

2025

Centre de Synthèse sur la Biodiversité

Relier la recherche & la pratique



Promouvoir la biodiversité en restaurant les forêts humides

Guide pour la promotion de la biodiversité Centre de Synthèse sur la Biodiversité (2025)

Éditeur

Centre de Synthèse sur la Biodiversité, Eawag

Direction du projet

Karen Bussmann-Charran, Centre de Synthèse sur la Biodiversité et département Écologie aquatique, Eawag
Christoph Vorburger, Centre de Synthèse sur la Biodiversité et département Écologie aquatique, Eawag

Assistance au projet

Rea Pärli, Centre de Synthèse sur la Biodiversité et unité de recherche Biodiversité et protection de la nature, WSL

Groupe de travail

Christof Angst, info fauna, Service conseil national castor, Irina Bregenzer, info fauna, Stefanie Burger, division Forêts, canton d'Argovie, Christoph Dürr, ingénieur forestier EPF, Frauenfeld, Martin Gossner, groupe Entomologie forestière, unité de recherche Santé des forêts et interactions biotiques, WSL et département Sciences des systèmes environnementaux EPF Zurich, Christian Ginzler, groupe Télédétection, unité de recherche Dynamique du paysage, WSL, Andreas Grünig, comité Pro Natura Argovie, Xaver Jutz, société pluspunkt, Daniel Küry, Life Science AG, Service-conseil milieux fontinaux, Klaus Lanz, international water affairs, Evillard, Brigitte Rohner, groupe Analyse des ressources, unité de recherche Ressources et gestion forestières, WSL, Marianne Rutishauser, Pro Natura Argovie, Pascale Weber, département Forêts, canton de Zurich

Photos de la couverture et des chapitres

[Couverture : Vestige d'un bras mort avec touffes de laïches dans la zone alluviale de Giriz, au sud-ouest de Koblenz \(AG\). Photo : Jan Ryser/OFEV](#)

[Chapitre 1 : Aulnaie noire dans l'Egelmoos près de Niederrohrdorf \(AG\). Photo : Marianne Rutishauser](#)

[Chapitre 2 : Lisière de forêt présentant des dégâts causés par la sécheresse estivale. Photo : Ueli Wasem, WSL](#)

[Chapitre 3 : Bras mort dans la région de « Weerd » près de Kleindöttingen \(AG\). Photo : Jan Ryser/OFEV](#)

[Chapitre 4 : Panneau d'interdiction d'accoster à l'embouchure de la Thur. Photo : Saskja Rosset/Lunax/OFEV](#)

[Chapitre 5 : Visite de la forêt à Köniz avec Moreno Müller, forestier à l'Entreprise Forêts domaniales du canton de Berne. Photo : Caroline Krajcir/Lunax/OFEV](#)

[Chapitre 6 : Panneau indicateur dans la réserve naturelle de Sissacherfluh Chienberg à Sissach \(BL\). Photo : Severin Bigler/Lunax/OFEV](#)

[Quatrième de couverture : Aulnaie noire \(*Alnetum glutinosae elongatae*\) avec laïches allongées \(*Carex elongata*\) en phase de repousse. Photo : Markus Bolliger/OFEV](#)

Remerciements

Nous remercions chaleureusement toutes les personnes qui ont apporté leur contribution au groupe de travail. Nous remercions tout particulièrement Ariel Bergamini, Christoph Bühler, Rolf Holderegger et André Stapfer.

Proposition de citation

Bussmann-Charran, K. ; Vorburger, C. ; Pärli, R. ; Angst, C. ; Bregenzer, I. ; Burger, S. ; Dürr, C. ; Ginzler, C. ; Gossner, M. ; Grünig, A. ; Jutz, X. ; Küry, D. ; Lanz, K. ; Rohner, B. ; Rutishauser, M. ; Weber, P. (2025) : Promouvoir la biodiversité en restaurant les forêts humides. Centre de Synthèse sur la Biodiversité. <http://doi.org/10.55408/eawag:34971>

Le Centre de Synthèse sur la Biodiversité, une Initiatives conjointes bénéficiant du soutien financier du Conseil des EPF, renforce l'échange de connaissances entre la recherche et la pratique dans le domaine de la biodiversité et de la protection de la nature en élaborant au sein de groupes de travail des produits de synthèse axés sur la pratique.

© 2025 Centre de Synthèse sur la Biodiversité, sous licence CC BY 4.0.

Avant-propos

La biodiversité est le fondement de notre vie. Elle nous fournit de la nourriture, de l'air pur et de l'eau potable, régule le climat et maintient la stabilité des écosystèmes. La biodiversité est magnifique et elle nous touche. Mais les interventions humaines, telles que l'utilisation intensive des terres et le changement climatique, menacent la biodiversité. Pour la préserver, nous avons besoin non seulement de plus de personnel, de moyens financiers et de volonté politique, mais aussi de plus de collaboration. Lorsque la science et la pratique partagent leurs connaissances, des solutions innovantes et davantage soutenues voient le jour pour relever les défis de notre époque. Trop souvent, les connaissances et l'expérience pratique restent cloisonnées dans différentes institutions, organisations ou groupes. En jetant des ponts entre les différentes parties prenantes, nous pouvons relever ensemble les défis actuels.

Les forêts humides abritent une biodiversité unique et jouent un rôle important dans la rétention des eaux. Cependant, les forêts humides ont longtemps été drainées et plantées d'essences non indigènes pour l'exploitation sylvicole. Alors que nous subissons de plus en plus rapidement les effets du changement climatique sur la disponibilité de l'eau, les mesures de drainage du paysage ne sont plus d'actualité. Les forêts autrefois humides devraient donc être remises en eaux et, dans la mesure du possible, restaurées dans leur état hydrologique d'origine et renaturées. Cette renaturation offre également l'occasion de favoriser la biodiversité caractéristique des forêts humides. Elle permet ainsi de créer des habitats importants pour des espèces telles que la salamandre tachetée, le grand tétaras ou les sphaignes. Grâce à des mesures appropriées, ces espèces ont une chance de former des populations viables à long terme et d'enrichir nos paysages.

Le **Centre de Synthèse sur la Biodiversité** est une initiative conjointe de l'EPF Zurich, de l'Eawag et du WSL qui se consacre au renforcement de la collaboration entre la science et la pratique. Le présent guide **« Promouvoir la biodiversité en restaurant les forêts humides »** est le résultat d'un processus transdisciplinaire et participatif. Il repose sur l'échange de connaissances et d'expériences entre des expertes et experts de l'administration et de la protection pratique de la nature ainsi que des scientifiques de différentes disciplines. Dans le cadre d'un groupe de travail, le contenu du rapport a été défini, discuté et élaboré au cours de plusieurs ateliers. La recherche et la synthèse des résultats collectés ont été effectuées par le Centre de Synthèse et leur applicabilité pratique a été vérifiée en collaboration avec le groupe de travail. Le résultat est un produit qui tient compte à la fois de l'état actuel des connaissances scientifiques et de nombreuses années d'expérience pratique. Le guide offre un soutien aux professionnelles et professionnels qui planifient et mettent en œuvre des projets de restauration des forêts humides.

Rolf Holderegger

Rolf Holderegger

Directeur de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL)
Responsable du Centre de Synthèse sur la Biodiversité

Résumé

Les forêts humides sont des milieux uniques qui abritent des biocénoses particulières dignes de protection. La Suisse compte au total 21 associations végétales de forêts humides, marécageuses et alluviales. Au cours des derniers siècles, ces forêts ont toutefois été en grande partie modifiées ou défrichées au profit de l'exploitation sylvicole et agricole. Dans le cadre de sa Stratégie Biodiversité, la Suisse s'efforce d'inverser la tendance à la perte de milieux et d'espèces dans les forêts humides par leur préservation, revalorisation et restauration. Le présent guide résume les bases scientifiques de la restauration des forêts humides ainsi que les connaissances pratiques acquises. Il contient les principaux arguments en faveur de la remise en eau des forêts, une synthèse des connaissances sur les stations caractéristiques, les associations forestières et les espèces des différentes forêts humides, ainsi que les mesures possibles pour les restaurer et les promouvoir. Des cas concrets de Suisse donnent un aperçu de la mise en œuvre sur le terrain. Les aspects juridiques, administratifs et de planification sont également abordés. Les résumés suivants donnent un aperçu des principaux contenus de ce guide.

L'utilité des forêts humides : La restauration des forêts humides présente d'autres avantages que la seule conservation de la biodiversité. En cette période de changement climatique, le relèvement du niveau des nappes phréatiques à un niveau naturel augmente la résilience des forêts et de leurs alentours face à la sécheresse. Il contribue également à la rétention des eaux et à la protection contre les inondations. Les forêts humides présentent aussi une température du sol plus basse, ce qui crée un microclimat plus frais. Cela a un effet positif sur les espèces vivant à l'intérieur de la forêt et peut entraîner une baisse des températures dans les zones résidentielles voisines pendant les mois chauds de l'été. À plus long terme, les forêts humides contribuent également à atténuer le changement climatique grâce à un stockage accru des gaz à effet de serre dans le sol et la végétation. En tant que filtres biologiques, les forêts humides améliorent la qualité des eaux souterraines et de surface. De plus, les forêts humides sont également attrayantes pour les activités de loisirs et jouent ainsi un rôle important pour le bien-être humain. Malgré les nombreux avantages des forêts humides, la restauration de ces milieux peut également donner lieu à des conflits d'objectifs (p. ex. rentabilité de la forêt, moustiques), qui nécessitent une réflexion approfondie et une planification minutieuse.

Sites concernés : Afin de promouvoir les milieux précieux que sont les forêts humides, il est important de prendre des mesures pour rétablir le régime hydrologique, régénérer les associations forestières et les entretenir. Pour cela, il faut d'abord identifier les sites appropriés. Les forêts humides se trouvaient principalement dans les cuvettes gorgées d'eau, le long des berges de ruisseaux, à proximité des marais, dans les anciennes zones inondables des rivières et des lacs, ainsi qu'à proximité de sources. Les lieux-dits indiqués sur les cartes fournissent souvent des informations précieuses sur ces sites. Lors de la planification et de la mise en œuvre des mesures de restauration, il convient de tenir compte de la situation initiale des stations forestières concernées.

Mesures : Les mesures d'aménagement visant à rétablir le régime hydrique dans les forêts autrefois humides comprennent la suppression des structures de drainage (remblayage ou endiguement des fossés, enlèvement des tuyaux/draines), la renaturation des ruisseaux et des rivières ou la suppression des captages de sources et des canalisations souterraines. Lorsque ces mesures ne permettent pas la formation spontanée de petits plans d'eau, ceux-ci peuvent être créés afin de favoriser davantage la biodiversité. Les interventions sylvicoles comprennent l'élimination des essences non indigènes, l'introduction d'essences typiques à la station et l'élimination des néophytes. Les mesures d'entretien des associations forestières après la restauration comprennent le contrôle du fonctionnement des mesures de rétablissement du régime hydrique, la prévention de la colonisation par une végétation indésirable (néophytes, embranchement des zones marécageuses) et des mesures visant à canaliser les activités humaines. Le déroulement et le succès d'un projet dépendent de la situation initiale du site, des mesures prises, mais aussi de facteurs externes tels que le changement climatique. Dans de bonnes conditions, les forêts asséchées peuvent être restaurées en quelques décennies.

Castors : Lorsque les cours d'eau forestiers sont colonisés par le castor, des milieux forestiers humides se développent d'eux-mêmes, jusqu'à la disparition du peuplement forestier fermé. Son activité de construction retient l'eau et transforme les écosystèmes en hauts lieux de biodiversité. Il constitue ainsi une aide peu coûteuse pour atteindre les objectifs de la Stratégie Biodiversité Suisse. Depuis 2025, les habitats des castors en forêt peuvent être classés comme réserves forestières dans le cadre des conventions-programmes dans le domaine de l'environnement, et peuvent ainsi bénéficier d'aides financières de la Confédération.

Contrôle des résultats : Les projets de restauration des forêts humides devraient être accompagnés d'un contrôle des résultats afin d'en vérifier l'efficacité. Les projets définis dans les conventions d'objectifs dans le domaine de la promotion de la biodiversité entre la Confédération et les cantons doivent faire l'objet d'une analyse d'impact selon une méthodologie prescrite.

Ressources : Le présent document contient également un aperçu des bases juridiques et administratives, ainsi qu'une présentation du déroulement possible d'un projet du point de vue cantonal et du point de vue de la mise en œuvre. La liste des ressources à la fin du document permet d'approfondir les thèmes traités et donne un aperçu des institutions et des points de contact pertinents, surtout en Suisse.

