156 S.
- Minnig, S.; Polli, T.; Werdenberg, N.; Egloff N.; Vonlanthen, P. (2024b). Expert:innenbericht: Beaver Dam Analogs (BDAs) – Monitoring Schlossbach 2022-2028 (Phase 1 2022 - 2024), Genossenschaft umweltbildner.ch, Bern, 39 S.
- Monnerat C., Wildermuth H., Gonseth Y. (2021). Liste rouge des Libellules. Espèces menacées en Suisse. Office fédéral de l'environnement OFEV et info fauna – CSCF, Berne. L'environnement pratique no 2120 : 72 p.
- Moor, H., Bergamini, A., Vorburger, C., Holderegger, R., Bühler, C., Egger, S., & Schmidt, B. R. (2022). Bending the curve: Simple but massive conservation action leads to landscape-scale recovery of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(42). <https://doi.org/10.1073/pnas.2123070119>
- Mori, E., Puttock, A., Viviano, A., Mosini, A., Campbell-Palmer, R., Ancillotto, L., Trentanovi, Manuel Scarfò, G., Leoncini, F., Pontarini, R., Mazza, G. & Needham, R. (2024). How much Eurasian beaver activity is there in Italy? Using field signs to monitor and map a returned species. *Mammal Research* 69: 519-532. <https://doi.org/10.1007/s13364-024-00763-0>
- Needham, R.J., Zabel, R.W., Roberts, D & Kemp, P.S. (2025). The impact of reintroduced Eurasian beaver (*Castor fiber*) dams on the upstream movement of brown trout (*Salmo trutta*) in upland areas of Great Britain. *PLOS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0313648>
- Nummi P., Liao W., Huet O., Scarpulla E., Sundell J. (2019). The beaver facilitates species richness and abundance of terrestrial and semi-aquatic mammals. *Global Ecology and Conservation*. Vol. 20. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00701>
- Ode, T. (2025). Influences of beavers (*Castor fiber*) on the spawning dynamics of trout (*Salmo trutta*) in the North German lowlands - Part 2: Migratory behaviour of sea trout (*Salmo trutta trutta*) at beaver dams. Vortrag am 10. IBS in Schottland, Inverness.
- OFEFP (éd.) (2004). Biologie, menaces et protection du chabot (*Cottus gobio*) en Suisse. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. L'environnement pratique n°77 : 75 p.
- OFEV (2012). Stratégie Biodiversité Suisse. Office fédéral de l'environnement, Berne. 89 p.
- OFEV (2021a). Renaturation des eaux suisses - État de la mise en œuvre des revitalisations de 2011 à 2019. Office fédéral de l'environnement, Berne. 20 p.
- OFEV (éd.) (2021b). Effets des changements climatiques sur les eaux suisses. Hydrologie, écologie et gestion des eaux. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 2101 : 134 p.
- OFEV (éd.) (2022a). Eaux suisses. État et mesures. Office fédéral de l'environnement, Berne. État de l'environnement n° 2207 : 93 p.
- OFEV (éd.) (2022b). Liste rouge des poissons et des cyclostomes. Espèces menacées en Suisse. Office fédéral de l'environnement (OFEV) ; info fauna (CSCF). Édition actualisée 2022. L'environnement pratique n° 2217 : 39 p.

OFEV (éd.) (2022c). Biodiversité et qualité du paysage en milieu urbain. Recommandations pour des dispositions types à l'intention des cantons et des communes. Office fédéral de l'environnement, Berne. 60 p.

OFEV (éd.) (2023a). Biodiversité en Suisse – Etat et évolution. Office fédéral de l'environnement, Berne. 98 p.

OFEV (éd.) (2023b). Espèces et milieux menacés en Suisse - Synthèse des listes rouges. Office fédéral de l'environnement, Berne et Centre suisse d'informations sur les espèces, InfoSpecies. 58 pp.

OFEV (éd.) (2023c). Manuel sur les conventions-programmes 2025-2028 dans le domaine de l'environnement. Communication de l'OFEV en tant qu'autorité d'exécution. L'environnement pratique. Office fédéral de l'environnement, Berne. 256 p.

OFEV (2023d). Le castor - créateur d'habitats naturels et dynamiques. Fiche d'information sur le manuel Conventions-programmes dans le domaine de l'environnement, Période 2025-2028. 6 p.

OFEV et OFAG (2016). Objectifs environnementaux pour l'agriculture. Rapport d'état 2016. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n°1633: 116 p.

Orazi, V., Hagge, J., Gossner, M.M., Müller, J., Heurich, M. (2022). A Biodiversity Boost From the Eurasian Beaver (*Castor fiber*) in Germany's Oldest National Park. *Front. Ecol. Evol.*, 13.
<https://doi.org/10.3389/fevo.2022.873307>

Ordonnance sur la chasse et la protection des mammifères et oiseaux sauvages (Ordonnance sur la chasse, OChP, RS 922.01)

Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201).

Pellet, J. (2021). Projekt pilote dans les forêts cantonales du Jorat. Rapport interne, bureau n+p.

Pollock, M.M., Lewallen, G.M., Woodruff, K., Jordan C.E. and J.M. Castro (Eds.) (2023). *The Beaver Restoration Guidebook: Working with Beaver to Restore Streams, Wetlands, and Floodplains*. Version 2.02. United States Fish and Wildlife Service, Portland, Oregon. 189 pp.

Puttock A., Graham H. A., Cunliffe A. M., Elliott M., Brazier R. E. (2017). Eurasian beaver activity increases water storage, attenuates flow and mitigates diffuse pollution from intensively-managed grasslands. *Science of The Total Environment*. Vol. 576. Pages 430-443.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.122>

Rahm U. & Bättig M. (1996). Le castor en Suisse, recensement, menaces, protection. Cahier de l'environnement n°249. OFEFP. 68 p.