Contenu

Avant-propos	3
Résumé	4
1. Principes fondamentaux de la restauration des forêts humides en Suisse	8
2. Arguments en faveur de la restauration des forêts humides	10
2.1. Résilience à la sécheresse	10
2.2. Rétention des eaux et protection contre les crues	11
2.3. Température du sol et microclimat	11
2.4. Stockage des gaz à effet de serre	12
2.5. Qualité de l'eau	12
2.6. Valeur récréative	12
2.7. Conflits potentiels	13
3. Restauration des forêts humides	14
3.1. Biodiversité des forêts humides	15
3.2. Détermination de la superficie	16
Remise en état de milieux étendus	16
Cartographie des structures de drainage	17
Surfaces destinées à la renaturation de zones alluviales et de sources	18
Préservation des surfaces	18
Encadré 1 : Définition des réserves forestières tirée du « Manuel sur les conventions-programmes 2025-2028 dans le domaine de l'environnement » [91] :	18
3.3. Détermination des espèces cibles pour les projets de restauration des forêts humides	19
3.4. Restauration des différentes forêts humides	19
Définition des forêts et des associations forestières humides	19
Situations possibles	25
Mesures de restauration et d'entretien possibles	25
Déroulement prévisible du projet	29
Formes d'utilisation possibles	30
Exemple concret : l'étang forestier Vogelmoos dans la réserve forestière spéciale de Neudorf	31
3.5. Restauration des forêts marécageuses	32
Marais et forêts marécageuses	33
Situations possibles	35
Mesures de restauration et d'entretien possibles	35
Déroulement prévisible du projet	40
Formes d'utilisation possibles	41
Exemple concret : remise en eau de l'Egelmoos	42
3.6. Restauration des forêts alluviales	43
Définition des forêts alluviales et de leurs associations forestières	43
Situations possibles	48
Mesures de restauration et d'entretien possibles	48
Encadré 2 : Espèce porteuse d'espoir pour les forêts alluviales : l'orme lisse (Ulmus laevis Pallas)	50
Déroulement prévisible du projet	54
Formes d'utilisation possibles	55
Exemple concret : réactivation du bras mort du Wuer (ancienne forêt alluviale)	56

3.7. Restauration des milieux fontinaux	57
Définition des milieux fontinaux	57
Situations possibles	58
Mesures de restauration et d'entretien possibles	59
Déroulement prévisible du projet	62
Formes d'utilisation possibles	62
Encadré 3 : Définition d'un îlot de sénescence tirée du « Manuel sur les conventions-programmes 2025-2028 dans le domaine de l'environnement » [91] :	63
Exemple concret : renaturation des captages Sorgenti Veroniche, Minusio	63
3.8. Petits plans d'eau et autres structures d'habitat comme mesure complémentaire	65
Petits plans d'eau en forêt	65
Mesures possibles pour la création de petits plans d'eau	66
Autres structures d'habitat	68
Exemple concret : les mares forestières lausannoises	73
3.9. Remise en eau des forêts par les castors	74
Le castor en Suisse	74
Encadré 4 : Inspiré du castor - Beaver Dam Analogs	76
Effets attendus du castor dans la forêt	77
Mesures possibles pour la gestion des castors	78
Exemple concret : territoire de castors dans la forêt près de Herzogenbuchsee	79
3.10. Contrôles des résultats	80
Évaluation des effets par les cantons	82
4. Bases juridiques et administratives	83
Ancrage des objectifs nationaux dans les cantons	84
Mise en œuvre des mesures	85
5. Déroulement possible du projet	86
5.1. Déroulement des projets cantonaux	86
5.2. Déroulement des projets non cantonaux	87
5.3. Intégration des nouveaux écosystèmes formés sur les surfaces drainées	89
6. Liste des interlocuteur/trices institutionnel/les	91
6.1. Autorités et services compétents	91
6.2. Instituts scientifiques	93
6.3. Autres institutions et plateformes pertinentes	96
Liste des sources de données sur les thèmes de la forêt, de l'eau et de la biodiversité	99
Annexe : A1 Liste des espèces forestières cibles pour les associations forestières humides	101
7. Bibliographie	112



1. Principes fondamentaux de la restauration des forêts humides en Suisse

Dans l'aide à l'exécution de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) pour la promotion de la biodiversité dans les forêts suisses, « Biodiversité en forêt : objectifs et mesures », 121 associations forestières sont distinguées, dont 21 se caractérisent par des sols humides. Huit d'entre elles appartiennent aux forêts alluviales, trois aux forêts de hauts-marais et dix sont d'autres forêts humides [1]. Ces associations forestières se caractérisent par des biocénoses spécifiques, dont certaines ne se trouvent nulle part ailleurs en Suisse. De nombreuses forêts ont été drainées depuis le XVII^e siècle, mais surtout aux XIX^e et XX^e siècles. De plus, les sols tourbeux ont été exploités, les sources ont été captées, les ruisseaux ont été déplacés et les rivières ont été endiguées afin de rendre les terres cultivables. En forêt, le drainage visait à augmenter la production de bois et à faciliter la sylviculture. Ces mesures ont entraîné une diminution drastique des milieux et des biocénoses particulières des forêts humides. On estime qu'environ 95 % de la superficie initiale des forêts humides a disparu [1]. La Stratégie Biodiversité Suisse [2] prévoit d'inverser cette perte de milieux et d'espèces par la conservation, la valorisation et la restauration ciblées des milieux importants. Le domaine de mesures 3.4 de l'aide à l'exécution de l'OFEV « Biodiversité en forêt : objectifs et mesures » vise notamment à préserver et à restaurer les forêts humides [1]. Plusieurs cantons et communes déploient déjà des efforts considérables dans ce sens. Afin de soutenir ces efforts, le présent guide rassemble des informations scientifiques et des connaissances pratiques issues de la restauration de forêts humides, en mettant l'accent sur la promotion de la biodiversité. L'objectif est de fournir une aide détaillée pour la mise en œuvre de tels projets.

Outre les avantages pour la biodiversité, la restauration des forêts humides peut également avoir de nombreux autres effets positifs. À l'aune du changement climatique, la restauration de conditions humides peut contribuer à atténuer le stress hydrique, la surchauffe ou les inondations lors de fortes précipitations, ainsi qu'à stocker les gaz à effet de serre. Grâce à l'attrait élevé de nombreux milieux forestiers humides et des éléments paysagers qui les accompagnent, les projets de renaturation de ces forêts permettent également de créer des espaces de loisirs variés pour la population. Mais la restauration des zones humides en forêt comporte également un risque de conflit. Lors de la planification des projets, il faut par exemple tenir compte de la baisse des rendements forestiers, de la difficulté accrue de l'exploitation ou de la multiplication possible des moustiques. Ces aspects et d'autres liés à la restauration des forêts humides sont également abordés dans le présent guide. L'argumentaire qui en a été tiré peut être utilisé pour faciliter la communication avec les propriétaires forestiers et la population.

Ce guide a été élaboré dans le cadre d'un groupe de travail composé de scientifiques des domaines de la forêt, de la biodiversité, de l'écologie aquatique, de l'hydrologie et de la télédétection, ainsi que de représentantes et représentants des cantons, d'organisations de protection de la nature et de bureaux environnementaux [3]. Il en résulte une compilation d'informations de base provenant de sources scientifiques (liste non exhaustive [3]) ainsi qu'un aperçu des mesures pratiques éprouvées pour la restauration des forêts humides qui présentent le plus grand bénéfice possible pour la biodiversité. Le contrôle des résultats est également abordé. En outre, ce guide contient une liste de ressources permettant d'approfondir le sujet. Il s'adresse principalement aux personnes issues de l'administration et aux organisations qui planifient et mettent en œuvre des projets de restauration des forêts humides.



2. Arguments en faveur de la restauration des forêts humides

Ce guide se concentre sur les projets de renaturation de surfaces forestières autrefois humides dans le but de promouvoir la biodiversité. Pour simplifier, nous utilisons également le terme de renaturation pour désigner des mesures qui, dans le domaine de l'aménagement des cours d'eau, seraient plutôt qualifiées de revitalisation. Outre leur fonction d'habitat pour des biocénoses caractéristiques, les sols forestiers humides offrent d'autres avantages qui peuvent servir d'arguments en faveur de la mise en œuvre de tels projets. Ces arguments sont examinés dans le présent chapitre, avant que le guide ne se concentre sur son thème principal, la biodiversité.

2.1. Résilience à la sécheresse

Le changement climatique entraîne une sécheresse croissante et des périodes de sécheresse plus longues [4]. Pour préserver de nombreuses forêts, il faut donc trouver des stratégies leur permettant de résister aux périodes de sécheresse [5]. Outre la promotion d'essences adaptées au climat, une mesure consiste à relever le niveau de la nappe phréatique là où il a été abaissé par des mesures de drainage. La résilience des arbres à la sécheresse du sol dépend fortement de la profondeur à laquelle ils puisent l'eau : les arbres dont les racines absorbent l'eau des couches superficielles du sol (en particulier l'épicéa *Picea abies*, le hêtre *Fagus sylvatica* et le charme *Carpinus betulus*) supportent moins bien les sécheresses comme celle de 2018 que ceux dont les racines puisent l'eau dans les couches plus profondes du sol [6]–[8]. L'épicéa, par exemple, est donc beaucoup plus vulnérable aux effets du changement climatique que d'autres essences [9], [10]. Une élévation

de la nappe phréatique peut aider ces arbres à racines superficielles à survivre aux périodes de sécheresse, car l'humidité générale du sol augmente [11]–[13]. Le type de sol joue également un rôle : une proportion plus élevée de gravier ou d'argile, par exemple, peut réduire la disponibilité en eau dans le sol [14]. La détermination du potentiel de réhumidification (voir chapitre 3.1.) aide à évaluer où les principaux effets des mesures de restauration des forêts humides sont attendus.

2.2. Rétention des eaux et protection contre les crues

Le changement climatique entraîne non seulement une sécheresse croissante, mais également des précipitations extrêmes plus fréquentes [15]–[17]. Les sols qui s'assèchent pendant les périodes de sécheresse ne peuvent absorber que difficilement, voire pas du tout, les quantités de pluie de ces événements extrêmes, ce qui augmente le risque d'inondation. Le drainage du paysage a contribué à réduire la capacité de stockage d'eau des sols et à diminuer la recharge des nappes phréatiques. Les sols humides retiennent davantage d'eau et peuvent servir plus efficacement de tampon en cas de fortes précipitations, ce qui réduit le risque d'inondation (mot-clé : paysage éponge, [18]). Les forêts peuvent généralement réduire les inondations, car leurs sols profonds, riches en racines absorbent l'eau lors de fortes précipitations [19]–[21]. Les précipitations atteignent ainsi les eaux de surface plus lentement et plus tardivement que si elles s'écoulaient directement [22]. Les sols forestiers à forte capacité d'infiltration absorbent plus d'eau que les sols imperméables et compactés [23]. À l'inverse, le drainage des sols fortement saturés en eau peut également atténuer les inondations, car l'abaissement du niveau de la nappe phréatique peut réduire les apports dans les eaux de surface [24], [25]. Toutefois, de telles conditions de sol sont devenues rares en cette période de sécheresse croissante. Il est donc important de prendre en compte les conditions hydriques locales lors de la planification de projets visant à modifier ou à supprimer les drainages existants.

Les milieux humides telles que les marais et les zones alluviales jouent un rôle particulier dans la rétention des eaux et la protection contre les crues. Les marais agissent comme des tampons sur l'écoulement des précipitations [26]. Cette fonction est affaiblie par le drainage, mais peut être restaurée par la renaturation des marais [26]–[28]. Les forêts alluviales sont également importantes pour la protection contre les crues, car elles offrent des surfaces sur lesquelles les eaux de surface peuvent s'étendre en cas de crue, ce qui atténue les pics de crue [23], [29], [30]. Cette fonction est encore renforcée lorsque la forêt alluviale est riche en structures et contient une forte proportion de bois mort et de vieux arbres. Cela permet d'intercepter une plus grande partie des précipitations et de les évaporer avant qu'elles ne pénètrent dans le sol [23], [30]–[32]. De plus, les cours d'eau dans les forêts alluviales proches de l'état naturel sont plus complexes sur le plan géomorphologique, ce qui contribue à la rétention des crues [31].

2.3. Température du sol et microclimat

Les forêts ont un effet tampon sur le microclimat : Les températures extrêmes sont moins prononcées dans la forêt que dans les espaces ouverts [33]. L'effet tampon est généré par l'évaporation de l'eau du sol et des arbres, et est d'autant plus important que le sol forestier est humide [34]–[36]. Les forêts dont le sol est très sec ne remplissent pas cette fonction tampon. Plus le niveau de la nappe phréatique est élevé, plus l'humidité du sol est importante et plus la température du sol est basse [37]. Par conséquent, il est judicieux, pour des raisons microclimatiques, de relever le niveau de la nappe phréatique en comblant les fossés de drainage.

Afin de préserver l'humidité du sol à l'intérieur de la forêt, il est également important de créer des lisières denses et riches en structures qui protègent l'intérieur de la forêt de l'évaporation [38], [39].

Un microclimat plus frais contribue également à la fonction récréative des forêts pour les humains [40]. L'effet rafraîchissant des forêts se transmet également aux zones résidentielles voisines par le vent et les échanges d'air, de sorte qu'il y est également perceptible [41]. La biodiversité et les humains bénéficient donc de forêts plus fraîches pendant les mois chauds de l'été.

2.4. Stockage des gaz à effet de serre

Le stockage des gaz à effet de serre a lieu principalement dans les sols organiques, en particulier les sols à forte teneur en tourbe tels que les sols marécageux [32], [42], [43]. Le drainage des sols tourbeux entraîne leur décomposition oxydative et l'émission de gaz à effet de serre (principalement du CO₂). Pour éviter cela, il est particulièrement important de préserver les sols humides. Les fossés de drainage eux-mêmes constituent aussi des sources de gaz à effet de serre [44], [45]. Une remontée du niveau d'eau dans les sols organiques drainés entraîne à court terme l'émission de méthane (un autre gaz à effet de serre), mais à long terme, il en résulte un puits de gaz à effet de serre [46]–[48]. Cet effet prend du temps, souvent plus de 10 ans, mais il se produit de manière fiable [47], [49], [50]. D'autre part, certaines études montrent que la croissance accrue des arbres sur les sols drainés entraîne une fixation plus importante de carbone [51]–[53]. La mort d'essences non adaptées lors de la restauration des forêts humides peut également entraîner une libération de carbone à court terme. Cependant, cela est compensé à long terme par la croissance d'essences adaptées et par l'augmentation du stockage du carbone, en particulier dans les sols organiques humides [32].

Contrairement aux forêts humides sur sols organiques, les sols des forêts alluviales ne sont pas nécessairement des puits de gaz à effet de serre plus importants que les sols d'autres forêts (non humides) [54], [55]. Les forêts alluviales sont toutefois particulièrement riches en espèces [56]–[58]. Les forêts riches en espèces et proches de l'état naturel fixent plus de carbone que les forêts pauvres en espèces [59], [60]. Cet effet s'explique en partie par la plus grande production de biomasse stockant le carbone en raison d'une grande diversité d'arbres et d'autres plantes. Souvent, les éléments favorisant la biodiversité (bois mort, vieux arbres, etc.) sont également les éléments forestiers ayant la plus grande teneur en carbone [61]. Les forêts riches en espèces et proches de l'état naturel sont aussi plus résistantes et plus résilientes aux perturbations. Du point de vue du stockage du carbone, la restauration de milieux forestiers humides à haute valeur pour la biodiversité est donc avantageuse même si les sols ne sont pas organiques.