Rosell, F., Bozser, O., Collen, P., & Parker, H. (2005). Ecological impact of beavers *Castor fiber* and *Castor canadensis* and their ability to modify ecosystems. *Mammal review*, 35(3-4), 248-276.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2005.00067.x>

Rosell, F. & Campbell-Palmer, R. (2022). *Beavers Ecology, Behaviour, Conservation, and Management*. Oxford University Press. 454 pp.
<http://dx.doi.org/10.1093/oso/9780198835042.001.0001>

Rutishauser, E., Heussler, F., Petitpierre, B., Künzle, I., Lischer, C., Rey, E., Sartori, L. Gonseth, Y. & Eggenberg, S. (2023). Estimation de la surface nécessaire pour le maintien de la biodiversité suisse. Analyse des surfaces de qualité existantes et des besoins en surface de qualité basés sur les données espèces des centres nationaux. InfoSpecies, en français. Neuchâtel

Ruzich, J., Turnquist, K., Nye, N., Rowe, D. & Larson, W. A. (2019). Isolation by a hydroelectric dam induces minimal impacts on genetic diversity and population structure in six fish species. *Conservation Genetics*, 20, 1421-1436. <https://doi.org/10.1007/s10592-019-01220-1>

Scopelliti, M., Carrus, G., Cini, F., Mastandrea, S., Ferrini, F., Laforteza, F., Agrimi, M. G., Salbitano, F., Sanesi, G. & Semenzato, P. (2012). Biodiversity, Perceived Restorativeness and Benefits of

Nature: A Study on the Psychological Processes and Outcomes of On-Site Experiences in Urban and Peri-Urban Green Areas in Italy. *Landscape und Urban Planning*. 134.

Seibold, S., Gossner, M. M., Simons, N. K., Blüthgen, N., Müller, J., Ambarli, D., Ammer, C., Bauhus, J., Fischer, M., Habel, J. C., Linsenmair, K. E., Nauss, T., Penone, C., Prati, D., Schall, P., Schulze, E.-D., Vogt, J., Wöllauer, S. & Weisser W. W. (2019). Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature*, Vol. 574, 671-673. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1684-3>

Service conseil national castor (2025). www.conseil-castor.ch – Informations sous Gestion.

Sommer R., Ziarnetzky V., Messlinger U., Zahner V. (2018). Der Einfluss des Bibers auf die Artenvielfalt semiaquatischer Lebensräume - Sachstand und Metaanalyse für Europa und Nordamerika. *Naturschutz und Landschaftsplanung*. Ausgabe 3/2019.

Stocker G. (1985). Biber (*Castor fiber*) in der Schweiz. Probleme der Wiedereinbürgerung aus biologischer und ökologischer Sicht. *Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf*. 149 p.

Taylor, B. R., Macinnis, C. & Floyd, T. A. (2010). Influence of rainfall and beaver dams on upstream movement of spawning Atlantic salmon in a restored brook in Nova Scotia, Canada. *River Research and Applications*, 26, 183-193. <https://doi.org/10.1002/rra.1252>

Taylor, M. K. & Cooke, S. J. (2012). Meta-analyses of the effects of river flow on fish movement and activity. *Environmental Reviews*, 20, 211-219. <https://doi.org/10.1139/a2012-009>

Tedford, R. H. & Harrington, C. R. (2003). An Arctic mammal fauna from the Early Pliocene of North America. *Nature* 425, 388–390. <https://doi.org/10.1038/nature01892>

Vonlanthen, P., Périat, G., Kreienbühl, T., Schlunke, D., Morillas, N., Grandmottet, J.-P. & Degiorgi, F. (2018). IAM – Eine Methode zur Bewertung der Habitatsvielfalt und -attraktivität von Fliessgewässerabschnitten. «Wasser Energie Luft» - 110. Jahrgang, Heft 3, 201-207.

Wheaton J.M., Bennett S.N., Bouwes, N., Maestas J.D. and Shahverdian S.M. (Eds.) (2019). *Low-Tech Process- Based Restoration of Riverscapes: Design Manual*. Version 1.0. Utah State University Restoration Consortium. Logan, UT. <http://lowtechpbr.restoration.usu.edu/manual>

White, S. M., & Rahel, F. J. (2008). Complementation of habitats for Bonneville cutthroat trout in watersheds influenced by beavers, livestock, and drought. *Transactions of the American Fisheries Society*, 137(3), 881-894. <https://doi.org/10.1577/T06-207.1>

Wolf, J. M., Clancy, N. G., & Rosenthal, L. R. (2022). Bull Trout passage at beaver dams in two Montana streams. *bioRxiv*, 202209 <https://doi.org/10.1101/2022.09.10.507435>

Werdenberg, N., Widmer, A. & Honegger, P. (2023). Konzept Schwammland - Naturbasierte Lösungen für Klimaschutz, Klimaanpassung, Wasserressourcenmanagement und Biodiversitätsförderung in der Landschaft. *Emch+Berger AG Bern*. 40 S.

Wingfield Twining, C., Shipley, J. R. & Winkler, D. W. (2018). Aquatic insects rich in omega-3 fatty acids drive breeding success in a widespread bird. *Ecology Letters* 21, 1812-1820. <https://doi.org/10.1111/ele.13156>

Woo, M. K., & Waddington, J. M. (1990). Effects of beaver dams on subarctic wetland hydrology. *Arctic*, 223-230. <https://doi.org/10.14430/arctic1615>

Zahner, V., Schmidbauer, M., Schwab, G. & Angst, C. (2022). *Der Biber – Baumeister mit Biss*. Südost Verlag. 191 S.