2.5. Qualité de l'eau

Les sols forestiers agissent comme des filtres biologiques et améliorent la qualité des eaux souterraines. Les fossés de drainage, en revanche, entraînent une augmentation des teneurs en carbone organique dissous, en nitrates et en phosphore, ainsi qu'une plus forte turbidité des eaux dans les cours d'eau où ils se déversent. Ils peuvent ainsi contribuer à l'eutrophisation des eaux de surface [62]–[66]. En général, les zones humides ont un effet positif sur la qualité des eaux souterraines et de surface, car elles retiennent les nutriments tels que l'azote et le phosphore. L'effet sur les eaux souterraines est environ deux fois plus important que celui sur les eaux de surface. Les sols organiques et minéraux ont des effets comparables. Les zones tampons boisées des marais sont particulièrement efficaces pour retenir les nutriments, car leur enracinement profond favorise le transport des nutriments vers les couches profondes du sol et la croissance des arbres extrait de grandes quantités d'azote du sol [67], [68].

2.6. Valeur récréative

Selon les résultats de la troisième enquête nationale « Monitoring socioculturel de la forêt en Suisse » réalisée en 2020 (WaMos 3, [69]), les Suissesses et les Suisses se rendent de plus en plus souvent en forêt pour se détendre. Les grandes forêts avec une forte proportion d'arbres feuillus, qui ne sont pas trop denses et présentent différentes hauteurs de croissance, sont particulièrement appréciées [41], [70], [71]. Les surfaces forestières avec une alternance de structures de peuplement sont considérées comme plus attrayantes que les peuplements uniformes dominés par une seule espèce [70], [72]. La présence de zones humides, de rivières ou de lacs dans les forêts contribue également à leur attractivité [69], [71], [73], [74]. La restauration des milieux forestiers humides peut donc augmenter la valeur récréative d'une surface forestière en ajoutant de la diversité structurelle, en créant des éléments paysagers attrayants et en réduisant la densité des arbres.

L'effet rafraîchissant sur le microclimat contribue également à la valeur récréative (chapitre 2.3.) et joue un rôle important pour les humains, en particulier en période de hausse des températures et de vagues de chaleur plus fréquentes [40], [69].

2.7. Conflits potentiels

Rentabilité : Malgré les nombreux avantages des forêts humides, leur restauration peut également être source de conflits. La rentabilité pose souvent problème, car les forêts humides peuvent être moins productives et l'utilisation de machines lourdes est difficile sur des sols très humides. Des conflits d'intérêts apparaissent donc avec les propriétaires forestiers dans le cas des forêts exploitées à des fins sylvicoles [63], [75]. Des conventions d'utilisation et/ou des indemnités compensatoires peuvent représenter des incitations.

Fonction protectrice des forêts : La remise en eau des pentes d'une certaine inclinaison (par exemple le long des berges escarpées de ruisseaux ou dans les zones de sources) peut les rendre moins stables et donc plus vulnérables aux glissements de terrain, ce qui peut être source de conflit. En Suisse, de nombreuses forêts ont une fonction protectrice [76], [77]. Cette importante fonction des forêts peut donc entrer en conflit avec une revalorisation écologique par la remise en eau. Mais il peut également y avoir des synergies entre la fonction protectrice des forêts et l'influence de cette dernière sur le régime hydrique (p. ex. dans le cas de forêts de protection des cours d'eau) qui devraient être mieux exploitées [78]. Lors de projets de remise en eau sur des terrains en pente (à l'intérieur ou à l'extérieur des forêts protectrices), une collaboration étroite entre les responsables de la sylviculture et de l'aménagement des cours d'eau est nécessaire.

Conflits d'objectifs au niveau des milieux et des espèces : Dans certains cas, des milieux et des biocénoses précieuses se sont développés sur des surfaces forestières drainées et une remise en eau les ferait disparaître (ce sont les dilemmes de la renaturation, [79], [80]). Si la restauration des forêts humides entraîne un éclaircissement important du peuplement, cela peut susciter l'incompréhension de la population. Dans chaque cas, il convient de comparer la valeur écologique des milieux existants avec la valeur écologique potentielle des milieux humides restaurés.

Les surfaces pionnières, qui résultent souvent de la remise en eau, sont sensibles à la colonisation par des espèces végétales envahissantes. De telles surfaces doivent donc être surveillées et nécessitent un effort initial pour éliminer les espèces envahissantes. Cet effort diminue lorsqu'un nouvel équilibre s'installe.

Les castors sont des alliés précieux dans la remise en eau des forêts (voir chap. 3.9). Leur activité peut localement entraîner le dépérissement de peuplements d'arbres. Ce processus est naturel, mais il peut affecter d'autres intérêts liés à la forêt.

Moustiques : Les forêts humides peuvent favoriser l'apparition de moustiques, ce qui, naturellement, n'est guère apprécié par la population locale. Ce conflit potentiel pourrait s'aggraver avec la présence croissante de moustiques envahissants tels que le moustique tigre ou *Aedes japonicus*, car ceux-ci peuvent transmettre des maladies. Jusqu'à présent, les moustiques tigres ne se trouvent que dans les zones urbaines, mais *Aedes japonicus* se reproduit également dans les forêts.

Pour faire face aux conflits mentionnés ci-dessus, il est essentiel que la population comprenne et accepte la restauration des forêts humides. Un accompagnement et une sensibilisation sont souvent nécessaires pour éviter les conflits. Des exemples réussis peuvent contribuer à l'acceptation de projets similaires. Les chapitres suivants abordent également les conflits potentiels et illustrent, à l'aide d'exemples concrets, la manière dont ceux-ci peuvent être gérés.



3. Restauration des forêts humides

Ce guide présente ci-après la biodiversité des forêts humides, les bases techniques de la remise en eau (chapitre 3.2 Détermination de la superficie, chapitre 3.3 Détermination des espèces cibles pour les projets de restauration des forêts humides) et les milieux pouvant être restaurés par la remise en eau.

Les 21 associations forestières humides de Suisse peuvent être divisées en trois grandes catégories. Dix d'entre elles sont des forêts humides caractérisées par une nappe phréatique proche de la surface. Elles sont abordées au chapitre 3.4 Restauration des différentes forêts humides. Les forêts de hauts-marais (trois associations forestières) sont alimentées par l'eau de pluie et sont abordées au chapitre 3.5 Restauration des forêts marécageuses. Ce chapitre décrit également certains aspects de la restauration des bas-marais et des forêts qui leur sont associées. Les huit associations forestières qui ne se trouvent que dans les forêts alluviales influencées par une dynamique d'écoulement naturelle sont abordées au chapitre 3.6 Restauration des forêts alluviales. Les sources abritent des biocénoses particulières, avec un nombre supérieur à la moyenne d'espèces rares et menacées. Les particularités de la restauration des milieux fontinaux sont traitées au chapitre 3.7 Restauration des milieux fontinaux. Chaque chapitre aborde les mesures possibles pour restaurer ces milieux et favoriser leurs espèces cibles particulières, le déroulement possible du projet, ainsi que les formes d'utilisation et d'entretien possibles. Des chapitres distincts sont consacrés à la création de petits plans d'eau et d'autres structures d'habitat comme mesure complémentaire pour favoriser la biodiversité (chapitre 3.8), au rôle du castor dans la restauration des forêts humides (chapitre 3.9 Remise en eau des forêts par le castor), ainsi qu'à l'importance et à la méthodologie des contrôles des résultats (chapitre 3.10).

3.1. Biodiversité des forêts humides

Pour préserver l'ensemble de la biodiversité des forêts, il est essentiel de protéger les milieux particuliers et de leur laisser de l'espace. Les forêts humides font partie de ces milieux et sites particuliers [1]. En raison de leurs conditions souvent extrêmes et uniques, ces milieux abritent des espèces spécifiques. Leur conservation apporte donc une contribution supérieure à la moyenne dans la préservation de la biodiversité [81]. Les associations forestières humides sont menacées à l'échelle mondiale, européenne et suisse en raison de la grande perte de surfaces due au drainage, à la restriction de la dynamique des cours d'eau, à l'abaissement des nappes phréatiques et au changement climatique. Cependant, la société est de plus en plus consciente de l'importance de ces milieux. Cela se traduit par l'inscription de la restauration des forêts humides dans la Stratégie Biodiversité Suisse [1], [2].

La biodiversité des forêts humides bénéficie particulièrement de la diversité des microhabitats terrestres et aquatiques [32], [82]. Ces deux composantes sont étroitement liées, de sorte que l'on parle également de biodiversité bleu-vert, qui doit être considérée et protégée comme une entité unique [83]. La vie au bord de l'eau a entraîné des adaptations fascinantes chez les espèces qui y vivent. Parmi les essences des forêts humides, on observe de nombreuses adaptations des systèmes racinaires qui permettent la croissance et la survie (par exemple, les racines respiratoires de l'aulne glutineux, les racines à contreforts de l'orme lisse, les racines adventives du pin de montagne). Les espèces caractéristiques telles que les droséras, la salamandre tachetée, le sonneur à ventre jaune ou la bécasse des bois, mais aussi les espèces moins spectaculaires comme les sphaignes, la musaraigne aquatique ou l'anthaxie mutilée font partie de la nature suisse et méritent d'être préservés.



Figure 1

Espèces caractéristiques des forêts humides pouvant bénéficier d'une remise en eau. (a) Sphaigne (*Sphagnum* sp.) Photo : Christoph Vorburger, Eawag, (b) Sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*) Photo : Thomas Reich, WSL, (c) Salamandre tachetée (*Salamandra atra*) Photo : Thomas Reich, WSL, (d) Petit mars changeant (*Apatura ilia*) Photo : Beat Wermelinger, WSL

La restauration des forêts humides crée davantage d'habitats pour les espèces qui aiment l'humidité, ce qui leur offre de meilleures chances de dispersion. Il ne suffit pas toujours de remédier aux causes du drainage pour restaurer les milieux. Parfois, d'autres interventions et/ou mesures d'entretien sont nécessaires.

3.2. Détermination de la superficie

Remise en état de milieux étendus

Si un milieu humide a été asséché artificiellement par des mesures de drainage, il est toujours possible de revenir en arrière. La détermination des surfaces appropriées est la première étape de tout projet de restauration de milieux forestiers initialement humides. Dans une étude sur le potentiel de remise en eau des forêts, le canton d'Argovie a élaboré des critères pour déterminer les surfaces appropriées (à l'exception des milieux fontinaux) [84]. Ces critères sont les suivants :

- **Aptitude du relief :**

L'aptitude du relief est déterminée par la pente d'un site et indique dans quelle mesure l'eau peut s'accumuler. Les surfaces planes sont plus appropriées que les pentes où l'eau s'écoule plus rapidement. La pente permet aussi de tirer des conclusions sur la déclivité maximale des fossés, ce qui influence l'étendue de surface touchée par les mesures de retenue. Quatre classes de pente sont définies pour la modélisation de l'aptitude. La classe 1 (pente > 10 %) exclut pratiquement tout projet de remise en eau, tandis que les classes 2 à 4 (pente de 5 à 10 %, 2 à 5 % et 0 à 2 %) offrent des conditions de plus en plus favorables pour un effet de grande étendue des mesures de retenue et donc pour la réalisation de projets de remise en eau à grande échelle. La pente joue un rôle particulièrement important pour les surfaces drainées par des fossés.

- **Aptitude du sol :**

L'aptitude du sol est une mesure de la rétention d'eau d'une surface. Elle fournit des informations sur la perméabilité du sol et sa capacité de stockage de l'eau. Dans l'idéal, il existe une cartographie des sols de la zone permettant de déterminer l'humidité et la perméabilité du sol. Si ce n'est pas le cas, ces valeurs peuvent être déduites à partir de cartographies phytosociologiques des associations forestières, complétées par des évaluations d'expertes et experts. De nombreuses associations forestières humides croissent sur des sols peu perméables tels que les gleys et les pseudogleys. De plus, la présence de sols organiques et certains noms de lieux-dits sur les cartes fournissent de bonnes indications sur des sols autrefois humides. Agroscope a reconstitué leur présence historique à l'échelle nationale à partir d'anciennes données cartographiques et pédologiques [85]. La combinaison de l'humidité et de la perméabilité du sol donne l'aptitude du sol, qui peut être divisée en trois catégories sur une échelle de points (aptitude du sol peu probable, possible, présente). Cela permet d'évaluer si les mesures visant à supprimer le drainage sont prometteuses [84].

Pour représenter le potentiel pour une forêt humide, l'aptitude du relief et l'aptitude du sol sont agrégées sur une superficie [84]. Le potentiel le plus élevé existe là où l'aptitude du relief et celle du sol sont toutes deux élevées. Afin d'identifier les surfaces prometteuses pour la remise en eau des forêts, le potentiel pour une forêt humide doit enfin être comparé aux informations sur les zones drainées artificiellement (chapitre Cartographie des structures de drainage). Afin d'identifier d'éventuels conflits ou d'exploiter des synergies, la carte obtenue peut être comparée à des cartes des zones humides existantes, à des cartographies forestières phytosociologiques, aux forêts de protection, à la modélisation des zones alluviales créées par le castor, aux zones de protection des eaux souterraines, aux informations sur les aires centrales et les aires de mise en réseau de l'infrastructure écologique [86], aux sites contaminés, aux sites archéologiques ou à d'autres aspects pertinents du paysage.

Cartographie des structures de drainage

Pour planifier la remise en eau d'une surface, il est essentiel de savoir où exactement et dans quelle ampleur un drainage a eu lieu ou est encore fonctionnel. Associées au potentiel de forêt humide, les informations sur le drainage artificiel permettent d'identifier les surfaces susceptibles de faire l'objet de projets de remise en eau. Cependant, l'emplacement des tuyaux et des fossés de drainage n'est pas toujours connu. Il est donc indispensable de cartographier les drainages dans les surfaces susceptibles d'être restaurées en forêts humides.

Dans le cadre du Suivi des effets de la protection des biotopes en Suisse (WBS), des interprétations d'images aériennes (images aériennes stéréoscopiques de swisstopo) sont réalisées pour tous les biotopes d'importance nationale. Le troisième relevé a débuté en 2024. Il permet également de collecter des informations sur les fossés de drainage dans les bas-marais et les hauts-marais, ainsi que sur les traces de roues dans la forêt. Swisstopo génère également des données LiDAR en haute résolution pour la Suisse, permettant de reconnaître le micro-relief du terrain, même dans les zones couvertes de forêts. Sur cette base, des scientifiques du WSL extraient actuellement des données sur les fossés de drainage dans les forêts à l'échelle nationale pour l'Inventaire forestier national suisse (IFN). Pour ce faire, ils utilisent des méthodes de télédétection, des modélisations de terrain à haute résolution et des méthodes d'apprentissage profond [87], [88]. Le projet peut être consulté à l'adresse www.wsl.ch/ > Projets > « Ditch mapping for Switzerland by using semantic segmentation ».

Cette méthode permet de localiser efficacement et précisément les structures de drainage superficielles. La cartographie des tuyaux de drainage doit toutefois toujours être effectuée à l'aide d'études de terrain. Celles-ci servent également à examiner l'état des structures de drainage.

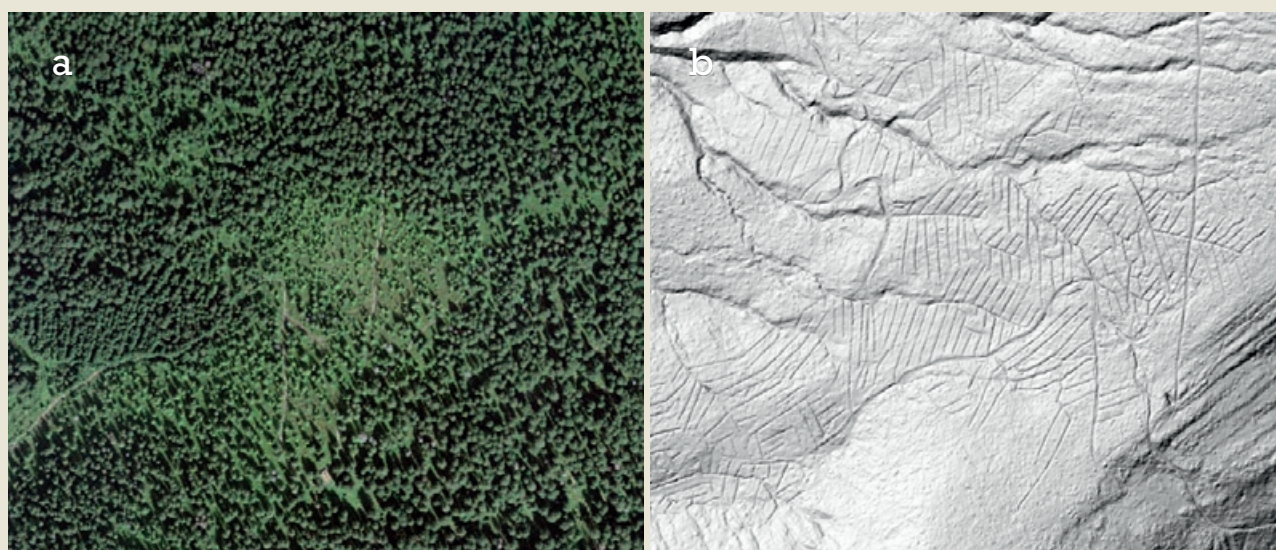


Figure 2

(a) Photo aérienne d'une forêt drainée (Seeliwald, Obwald). Photo : Swisstopo, photo aérienne 2 654 650,00, 1 195 000,00. (b) Image LiDAR de la même forêt. Les fossés de drainage sont clairement visibles. Photo et travaux : Yuanyuan Gui, Zuyuan Wang, Christian Ginzler, WSL dans le cadre de l'IFN.

Surfaces destinées à la renaturation de zones alluviales et de sources

Les méthodes de détermination des surfaces décrites ci-dessus ne s'appliquent pas à la renaturation des forêts sur des sols alluviaux perméables ou des milieux fontinaux forestiers. Les sols alluviaux perméables se situent dans la surface inondable d'origine des rivières. Ils ont rarement été drainés par des fossés, mais ont été coupés de l'eau par la rectification et l'endiguement des cours d'eau. Les atteintes typiques aux sources naturelles sont les captages et les dérivations (également liés à la construction de chemins), la mise sous tuyau des ruisseaux de source, le remblayage ou la dérivation vers des canaux artificiels (par exemple des coques en béton). Les sources dans les surfaces à forte pente sont du type sources jaillissantes (rhéocrènes) et sont souvent de petite dimension. En terrain plat, l'eau s'écoule sur une grande surface et peut parfois former des sources suintantes (hélocrènes) de grande étendue. L'emplacement des sources dans la forêt peut être identifié à l'aide de cartes (historiques), de photos aériennes ou d'entretiens avec des experts locaux/expertes locales ou des personnes connaissant bien les lieux. La surface potentielle pour une renaturation peut alors être déterminée par des visites sur le terrain. Les milieux fontinaux se composent d'une zone centrale (définie par le rayon du jaillissement de l'eau) et d'une zone périphérique présentant une transition entre des conditions humides et plus sèches, ce dont il faut tenir compte lors de la protection et de la renaturation des sources. Le recensement et la cartographie systématiques des milieux fontinaux à l'échelle nationale constituent une base importante pour leur conservation et leur revalorisation. Il existe un guide pratique à cet effet [89]. L'inventaire est en cours dans plusieurs cantons et est coordonné et soutenu par la Confédération. L'inventaire des sources est déjà disponible pour le canton de Berne. La procédure de détermination des surfaces pour la renaturation des sources a été développée par le Service-conseil milieux fontinaux. Les instructions [90] et les fiches de saisie sont disponibles sur le site Internet www.quell-lebensräume.ch/fr.

Préservation des surfaces

Les associations forestières humides restaurées doivent être préservées à long terme par des mesures contraignantes pour les propriétaires. Cela peut se faire par la délimitation de la surface et l'inscription des objectifs et des mesures dans un plan directeur forestier. Dans l'idéal, une surface peut même être classée comme réserve forestière naturelle ou spéciale (encadré 1), selon que des interventions sylvicoles ou des formes d'exploitation particulières sont prévues ou qu'on renonce à toute exploitation. Les contrats d'exploitation correspondants doivent être conclus entre les propriétaires fonciers et les cantons ou les communes.

Encadré 1 : Définition des réserves forestières tirée du « Manuel sur les conventions-programmes 2025-2028 dans le domaine de l'environnement » [91] :

Réserve forestière : Surface forestière où la préservation de la biodiversité a une priorité absolue. Les réserves forestières sont créées pour durer et sont protégées au moins à moyen terme (en règle générale au min. 50 ans) de façon contraignante pour les autorités et les propriétaires (par contrat, décision de l'exécutif cantonal, inscription au registre foncier, etc.). La forêt peut s'y développer naturellement (« réserve forestière naturelle ») ou des interventions ciblées sont pratiquées pour valoriser certains habitats et favoriser le développement d'espèces prioritaires (« réserve forestière spéciale »).

Dans une réserve forestière naturelle (synonyme : réserve forestière totale), la forêt est abandonnée délibérément au développement naturel (protection des processus) et toute forme d'exploitation forestière et la plupart des autres interventions sont exclues. Les réserves forestières naturelles élargissent surtout l'habitat des organismes liés au vieux bois et au bois mort. Elles ne font pas que favoriser la biodiversité, mais représentent aussi un enrichissement esthétique du paysage forestier (forêt sauvage) et permettent à l'homme d'être à proximité avec la nature. Elles sont également des habitats de référence pour la recherche en matière d'écologie et de sylviculture.

Dans les réserves forestières spéciales (synonymes : réserve forestière partielle, réserve forestière avec interventions particulières), des interventions ciblées sont prévues afin notamment de valoriser les habitats d'animaux et de plantes prioritaires ou d'introduire des essences ayant une valeur écologique particulière, par exemple le chêne. Les réserves forestières spéciales peuvent également permettre de perpétuer des modes de gestion traditionnels, par exemple les taillis sous futaie.

3.3. Détermination des espèces cibles pour les projets de restauration des forêts humides

L'objectif global le plus important d'un projet de restauration de forêts humides est de créer un milieu adapté à la station avec sa biocénose caractéristique. Des objectifs plus spécifiques peuvent inclure la conservation et la promotion de certaines espèces cibles, par exemple des espèces rares, menacées ou prioritaires au niveau national [92], [93]. Elles peuvent en outre nécessiter des mesures de conservation spécifiques, dont le succès se mesure à la présence effective de ces espèces. Les espèces forestières cibles vivent principalement en forêt, y séjournent régulièrement ou dépendent d'elle à au moins un stade de leur développement [95]. Une liste de 307 espèces forestières prioritaires au niveau national figure à l'annexe 2-2 de l'aide à l'exécution « Biodiversité en forêt » [1]. Les espèces cibles des forêts humides à restaurer doivent toutefois être définies individuellement pour chaque projet, en fonction de la région biogéographique, de l'altitude et des exigences des espèces en matière d'habitat. Un guide devrait prochainement être élaboré (éventuellement accompagné d'un outil en ligne), analogue au Plan d'action Forêts claires [94], afin de déterminer les espèces cibles prioritaires au niveau national pour les forêts humides. L'outil en ligne pour les forêts claires est à la disposition des utilisatrices et utilisateurs enregistrés du Centre de données virtuel (VDC) et génère, pour n'importe quelle surface forestière, une liste des espèces cibles effectivement recensées et potentiellement présentes dans la forêt claire.

L'annexe A1 (Liste des espèces forestières cibles pour les associations forestières humides) contient une liste des espèces forestières cibles présentes dans les types de milieux suivants : forêts inondables (tableau A1.1), pinèdes thermophiles (tableau A1.2), forêts de tourbières (tableau A1.3), forêts de conifères d'altitude (tableau A1.4) et eaux libres (tableau A1.5) selon Delarze et al. 2015 [95]. Il s'agit des milieux auxquels sont rattachées les associations forestières des zones humides de Suisse (tableaux 1, 3, 5). Des informations sur les exigences en matière d'habitat des espèces cibles potentielles des forêts humides sont disponibles, par exemple, sur InfoSpecies, qui propose également des conseils prodigués par des spécialistes des espèces.

3.4. Restauration des différentes forêts humides

Définition des forêts et des associations forestières humides

Les forêts humides se caractérisent principalement par la présence d'une nappe phréatique proche de la surface et de niveau plus ou moins variable. Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de pluie ou des eaux fluviales ou lacustres, et forment des réserves d'eau dans le sous-sol. En Suisse, dix associations forestières humides sont décrites en dehors des hauts-marais et des zones alluviales [1], caractérisées par des eaux souterraines, de pente ou de source et non par des inondations de cours d'eau. À cela s'ajoutent, en altitude, certaines associations forestières des pessières-sapinières. Les associations forestières humides peuvent être classées en fonction du type d'approvisionnement en eau :

- **Cuvettes engorgées** : alimentation en eau par des eaux stagnantes (eaux souterraines provenant de l'infiltration et de l'accumulation des précipitations dans des sols peu perméables) ou par des eaux de ruissellement (eaux retenues le long des pentes formant une surface d'eau par saturation et s'écoulant lentement par rapport aux eaux souterraines).
→ Associations forestières 30, 44, 46, 46*, 49, 60 (tableau 1)
- **Bords de ruisseaux et de rivières** : alimentation en eau par les eaux courantes (cours d'eau)
→ Associations forestières 26, 27, 27*, 27**/27O (tableau 1)
- **Zones de source** : alimentation en eau par les sources (eaux souterraines remontant à la surface).
→ Associations forestières 26, 27, 27**/27O, 49 (tableau 1)

La biodiversité particulière des forêts des cuvettes engorgées est marquée par la diversité de leurs micro-habitats. Ceux-ci favorisent des associations végétales et lichéniques spécialisées et rares [32], [96], [97], qui constituent à leur tour un habitat pour les espèces animales associées [98]. Même les peuplements forestiers de petite taille contribuent ainsi fortement à la biodiversité. Les associations forestières humides des altitudes élevées abritent des strates herbacées et muscinales riches en espèces. Elles constituent un habitat particulièrement précieux pour des espèces telles que le grand tétras, la bécasse des bois et les amphibiens. Les forêts des berges de ruisseaux contribuent également à la biodiversité grâce à leur interconnexion avec le milieu aquatique. Elles jouent un rôle important dans la mise en réseau des espèces hygrophiles et aquatiques. De nombreux peuplements forestiers influencés par les eaux souterraines abritent des sources qui hébergent leurs propres biocénoses typiques.



Figure 3

Cette aulnaie noire, composée essentiellement d'aulnes noirs et de laïches, se situe au sud-est de la zone alluviale « Oberglatt ». Elle fait partie du site de reproduction des batraciens « Glattaltauflagebiet Schlosswinkel-Peterli-Solachten ». Photo : Jan Ryser/OFEV.

Tableau 1

Associations forestières des zones humides de Suisse (à l'exception des forêts de hauts-marais et des forêts alluviales) selon l'aide à l'exécution « Biodiversité en forêt : objectifs et mesures » [1]. Numérotation des associations forestières selon Ellenberg & Klötzli (1972) [99] ou la Liste rouge des milieux de Suisse [100] et numérotation des associations correspondantes selon Delarze et al. (2015) [95]. Il convient de noter que certaines associations forestières qui ne sont pas classées comme forêts alluviales dans le système d'Ellenberg & Klötzli [99] sont désignées comme telles dans le système Delarze [95]. Les descriptions sont basées sur l'annexe 2A et les fiches des stations de NaiS [101], la liste des espèces et des milieux prioritaires de Suisse [92] et, lorsqu'elles sont disponibles, les descriptions cantonales des stations forestières. Liste rouge des milieux de Suisse : CR = au bord de la disparition, EN = en danger, VU = vulnérable, NT = potentiellement menacé, LC = non menacé. Responsabilité particulière de la Suisse d'un point de vue international : 0 = aucune, 1 = faible, 2 = moyenne, 3 = élevée, 4 = très élevée.

Association forestière (système Ellenberg & Klötzli 1972) - Milieu (système Delarze 2015) nom français	Association forestière (système Ellenberg & Klötzli 1972) - Milieu (système Delarze 2015) nom scientifique	Station	Caractéristiques forêt naturelle	Espèces pertinentes pour la protection de la nature	Statut	Responsabilité particulière CH
26 Aceri-Fraxinetum (Lien Tree-App) - 6.1.4 Fraxinion	Frênaie à érable - Frênaie humide	Présence: étages collinéen, submontagnard et montagnard. Vallées et pied des versants. Sol: engorgement moyen à fort. Perméabilité fortement à légèrement réduite. Humus: mull (humide). Sols humides (gley et pseudogley), souvent transition vers des sols bruns/pararendzine dans la couche supérieure. Sous-sol humide, couche supérieure du sol partiellement aérée. Riche en nutriments. Neutre.	Forêt mixte de frênes à haute tige, avec beaucoup d'érables sycomores, d'ormes montagnards et d'érables planes. Trop humide pour le hêtre. Strate herbacée luxuriante avec bryophytes et fougères, avec plantes herbacées de haute taille.	Bois gentil, ancolie commune, gouet, muguet, dompte-venin officinal. Précieux pour les gastéropodes et les amphibiens.	LC	0
27 Carici remotae - Fraxinetum (Lien Tree-App) - 6.1.4 Fraxinion	Frênaie à laiche - Frênaie humide	Présence: étages submontagnard et montagnard. Le long des ruisseaux ou sur les pentes à sources. Sol: engorgement fort à moyen. Perméabilité légèrement à fortement réduite. Humus: mull (humide), parfois de type anmoor. Sols humides (gleys), engorgés jusqu'à la surface. Souvent formation de tuf calcaire. Acide à neutre.	Petits peuplements plutôt ouverts de frênes avec aulnes glutineux et érables sycomores. Trop humide pour le hêtre, pas de conifères. Strate herbacée luxuriante avec laiche à épis espacés, prêle géante et populage.	Orchidées, bois gentil, ancolie commune, gouet, fusain d'Europe, laiche à épis espacés, muguet, dompte-venin officinal, reine des bois. Précieux pour les papillons diurnes et les amphibiens.	EN	1

27* Adenostylo-Alnetum incanae - 6.1.3 Alnion incanae	Aunaie à érable - Aulnaie alluviale	Présence : étages haut-montagnard et subalpin. Versants et vallées, souvent le long de ruisseaux peu encaissés, sur substrats argileux et basiques (schiste argileux, marne ou flysch), avec des glissements de sol en profondeur. Sol : engorgement moyen à fort, drainage difficile. Perméabilité fortement réduite. Humus : mull (humide). Sols humides influencés par les eaux stagnantes, les eaux de pente ou les eaux souterraines. Par endroits, régosol, pararendzine, rendosol, sol brun (tous gorgés d'eau). Généralement riches en bases et en calcaire.	Peuplements ouverts d'aulnes blanchâtres et d'érables sycomores, avec sorbiers des oiseleurs. Dans les parties moins humides, également quelques épicéas et sapins. Arbres isolés, petits collectifs et débuts de peuplements. Pas de strate arbustive. Végétation herbacée haute, très luxuriante et riche en espèces.	Orchidées	EN	1
27**/27O Osmundo-Fraxinetum/ Osmundo-Alnetum - 6.1.4 Fraxinion	Forêts mixtes sur substrat humide et aulnaies à Osmonde - Frênaie humide	Présence : étage collinéen. Dans les zones de sources et le long des petits cours d'eau, dans les régions à hivers doux. Influence de l'eau courante. Fréquent sur les pentes sur moraines et silicates. Sol : engorgement fort à moyen. Eau jusqu'à la surface. Perméabilité légèrement à fortement réduite. Niveaux de la nappe phréatique et de l'eau de pente proches de la surface. Humus : mull (humide), parfois de type anmoor. Sols bruns, régosols, souvent transition vers des sols engorgés. Acidification en surface.	Peuplement vigoureux dominé par l'aulne glutineux et le frêne, accompagnés de châtaigniers cultivés, érables sycomores, ifs et houx. Avec lierre et ronces. Strate herbacée luxuriante avec des plantes indicatrices d'humidité. Par endroits avec fougère royale, dorine à feuilles alternes et laiche paniculée.		CR	0

30 Pruno- Fraxinetum (Lien Tree-App) - 6.1.4 Fraxinion	Frênaie à Merisier à grappes - Frênaie humide	Présence : étages submontagnard, montagnard inférieur et collinéen. Dans des cuvettes plates et de petits vallons, eau stagnante au niveau des racines. Sol : engorgé en permanence à partir d'une profondeur de 50 cm, au-dessus pendant de longues périodes. Perméabilité très faible à moyenne. Humus: anmoor (parfois mull humide). Gley. Neutre - riche en bases.	Forêt mixte de frêne et d'aulne glutineux avec essences pionnières, marécageuse. Strates arbustive et herbacée développées avec indicateurs d'humidité, souvent dominées par merisier à grappes et laïche à angles aigus.	Reine des bois, orchidées dans les surfaces claires, laïche maigre. Précieux pour les amphibiens.	CR	0
44 Carici elongatae-Alnetum glutinosae (Lien Tree-App) - 6.1.1 Alnion glutinosae	Aulnaie marécageuse à laïche - Aulnaie noire	Présence : étages submontagnard et collinéen. Dans des cuvettes plates et gorgées d'eau. Sol : engorgé, souvent inondé. Humus: anmoor avec tourbe de forêt inondée. Gley. Alcalins.	Forêt inondée d'aulnes glutineux avec quelques frênes et essences pionnières. Aulnes en partie avec racines à contreforts. Strate arbustive avec bourdaine. Strate herbacée clairsemée. Touradons de laïches entourés d'eau stagnante.	Fougère des marais, salicaire commune, lysimaque commune. Amphibiens : triton alpestre, triton palmé, crapaud commun, grenouille rousse.	EN	0
46 Bazzanio-Abieti-Piceetum (Lien Tree-App) - 6.6.1 Abieti-Piceion	Pessière-sapinière à Bazzanie - Pessière-sapinière	Présence : étages haut-montagnard et montagnard supérieur. Principalement sur les plateaux et les pentes modérées. Également sur les pentes plus raides aux altitudes élevées, riches en précipitations et au sol plus dense. Sol : engorgement moyen. Perméabilité légèrement à fortement réduite. Humus: humus brut et moder. Sols engorgés blanchis par l'eau, influencés par l'eau stagnante (en partie eau de pente ou eau souterraine) : pseudogley, sol brun engorgé ou néoluvisol. Très acide.	Dominé par le sapin et l'épicéa, à l'étage montagnard supérieur avec hêtre, sorbier des oiseaux et essences pionnières. Tapis luxuriant de myrtilles et de bryophytes, fougères, en partie avec ronces.	Beaucoup de bryophytes (rarement des sphaignes), maïanthème à deux feuilles, blechnum pectiné. À l'état intact, habitat de pic tridactyle, chevêchette d'Europe et mésange alpestre. Important pour le grand tétras.	LC	0

46* Vaccinio myrtilli-Abieti-Piceetum - 6.6.1 Abieti-Piceion	Pessière-sapinière à Myrtille - Pessière-sapinière	Présence: étages haut-montagnard et montagnard supérieur. Sur les plateaux et les pentes légères à modérées. Sol: engorgement moyen à fort. Perméabilité fortement réduite. Humus: humus brut, moder (en partie humide), tourbe. Sols engorgés blanchis par l'eau, influencés par l'eau stagnante (en partie eau de pente ou eau souterraine), sol brun engorgé ou néoluvisol. Très acide.	Très similaire à 46. Dominé par le sapin et l'épicéa, avec sorbier des oiseleurs et essences pionnières. Peuplements plus ouverts. Couverture luxuriante de myrtilles. Couche dense de bryophytes avec sphaignes.	Sphaignes. À l'état intact, habitat de pic tridactyle, chevêchette d'Europe, mésange alpestre. Important pour le grand tétras.	LC	2
49 Equiseto-Abieti-Piceetum - 6.6.1 Abieti-Piceion	Pessière-sapinière à prêle - Pessière-sapinière	Présence: étages haut-montagnard et montagnard supérieur. Sur des pentes douces avec des cuvettes et des crêtes, dans les zones de sources ou près d'eaux à courant faible. Sol: dans les cuvettes : fort engorgement. Perméabilité fortement réduite. Humus: mull (humide), anmoor, moder, humus brut. Sols engorgés influencés par l'eau de pente, l'eau souterraine ou l'eau stagnante. Sur les crêtes: engorgement moyen. Perméabilité légèrement réduite. Sol brun engorgé.	Dominé par le sapin et l'épicéa, avec sorbier des oiseleurs et essences pionnières. Peuplements clairsemés. Si le sol est alcalin, présence également de érable sycomore, aulne blanchâtre et frêne. Peu de conifères dans les cuvettes. Strate arbustive peu développée, strate herbacée bien développée dans les cuvettes avec prêle des bois, populage, myrtille, quelques bryophytes.	Grande diversité de plantes vasculaires et de bryophytes. Présence possible d'orchidées. Habitat pour grand tétras et bécasse des bois. Précieux pour les amphibiens.	LC	1
60 Adenostylo- Piceetum - 6.6.1 Abieti-Piceion	Pessière à hautes herbes - Pessière-sapinière	Présence: étage subalpin. Pentas modérées et ombragées ou cuvettes. Roche mère argile silteuse se délitant. Climat local généralement humide. Sol: Légèrement engorgé. Perméabilité normale à légèrement réduite. Humus: mull à moder (en partie humide), humus brut sur les buttes. Sol brun, rendosol, régosol, rankosol, tous en partie gorgés d'eau.	Dominé par l'épicéa, avec sorbier des oiseleurs et aulne vert. Quelques érables sycomores sur les sols alcalins. Structure en collectifs. Strate arbustive quasi inexistante. Végétation herbacée haute et très luxuriante avec adénostyle à feuille d'alliaire et cicerbite des Alpes. Petites buttes avec myrtilles.	Mégaphorbiaie riche en espèces.	LC	3

Situations possibles

Lors de la pondération des coûts et des avantages potentiels d'une renaturation de forêt humide, il faut évaluer la situation initiale de la forêt et son approvisionnement en eau, et en tenir compte lors de la planification des mesures :

- *Milieu peu dégradé et proche de l'état naturel* (légère modification des conditions hydrologiques telles que la disponibilité en eau et la teneur en nutriments) : La conservation est prioritaire. Des mesures d'optimisation dans le bassin versant, par exemple par l'agrandissement des zones tampons, peuvent empêcher une détérioration progressive de l'état.
- *Milieu dégradé par le drainage* (fossés ou canalisations, captages) : Les causes de la dégradation doivent être éliminées afin de rétablir le niveau d'eau d'origine et de permettre les processus de renaturation. De nombreux systèmes de drainage devront être renouvelés dans les années à venir. Il convient alors de reconsidérer leur utilité et d'envisager leur suppression afin de rétablir les conditions hydrologiques d'origine.
- *Milieu dégradé par la transformation de la forêt* (drainage et modification de la forêt naturelle par des conifères non typiques de la station) : Outre le rétablissement du niveau d'eau d'origine, ces forêts devraient également être débarrassées des essences non typiques de la station, et un rajeunissement (si possible naturel) avec des essences adaptées à la station devrait être encouragé. La fonction d'habitat pour les espèces cibles doit être assurée, le cas échéant, par des mesures de revalorisation spécifiques.

Mesures de restauration et d'entretien possibles

Le tableau 2 présente une liste des mesures possibles pour la renaturation et l'entretien des forêts humides, y compris une estimation du temps et des coûts nécessaires.

Mesures d'aménagement hydraulique : Pour restaurer les forêts humides sur des sites gorgés d'eau, il est essentiel de fermer les structures de drainage dans la zone jusqu'à ce que le niveau d'eau cible pour le peuplement forestier concerné soit atteint. Plus le terrain est plat, plus cette mesure est efficace. Sur une surface plane, un seul barrage dans un fossé de drainage suffit pour neutraliser l'effet du drainage sur une grande superficie.

Sur les terrains en pente, les fossés de drainage doivent être bloqués à grands frais afin de garantir le niveau d'eau cible sur toute la longueur de la pente. Lors de la mise en place de barrages constitués uniquement de matériaux compactés, l'érosion peut facilement provoquer un affouillement sur les terrains en pente. Ce contournement souterrain du barrage est souvent invisible en surface. Pour bloquer les fossés de drainage sur les terrains en pente, il faut donc installer une succession de barrières, bien ancrées dans le lit du fossé et recouvertes de terre, avant de combler les sections de fossé entre deux [102], [103].

Le drainage par des tuyaux souterrains peut généralement être empêché sur les terrains plats en détruisant et en obstruant les tuyaux à certains endroits [102]–[104]. Pour ce faire, le tuyau est mis à nu à un ou plusieurs endroits, puis cassé et retiré sur plusieurs mètres à l'aide d'une machine. Les extrémités de tuyau ainsi créées sont ensuite obstruées des deux côtés afin d'empêcher tout écoulement d'eau. Il n'est pas nécessaire de retirer le tuyau sur toute sa longueur.

Les associations forestières des berges de ruisseaux peuvent être revalorisées par la renaturation de ces cours d'eau. Pour cela, il convient d'enlever les aménagements des berges et du lit du cours d'eau afin de permettre le développement d'une dynamique naturelle et d'un échange entre les milieux terrestres et aquatiques. Dans la mesure du possible, le bois mort devrait être laissé dans les cours d'eau et sur les berges. Les mesures de renaturation des petits cours d'eau sont traitées séparément au chapitre 3.8 Petits plans d'eau et autres structures d'habitat comme mesure complémentaire. La renaturation des sources et des milieux fontinaux est décrite au chapitre 3.7 Restauration des milieux fontinaux. Les associations forestières humides abritent

généralement de petits plans d'eau naturellement stagnants qui constituent un habitat important pour les amphibiens et les insectes aquatiques. Lors de la restauration des forêts humides, il convient donc d'aménager et d'entretenir de tels plans d'eau. Leur création est abordée au chapitre 3.8 Petits plans d'eau et autres structures d'habitat comme mesure complémentaire.

Mesures sylvicoles : Dans les forêts naturelles des zones humides de basse altitude, le frêne commun est une essence dominante. Le dépérissement des pousses du frêne est donc une forte entrave au rajeunissement naturel du frêne dans les forêts humides restaurées et il peut poser des problèmes de sécurité le long des chemins. La promotion ou l'introduction d'essences de remplacement peut s'avérer nécessaire dans ces sites. Selon l'association forestière, des essences adaptées au site telles que le tremble ou le peuplier noir, différentes espèces de saules et de bouleaux, les aulnes noir ou blanchâtre, les érables sycomore ou plane et le merisier à grappes sont appropriées. Le programme de recherche « Forêts et changements climatiques » (www.tree-app.ch) fournit des recommandations pour la promotion d'essences adaptées aux conditions futures dans certaines associations forestières. Les liens correspondants figurent dans le tableau 1.

Des mesures spécifiques peuvent être prises dans les pessières-sapinières en faveur des tétraonidés (en particulier le grand tétras), dont c'est un habitat potentiel. L'objectif devrait être d'obtenir un recouvrement élevé de plantes nourricières telles que la myrtille, la callune, le framboisier ou encore les linaigrettes et d'autres plantes herbacées. Ce type de végétation bénéficie du rétablissement du régime hydrique naturel et peut être accéléré par un éclaircissement de la forêt. Les arbres aux branches basses, solides et horizontales, servant de perchoirs, de lieux de repos ou de site de parade, sont également importants. Il convient de renoncer à toute intervention sylvicole pendant la période de reproduction, entre avril et juillet, afin d'éviter tout dérangement. La mise en réseau avec des milieux similaires est importante pour garantir la taille nécessaire de l'habitat [105].

Mesures d'entretien : Lorsque les associations forestières décrites dans le tableau 1 sont proches de leur état naturel, elles ne nécessitent pratiquement aucune mesure d'entretien. Toutefois, en fonction de l'état initial et des mesures prises, des interventions visant à lutter contre les néophytes ou à entretenir les petits plans d'eau peuvent s'avérer nécessaires pour favoriser le développement du milieu et la présence des espèces cibles. Il est également recommandé de contrôler le fonctionnement des barrages et des comblements des fossés et tuyaux de drainage au cours des premières années. Si la retenue d'eau ne se fait pas comme prévu, d'autres mesures doivent être prises pour adapter les barrages.

Tableau 2

Mesures de mise en œuvre possibles pour la restauration des forêts humides. Les informations relatives au temps et aux coûts des mesures sont basées sur les estimations d'expertes et experts. Temps nécessaire : très court (< 1 jour), court (quelques jours), moyen (semaines à mois), long (quelques années), très long (de nombreuses années). Coûts : estimation pour les mesures individuelles par rapport à d'autres mesures possibles dans le cadre d'un projet, faible (poste mineur dans le budget global), moyen (poste moyen dans le budget global), élevé (poste significatif dans le budget global).

Mesure	Détails	Temps nécessaire	Coûts (estimation)
Mesures d'aménagement hydraulique			
Comblement des fossés de drainage (remblayage complet)	Idéalement avec des matériaux autochtones, mais peut être complété en fonction de la disponibilité des matériaux. Le comblement complet est particulièrement adapté aux pentes > 1-2 %.	court à moyen	moyens à élevés (selon l'accessibilité)
Construction de barrages dans les fossés de drainage	Les fossés de drainage peuvent être fermés par différents types de barrages. Plus le terrain de la zone du projet est plat, moins il faut de barrages pour élever le niveau de la nappe phréatique. Sur les terrains en pente, des séries de barrages sont nécessaires pour élever le niveau de la nappe phréatique sur toute la pente. Les barrages peuvent être construits avec différents matériaux et selon différentes méthodes.	moyen (palplanches)	élevés (palplanches)
Enlèvement ou blocage des tuyaux de drainage	Les tuyaux ne doivent pas être complètement retirés sur un terrain plat ou en pente douce. Il suffit ici de retirer les tuyaux par sections et de bloquer les ouvertures des deux côtés, par exemple avec du bois et de la terre compactée ou un bouchon de tuyau. À partir d'une pente de 1 à 2 degrés, les tuyaux de drainage doivent être complètement retirés. L'utilisation de machines étant généralement nécessaire, il faut veiller autant que possible à protéger le sol environnant.	moyen	moyens à élevés
Endiguement des cours d'eau par les castors	Les cours d'eau en forêt peuvent être endigués par les castors. Dans ce cas, aucune autre mesure n'est nécessaire, sauf éventuellement en rapport avec la création d'une réserve forestière spéciale ou la prévention des conflits (chapitre 3.9 Remise en eau des forêts par les castors).	aucun à court (sauf création d'une réserve forestière spéciale)	aucun
Revalorisation et renaturation des ruisseaux forestiers	Chapitre 3.8 Petits plans d'eau et autres structures d'habitat comme mesure complémentaire	moyen	moyens à élevés
Création de petits plans d'eau	Chapitre 3.8 Petits plans d'eau et autres structures d'habitat comme mesure complémentaire	court à moyen (couche d'argile existante vs apport de matériau d'étanchéité)	moyens
Mesures sylvicoles			
Implantation d'espèces typiques de la station	À réaliser si possible par jeune naturel. Une promotion ciblée d'espèces adaptées aux conditions futures peut s'avérer nécessaire, car certaines espèces typiques des forêts humides sont touchées par des maladies (p. ex. frêne, ormes).	court à long (en fonction de l'état initial)	moyens (en fonction de l'abrutissement et de la concurrence)

Élimination des essences non adaptées à la station	Les conifères (en particulier les épicéas) prélèvent beaucoup d'eau dans le sol et devraient être éliminés ou leur densité être réduite dans les associations de basse altitude afin de correspondre à l'association forestière cible.	généralement unique	faibles
Promotion de structures clairsemées	Les surfaces clairsemées sur les berges des ruisseaux ou des petits plans d'eau augmentent leur valeur pour les espèces typiques telles que les amphibiens et les insectes, et offrent un habitat à des espèces telles que les reptiles. Un éclaircissement ciblé renforce cet effet.	court à moyen	moyens
Promotion du bois mort et du vieux bois	Les arbres qui dépérissent en raison d'un niveau d'eau élevé doivent être laissés sur place en tant qu'arbres habitats. Ne pas retirer les vieux arbres. Chapitre 3.8 Petits plans d'eau et autres structures d'habitat comme mesure complémentaire	court	faibles
Élimination des néophytes	Les néophytes envahissantes doivent être éliminées de la zone du projet.	moyen à long (p. ex. renouée du Japon)	moyens à élevés (p. ex. renouée du Japon)
Création de petites structures	Chapitre 3.8 Petits plans d'eau et autres structures d'habitat comme mesure complémentaire	court à moyen	faibles à moyens
Mesures d'entretien			
Contrôle du fonctionnement des barrages	Le fonctionnement des barrages dans les fossés de drainage doit être contrôlé et, si nécessaire, ils doivent être renforcés, entretenus ou déplacés afin de garantir leur efficacité.	court à moyen	faibles à moyens
Élimination des néophytes	Les néophytes envahissantes doivent être localisées dans le cadre de contrôles de réussite et éliminées de la zone du projet.	long à très long (p. ex. renouée du Japon)	moyens à élevés (p. ex. renouée du Japon)

Déroulement prévisible du projet

Le déroulement d'un projet de restauration d'une forêt humide dépend essentiellement de la différence entre l'état initial de la zone du projet et l'état souhaité. Si l'association forestière souhaitée est encore largement présente et que les mesures de remise en eau visent uniquement à la préserver, la durée du projet sera nettement plus courte que dans le cas d'un peuplement forestier qui a été considérablement modifiée par le drainage. Dans ce cas, outre l'assainissement des conditions hydrologiques, des mesures sylvicoles et éventuellement d'entretien supplémentaires sont nécessaires, ce qui allonge d'autant la durée du projet.

Remise en eau : Des mesures d'aménagement hydraulique permettent de relever le niveau de la nappe phréatique. Dans le meilleur des cas, les conditions hydrologiques peuvent ainsi être rétablies à un niveau similaire à celui d'origine. Cependant, les effets de la restauration ne sont souvent pas aussi importants que ceux du drainage. Les fossés de drainage assèchent notamment une zone plus grande que celle qui est remise en eau par le comblement ultérieur des fossés [106]. Cela est probablement dû au compactage du sol après un drainage, qui réduit à long terme la perméabilité à l'eau. La remise en eau d'un milieu peut être réalisée en quelques années à l'aide de mesures appropriées (figure 4).

Renaturation : Une élévation durable du niveau de la nappe phréatique entraîne la mort d'essences telles que le hêtre et crée ainsi de l'espace pour des essences hygrophiles telles que l'aulne noir, le frêne commun, les peupliers, les bouleaux et le chêne pédonculé [107]. Les forêts clairsemées qui en résultent et la forte présence de bois mort favorisent une grande biodiversité [108]. Cependant, même les espèces caractéristiques des forêts humides, telles que l'aulne noir, peuvent mourir si le niveau de l'eau augmente trop rapidement ou devient si élevé que les racines sont en permanence immergées [109], [110]. C'est surtout le cas lorsque les arbres n'ont pas germé et ne se sont pas développés sur des sols humides et que leur système racinaire n'est donc pas adapté aux conditions humides [108], [111]. La formation d'associations forestières naturelles et autonomes peut prendre plusieurs décennies (figure 4). L'établissement et le développement de populations stables des espèces cibles dépendent de leur capacité de dispersion et de leur durée de génération, ainsi que de la connexion de la zone du projet avec des milieux similaires.

Régénération : Une fois que les conditions hydrologiques des forêts humides ont été rétablies et qu'un peuplement forestier proche de l'état naturel s'est établi, les fonctions de l'écosystème se rétablissent également. Les fonctions importantes sont notamment la rétention et le stockage de l'eau, le stockage du carbone grâce à l'enrichissement en matière organique et en bois mort, ainsi que la fonction d'habitat. Les effets de la renaturation sont attendus dans un délai de quelques années à quelques décennies (figure 4).

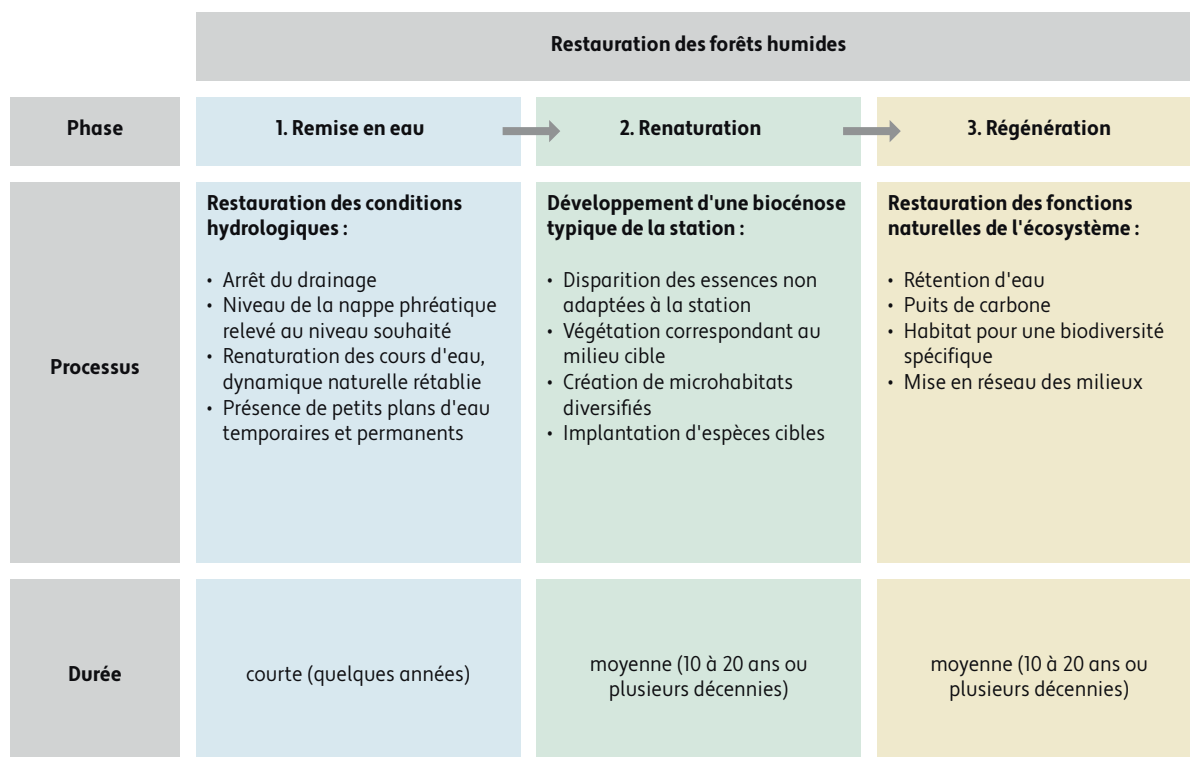


Figure 4
Déroulement d'une restauration de forêt humide avec durée prévisible des différentes phases. Graphique : élaboré par nos soins

Formes d'utilisation possibles

Zones protégées : Pour la conservation et la promotion de la biodiversité, il est préférable de classer les forêts humides en réserves forestières. Étant donné que la restauration des milieux dégradés nécessite tout au plus des mesures d'éclaircissement et d'entretien, la création de réserves forestières spéciales est tout indiquée.

Sylviculture : Certaines associations forestières humides se prêtent à une sylviculture extensive, certaines essences, par exemple l'aulne noir et les bouleaux, étant considérées comme des bois précieux [110], [112]. Ces essences ont une tolérance naturelle élevée aux sols détrempés [113]. Cependant, l'accroissement en diamètre de l'aulne noir peut souffrir de conditions humides à long terme et est généralement plus élevé dans des conditions plus sèches [111], [114], [115]. Le bois du merisier à grappes convient comme bois énergie [113]. La circulation est impossible ou très difficile dans les associations forestières décrites dans le tableau 1. L'utilisation de machines présente un risque élevé de compactage des sols. Les alternatives sont l'exploitation à l'aide de grues à câble ou de chevaux de trait.

Loisirs : Les forêts humides peuvent également servir à des fins récréatives, car leurs milieux riches en structures, avec beaucoup de lumière, une végétation variée et, dans certains cas, des mares et des étangs, sont perçus comme particulièrement attrayants. Le public bénéficie de l'aménagement de ces zones avec des chemins et d'autres éléments tels que des bancs ou des passerelles. Des panneaux d'information sur le milieu et sa biodiversité peuvent contribuer à l'éducation à l'environnement et à la mise en valeur de ces précieux espaces de vie. Dans ce cas, l'entretien des infrastructures est nécessaire et doit être assuré. Si la forêt humide renaturée abrite des espèces sensibles aux dérangements telles que le grand tétras, des mesures doivent être prises pour canaliser les flux humains afin de minimiser les perturbations.

Exemple concret : l'étang forestier Vogelmoos dans la réserve forestière spéciale de Neudorf

Contribution : Rico Hergert, canton de Lucerne

Fiche descriptive :

- Forêt entourant un site de reproduction de batraciens d'importance nationale
- Habitat cible : étang forestier pour amphibiens
- Superficie : réserve forestière de Neudorf 184 ha, Vogelmoos
- 8,5 ha, étape 2023 : 1,2 ha
- Durée : différentes étapes de 2011 à 2023
- Coûts : 30 000 francs pour la construction de l'étang lors de la dernière étape en 2023
- Responsables du projet : Département des forêts du canton de Lucerne, Rico Hergert et Viktoria Malcherek
- Lien : Fondation Pro Vogelmoos en tant que propriétaire de la forêt <https://vogelmoos.ch/>



Figure 5

Étang forestier à Vogelmoos. Photo : canton de Lucerne

Situation initiale : réserve forestière spéciale de Neudorf pour la promotion des forêts humides. Forêt sur sols argileux, entourant un site de reproduction de batraciens d'importance nationale et appartenant à une organisation de protection de la nature.

Objectifs du projet : promotion de l'habitat des amphibiens et des reptiles avec différents types d'étangs, barrage d'un fossé de drainage et remise en eau d'une partie de la forêt.

Mesures mises en œuvre : déboisement de la surface de l'étang, revalorisation de la lisière de forêt pour apporter de la lumière à l'étang, dragage de l'étang (profondeur max. 1,5 m, berges plates, compactage de l'argile comme étanchéité naturelle, trop-plein dans le fossé existant), renforcement de certains barrages avec des palplanches, plantations d'essences à bois tendre.

Mesures d'entretien : entretien selon les besoins. Maintenir les berges dégagées, réparer les digues.

Tableau F.1

Coûts du projet pendant la dernière étape de mise en œuvre en 2023 et pour l'entretien, y compris les organismes de financement respectifs.

Mesure (mise en œuvre et entretien)	Coûts	Organismes de financement
Mesures d'aménagement	30 000 CHF entrepreneur	Financé par le département Forêts, section Biodiversité forestière du canton de Lucerne, avec des contributions fédérales issues de la convention-programme
Mesures sylvicoles	5000 CHF	
Compensations	1500 CHF (versement unique)	
Entretien	Réserve forestière spéciale, entretien selon les besoins	

Résultats : les étangs se sont rapidement remplis d'eau. La colonisation par les amphibiens a été rapide, car il existe d'importantes populations dans les environs. Les arbres sont en partie dans l'eau, les effets se font lentement sentir.

Difficultés : 1) Trouver l'emplacement exact des étangs : un modèle du terrain est utile. Des expertes et experts ont signalé les sites où poussent des plantes rares devant être si possible préservées. 2) Comment et où renforcer les digues : déterminer le point le plus bas pendant la construction, principe d'essais et d'erreurs. Vérifier le système après de fortes précipitations et l'améliorer par endroits. 3) Communiquer les mesures prises dans les forêts privées : contacter directement les propriétaires forestiers, recueillir leurs préoccupations et leurs demandes, les informer de l'état d'avancement des travaux.

Quels enseignements tirer de ce projet ? Lorsque des étangs existent dans la région, les nouveaux étangs sont très rapidement adoptés par les amphibiens. Il ne doit pas nécessairement s'agir d'étangs à proprement parler ; le barrage d'un fossé permet également de créer un plan d'eau.

3.5. Restauration des forêts marécageuses

Nous regroupons dans les forêts marécageuses les forêts de hauts-marais (forêts de tourbières) et les forêts humides situées à proximité des bas-marais. Des forêts humides se développent souvent en bordure des hauts-marais et des bas-marais renaturés. 90 % des hauts-marais et 80 % des bas-marais de Suisse sont au moins partiellement entourés de forêts [116]. Ce chapitre présente d'une part les forêts de hauts-marais et d'autre part les forêts autour des bas-marais (en particulier l'association forestière n° 44 *Carici elongatae-Alnetum glutinosae*, aulnaie marécageuse à laïche). Les forêts situées à proximité des bas-marais correspondent en grande partie aux types de forêts déjà décrits au chapitre 3.4. Le présent chapitre traite principalement des mesures de restauration et d'entretien des forêts de tourbières. Lorsque cela s'avère pertinent, il décrit également les mesures applicables aux forêts humides situées autour des bas-marais, telles qu'elles sont mises en place dans le cadre de la renaturation de ces milieux.



Figure 6
Pineraie de montagne à sphaignes (Sphagno-Pinetum montanae) sur le Glaubenberg (Siterenmoos) à Sarnen. Photo : Markus Bolliger/OFEV

Marais et forêts marécageuses

D'un point de vue écologique et biologique, les marais constituent des milieux particuliers et précieux. Ils se caractérisent par des niveaux d'eau élevés et des sols tourbeux riches en matière organique [117] [118]. Les marais peuvent être classés en hauts-marais, marais de transition et bas-marais. Les hauts-marais sont en grande partie coupés des eaux souterraines et alimentés uniquement par les précipitations. Les marais de transition ou marais intermédiaires se situent à proximité des hauts-marais, dans des zones où l'eau de ces derniers se mélange à l'eau souterraine ou à de l'eau de source des environs, plus riches en minéraux. Les bas-marais sont également alimentés par les eaux souterraines, de source ou d'infiltration. Ils sont plus riches en nutriments et soumis à des fluctuations parfois importantes du niveau d'eau [118]. Les différents types de marais peuvent se fondre les uns dans les autres et former un complexe marécageux dans lequel les processus hydrologiques s'influencent mutuellement.

Les forêts de hauts-marais poussent sur le substrat de tourbe humide, pauvre en nutriments et acide, à la lisière des hauts-marais [119]. Les associations forestières des hauts-marais sont répertoriées dans le tableau 3. Les espèces spécialisées de ces milieux sont particulièrement précieuses. Outre la végétation spécifique des hauts-marais, qui comprend des sphaignes et des essences particulières telles que le bouleau pubescent et le pin de montagne, on y trouve également des tétraonidés (grand tétras, tétras lyre, gélinotte des bois), des reptiles (couleuvre à collier, vipère péliade) et des insectes.

Les hauts-marais, les marais de transition et les bas-marais, y compris les forêts de hauts-marais, sont strictement protégés en Suisse depuis l'initiative de Rothenturm de 1987. Conformément à la Constitution, tous les marais d'importance nationale doivent être préservés dans leur intégralité [120]. Malgré cette protection légale, de nombreux marais continuent de souffrir d'assèchement [121], ce qui entraîne une transformation des peuplements forestiers qui y sont associés, généralement en pessières. Les raisons de l'assèchement sont, d'une part, les systèmes de drainage encore existants des marais et, d'autre part, les modifications de l'hydrologie dans leur bassin versant. Les marais drainés ont souvent été plantés de conifères, qui prélèvent beaucoup d'eau des sols marécageux [122]. Lorsqu'un marais s'assèche, il n'y a plus de formation de tourbe. La décomposition de la tourbe entraîne la libération de CO₂, ce qui fait que la tourbière devient une source de carbone plutôt qu'un puits. D'autres facteurs contribuent à la réduction de la superficie et de la qualité des marais, notamment l'apport excessif de nutriments et l'embroussaillage croissant [123].

Tableau 3

Forêts de hauts-marais en Suisse selon l'aide à l'exécution « Biodiversité en forêt : objectifs et mesures » [1]. Numérotation des associations forestières selon Ellenberg & Klötzli (1972) [99] ou la Liste rouge des milieux de Suisse [100] et des associations végétales correspondantes selon Delarze et al. 2015 [95]. Les descriptions sont basées sur l'annexe 2A et les fiches des stations NaïS [101], la liste des espèces et des milieux prioritaires de Suisse [92] et, lorsqu'elles sont disponibles, les descriptions cantonales des stations forestières. Liste rouge des milieux de Suisse [100] : CR = au bord de la disparition, EN = en danger, VU = vulnérable, NT = potentiellement menacé, LC = non menacé. Responsabilité particulière de la Suisse d'un point de vue international : 0 = aucune, 1 = faible, 2 = moyenne, 3 = élevée, 4 = très élevée.

Association forestière (système Ellenberg & Klötzli 1972) - Milieu (système Delarze 2015) nom scientifique	Association forestière (système Ellenberg & Klötzli 1972) - Milieu (système Delarze 2015) nom français	Station	Caractéristiques forêt naturelle	Espèces pertinentes pour la protection de la nature	Statut	Responsabilité particulière CH
45 Pino-Betuletum pubescentis (Lien Tree-App) - 6.5.1 Betulion	Forêt marécageuse à Bouleau pubescent - Bétulaie sur tourbe	Présence : étages submontagnard et montagnard inférieur. Terrain plat. Dans les régions à hauts-marais. Sol : constamment engorgé, surface s'asséchant périodiquement. Humus : tourbe, recouvre l'ensemble du système racinaire. Acide.	Forêt marécageuse clairsemée composée de bouleaux et de pins, quelques épicéas et essences pionnières. Arbuste principal : bourdaine. Végétations herbacée et muscinale riches, avec sphaignes caractéristiques et molinie bleue.	Sphaignes, bouleau pubescent, callune, rossolis. Précieux pour les insectes, notamment les papillons.	EN	0
56 Sphagno- Piceetum - 6.5.3 Sphagno- Piceetum	Pessière à sphaignes typique - Pessière sur tourbe	Présence : étages montagnard supérieur et haut-montagnard. Terrain plat en bordure de tourbière. Sous-sol minéral qui retient fortement l'eau. Sol : engorgé jusqu'à la surface. Imperméable à excessivement perméable. Humus : tourbe, humus brut en cas de pâturage, anmoor (humide). Organosols engorgés influencés par l'eau de pente ou l'eau souterraine, par endroits blanchis par l'eau.	Pessières avec quelques pins de montagne, bouleaux pubescents, sorbiers des oiseleurs ; par endroits sapins rabougris. Strate arbustive peu développée. Strate herbacée avec myrtille, airelle rouge. Strate muscinale développée avec sphaignes.	Sphaignes, linaigrette en-gainante, autres plantes de tourbières. Précieux pour grand tétras, tétras lyre, bécasse des bois.	NT	0
71 Sphagno- Pinetum montanae - 6.5.2 Ledo-Pinion	Pineraie de montagne à sphaignes - Pinède sur tourbe	Présence : étages montagnard supérieur à subalpin. Terrain plat. Station de type tourbière ou similaire. Sol : constamment saturé en eau. Excessivement perméable. Humus : tourbe, organosol.	Pinède clairsemée à croissance lente avec pin couché et pin à crochet dans la tourbière, essences pionnières. Strate arbustive peu développée. Strate herbacée avec myrtille, airelle rouge, airelle des marais. Strate muscinale développée avec sphaignes.	Station de tourbière avec nombreuses espèces rares et protégées. Précieux pour grand tétras, tétras lyre et vipère péliade.	VU	2

Situations possibles

Lorsqu'une tourbière a fait l'objet d'une exploitation intensive, il est souvent très difficile de rétablir complètement les conditions d'origine. Il existe toutefois des chances de réussite pour la renaturation tant qu'il reste de la tourbe et que des espèces typiques des tourbières sont présentes, mais cela demande beaucoup de patience. De manière générale, moins le fonctionnement de la tourbière a été perturbé, plus les conditions sont favorables à la remise en eau et à la renaturation. La présence de zones quasi naturelles avec une végétation formant de la tourbe augmente les chances de réussite. Les prémisses à une renaturation sont souvent plus favorables pour les forêts marécageuses que pour les tourbières en terrain découvert. Cela s'explique par leur situation souvent isolée et donc par un drainage moins intensif en raison d'intérêts économiques moindres [124]. Une bonne connaissance des conditions hydrologiques, y compris des structures de drainage, aide à planifier les mesures de restauration des forêts marécageuses.

Considérations relatives aux coûts et aux avantages potentiels de la renaturation d'une forêt marécageuse :

- *Forêt marécageuse peu altérée et proche de l'état naturel* (légère modification des conditions hydrologiques telles que la disponibilité en eau et la teneur en nutriments) : la préservation est prioritaire. Des mesures d'optimisation dans le bassin versant, par exemple par l'agrandissement des zones tampons hydrologiques et trophiques, peuvent empêcher une détérioration progressive de l'état.
- *Forêt marécageuse dégradée par l'exploitation de la tourbe* (exploitation plus ou moins importante de la tourbière, généralement par drainage) : l'état d'origine ne peut être rétabli qu'à très long terme. Une renaturation peut néanmoins être judicieuse.
- *Forêt marécageuse dégradée par le drainage* (drainage par des fossés, des tuyaux, des captages d'eau). Les drainages devraient être supprimés afin de rétablir le niveau d'eau d'origine et de permettre les processus de renaturation.
- *Forêt marécageuse dégradée par la reconversion forestière* (drainage et modification de la forêt naturelle par plantation de conifères non typiques de la station) : les forêts marécageuses doivent être débarrassées des essences non typiques et leur rajeunissement (si possible naturel) avec des essences adaptées doit être favorisé.
- *Forêt marécageuse dégradée par l'apport de nutriments* (principalement par l'agriculture intensive dans le bassin versant) : empêcher ou réduire l'apport de nutriments provenant de l'agriculture (par épandage d'engrais ou pâture) en créant des zones tampons.

Mesures de restauration et d'entretien possibles

Le tableau 4 présente une liste des mesures possibles pour la renaturation et l'entretien des forêts marécageuses, y compris une estimation du temps et des coûts nécessaires.

Mesures d'aménagement hydraulique : La mesure la plus importante pour la restauration des marais et des forêts marécageuses est le rétablissement du niveau d'eau d'origine. L'élévation du niveau d'eau est principalement obtenue en bloquant les fossés de drainage (comblement ou construction de barrages avec différents matériaux). Afin de permettre la croissance de la tourbe, le niveau d'eau obtenu par les mesures doit se situer en moyenne entre 0 et 10 cm sous la surface pendant les mois d'été et à 20 cm sous la surface à son niveau le plus bas [124]. Si le niveau d'eau est trop bas, la tourbe ne peut pas se former et la tourbière reste une source de carbone. Des modèles numériques de surface peuvent être utilisés pour planifier le comblement ou le barrage des fossés de drainage jusqu'au niveau d'eau souhaité (par exemple [125], [126]). Le comblement des fossés de drainage est la méthode la plus efficace pour élever le niveau d'eau (en particulier sur les pentes ayant une déclivité supérieure à 1-2 %). Mais le barrage des fossés de drainage nécessite moins de matériaux et de temps ([103], [127]) et est également efficace, surtout en terrain plat. Le barrage de fossés de drainage crée de nouveaux milieux aquatiques qui peuvent servir d'habitat à de nombreux organismes, mais qui ne sont pas forcément comparables aux gouilles naturelles des marais [128]–[130]. Les plans d'eau plus grands et permanents émettent toutefois du méthane, un gaz à effet de serre.

Si l'on prévoit d'enlever la couche supérieure du sol lors de la renaturation de marais ou de forêts marécageuses, les matériaux ainsi retirés peuvent être utilisés pour combler les fossés de drainage [104], [131], [132]. Le décapage de la couche supérieure permet de réduire le lessivage des nutriments des couches de tourbe dégradée [132] et d'éliminer les graines de plantes non adaptées à la station. Pour la protection des marais, y compris des forêts marécageuses, il est essentiel de créer des zones tampons hydriques et trophiques autour du complexe marécageux. Elles peuvent être déterminées à l'aide des méthodes « espace marais » (zones tampons hydrologiques, [133]) et de la clé des zones tampons 1997 (zones tampons trophiques, [134]).

Mesures sylvicoles : Des objectifs de protection spécifiques s'appliquent aux forêts marécageuses [135]. Le rajeunissement forestier doit se faire naturellement dans la mesure du possible et seulement avec des essences typiques de la station. L'élimination des conifères non typiques (notamment les épicéas) a pour conséquence une évaporation moindre et une infiltration plus importante des précipitations. Il en résulte une élévation du niveau d'eau dans la forêt marécageuse et donc de meilleures conditions pour la renaturation et la régénération. Les lisières des forêts marécageuses doivent être riches en structures et pourvues d'essences typiques de la station. Elles constituent des habitats précieux pour différentes espèces cibles potentielles et assurent la mise en réseau des milieux.

Mesures d'entretien : Les forêts marécageuses intactes ne nécessitent aucune mesure d'entretien. Cependant, comme de nombreuses forêts de hauts-marais et de bas-marais ont été dégradées par des exploitations passées, en particulier par l'extraction de la tourbe, des mesures de revalorisation sont nécessaires. Tant que le niveau d'eau n'est pas suffisamment élevé et que la disponibilité en nutriments est encore trop importante, il est nécessaire d'empêcher l'embroussaillage à la main ou à l'aide de machines. On ne peut pas utiliser le bétail dans les forêts de hauts-marais, car celles-ci sont particulièrement sensibles aux dommages causés par le piétinement et à l'apport de nutriments. La lutte contre les néophytes peut également s'avérer nécessaire, car celles-ci peuvent rapidement coloniser les sols nus créés lors de la renaturation et empêcher l'implantation d'une végétation typique de la station. La présence de néophytes dans les marais et les forêts marécageuses de Suisse est toutefois relativement faible [123].

Informations complémentaires : Il existe une aide à l'exécution détaillée sur la régénération des hauts-marais, mais aussi des bas-marais [136]. Le manuel « Conservation des marais en Suisse » [118] et de nombreux autres documents (<https://www.biodivers.ch/de/index.php/Feuchtgebiete#Renaturierungen>, pour l'instant uniquement disponible en allemand) sont également utiles. Le guide « Global guidelines for peatland rewetting and restoration » a été publié dans le cadre de la Convention de Ramsar (Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau) [103]. En Allemagne, les mesures et les résultats de près de 20 ans de protection des forêts marécageuses et de renaturation dans le Brandebourg ont été étudiés [124]. Dans ce contexte, le « DSS-WAMOS » (système d'aide à la décision pour la gestion des marais et des forêts marécageuses) a été développé. Il peut fournir des recommandations d'action spécifiques à chaque projet pour la protection, la renaturation et la gestion des marais et des forêts marécageuses (www.dss-wamos.de, [137]). Le DSS-WAMOS est destiné aux marais de plaine et de moyenne montagne en Allemagne et ne concerne pas la renaturation des forêts de hauts-marais [137].

Tableau 4

Mesures de mise en œuvre possibles pour la restauration des forêts marécageuses. Les informations relatives au temps et aux coûts des mesures sont basées sur les estimations d'expertes et experts. Temps nécessaire : très court (< 1 jour), court (quelques jours), moyen (semaines à mois), long (quelques années), très long (de nombreuses années). Coûts : estimation pour les mesures individuelles par rapport à d'autres mesures possibles dans le cadre d'un projet, faibles (poste mineur dans le budget global), moyens (poste moyen dans le budget global), élevés (poste significatif dans le budget global).

Mesure	Détails	Temps nécessaire	Coûts (estimation)
Mesures d'aménagement hydraulique			
Comblement des fossés de drainage (comblement complet)	Idéalement avec de la tourbe, mais peut être complété, en fonction de la disponibilité des matériaux, par exemple avec de la sciure d'épicéa.	court à moyen	moyens à élevés (selon l'accessibilité)
Construction de barrages dans les fossés de drainage	Les tuyaux ne doivent pas être complètement retirés sur les terrains plats ou en pente douce. Il suffit ici de retirer les tuyaux par sections et de boucher les ouvertures des deux côtés, par exemple avec du bois et de la terre compactée ou des bouchons de tuyaux. À partir d'une pente de 1 à 2 degrés, les tuyaux de drainage doivent être entièrement retirés. L'utilisation de machines est généralement nécessaire, il convient de veiller autant que possible à protéger le sol environnant.	moyen	moyens à élevés
Endiguement des cours d'eau par les castors	Les cours d'eau situés à proximité de forêts en bordure de bas-marais peuvent être endigués, entre autres, par les castors. Dans ce cas, aucune autre mesure n'est nécessaire, sauf éventuellement pour la création d'une réserve forestière spéciale ou pour éviter les conflits (chapitre 3.9 Remise en eau des forêts par les castors). Il est également possible de procéder à un endiguement artificiel à l'aide de « Beaver Dam Analogs » (encadré 4).	Aucun (sauf création d'une réserve forestière spéciale)	Aucun
Création de zones tampons	Création de zones tampons hydriques et trophiques dans lesquelles aucune intervention n'est autorisée et qui ont un effet positif sur les bilans hydrique et trophique des forêts marécageuses.	moyen à long	moyens à élevés
Décapage de la couche supérieure du sol	Décapage de la couche de tourbe dégradée afin d'empêcher le lessivage des nutriments après la remise en eau, d'éliminer les graines indésirables et d'obtenir des matériaux pour le comblement des fossés.	court à moyen	élevés
Création de petits plans d'eau	voir chapitre 3.8 Petits plans d'eau et autres structures d'habitat comme mesure complémentaire	court à moyen (couche d'argile existante vs apport de matériaux d'étanchéité)	moyens

Mesures sylvicoles			
Implantation d'espèces typiques de la station	Si possible par rajeunissement naturel.	court à long (en fonction de l'état initial)	moyens (en fonction de l'abroustissement et de la concurrence végétale)
Élimination des conifères non adaptés à la station dans le bassin versant	Les conifères (en particulier les épicéas) prélèvent beaucoup d'eau du sol marécageux et doivent être éliminés ou réduits afin d'atteindre l'association forestière cible.	généralement une seule fois	faibles
Développement de lisières forestières en bordure des marais	Plantation d'essences adaptées à la station en lisière de forêt et développement de lisières riches en structures afin d'assurer la connexion entre le marais ouvert et la forêt marécageuse pour les espèces cibles (faune).	moyen à long	faibles à moyens
Plantations dans le marais	Ne doivent être entrepris que s'il n'y a pas de végétation adéquate dans les environs permettant une colonisation rapide.	moyen	faibles à moyens
Élimination des néophytes	Les néophytes envahissantes doivent être éliminées de la zone du projet afin de ne pas entraver la renaturation.	court à moyenne	faibles à moyens
Création de petites structures	Chapitre 3.8 Petits plans d'eau et autres structures d'habitat comme mesure complémentaire	court à moyen	faibles à moyens
Mesures d'entretien			
Contrôle du fonctionnement des barrages	Le fonctionnement des barrages dans les fossés de drainage doit être contrôlé et, si nécessaire, ils doivent être renforcés, entretenus ou déplacés afin d'en garantir l'efficacité.	court à moyen	faibles à moyens
Élimination de la couverture végétale dégradée pour régénérer les associations végétales typiques des marais	L'élimination de la végétation non typique de la station peut permettre et accélérer l'implantation d'associations végétales typiques des marais.	court à moyen	moyens à élevés
Prévention de l'embroussaillage	Élimination des buissons et des jeunes arbustes afin d'empêcher la transformation des zones marécageuses ouvertes en forêts ou en forêts marécageuses claires. L'ampleur dépend du niveau d'eau, du type de marais et des espèces ou milieux dignes de protection présents dans la région.	À l'aide de machines : court À la main : court à moyen	À l'aide de machines : faibles À la main : faibles à moyens

Prévention de l'embroussaillage par le pâturage du bétail	Ne pas utiliser le pâturage par le bétail dans les forêts de hauts-marais, car elles sont sensibles au piétinement et à l'apport de nutriments. Avec un accompagnement professionnel, le pâturage – par exemple avec des buffles domestiques ou des vaches highland – est possible dans les forêts situées en bordure des bas-marais.	moyen (le bien-être animal nécessite un contrôle quotidien du bétail, accompagnement professionnel nécessaire)	faibles à moyens
Élimination des néophytes	Les néophytes envahissantes doivent être localisées dans le cadre de contrôles des résultats et éliminées de la zone du projet.	moyen à long	faibles à moyens

Déroulement prévisible du projet

Remise en eau : Une remontée du niveau d'eau se produit après la fermeture des fossés de drainage. Dans le meilleur des cas, le niveau d'eau d'origine peut être rétabli en quelques années (figure 7). Cependant, les effets à grande échelle de la restauration ne sont pas aussi importants que ceux du drainage : Les fossés drainent souvent latéralement une zone plus grande que celle qui est remise en eau par leur obstruction ultérieure [106]. Cela est dû au compactage du sol après le drainage, qui réduit à long terme sa perméabilité à l'eau.

La modification de la disponibilité en eau due au changement climatique représente un défi majeur pour la remise en eau à long terme des forêts marécageuses. La sécheresse croissante et la hausse des températures entraînent déjà aujourd'hui la disparition locale de la végétation hautement spécialisée, en particulier dans les zones de basse altitude [121], [138], [139]. L'élévation du niveau de l'eau par la fermeture des fossés de drainage peut certes contrer cette évolution, mais probablement pas l'arrêter complètement [138], [140], [141]. L'intensité saisonnière des fluctuations du niveau d'eau devrait augmenter à partir de la seconde moitié du XXI^e siècle et perturber de plus en plus la croissance des sphaignes [142].

Renaturation : La remise en eau d'une forêt de haut-marais ou d'une forêt associée à un bas-marais transforme la végétation dans la zone concernée (figure 7). En premier lieu, les arbres et d'autres plantes qui ne sont pas adaptés à un niveau d'eau en permanence proche de la surface meurent. La forêt s'éclaircit. Ce processus peut être accéléré par l'élimination des essences non adaptées à la station. Un rajeunissement naturel avec des essences typiques est possible là où il existe encore des peuplements résiduels des associations forestières cibles. Le programme de recherche « Forêts et changements climatiques » (www.tree-app.ch) fournit pour certaines associations forestières des recommandations pour la promotion d'essences adaptées aux conditions futures. Les liens correspondants figurent dans le tableau 3. Ces recommandations comprennent également des essences typiques des forêts de hauts-marais (bouleau pendant et bouleau pubescent, pin sylvestre, épicéa). Le pin de montagne et le sorbier des oiseaux sont probablement aussi capables de survivre dans les forêts de hauts-marais malgré le changement climatique.

La végétation typique de la station s'installe relativement rapidement s'il reste des peuplements dans la région [138], [142]. Un développement rapide de cette végétation peut empêcher la colonisation de la forêt de haut-marais ou des forêts associées aux bas-marais par des espèces indésirables. Le portail d'information Swissbryophytes (www.swissbryophytes.ch) recueille les informations sur la présence des bryophytes en Suisse. En raison de l'augmentation des températures et de la sécheresse, toutes les espèces spécialisées des marais ne survivront cependant pas au cours des prochaines décennies [138], [139], en particulier celles qui sont mal adaptées à la sécheresse.

Les espèces animales cibles colonisent souvent les forêts marécageuses renaturées en quelques années, à condition que des populations soient présentes dans les zones voisines et que les milieux soient interconnectés. La capacité de dispersion des espèces joue un rôle important. Ainsi, la colonisation par des libellules telles que la leucorrhine à gros thorax se fait en quelques années [109].

Régénération : Après une exploitation intensive de la tourbe, il est pratiquement impossible de rétablir les conditions d'origine de l'écosystème [103]. Les quantités de carbone initialement stockées par la tourbière ou la forêt marécageuse ne se reconstituent qu'au fil des siècles (dans les hauts-marais suisses, la croissance de la couche de tourbe est d'environ 1 mm par an dans des conditions favorables). Malgré ces restrictions, une régénération des fonctions écosystémiques a lieu dans les forêts renaturées de hauts-marais et de bordure de bas-marais. Alors que certaines fonctions écosystémiques redeviennent opérationnelles en quelques années ou décennies (rétention d'eau, fonction d'habitat), il peut s'écouler beaucoup de temps avant que les marais et les forêts marécageuses ne redeviennent des puits de gaz à effet de serre et ne stockent à nouveau du carbone grâce à la formation de tourbe (figure 7). La préservation de la tourbe encore présente est toutefois assurée directement par la remise en eau.

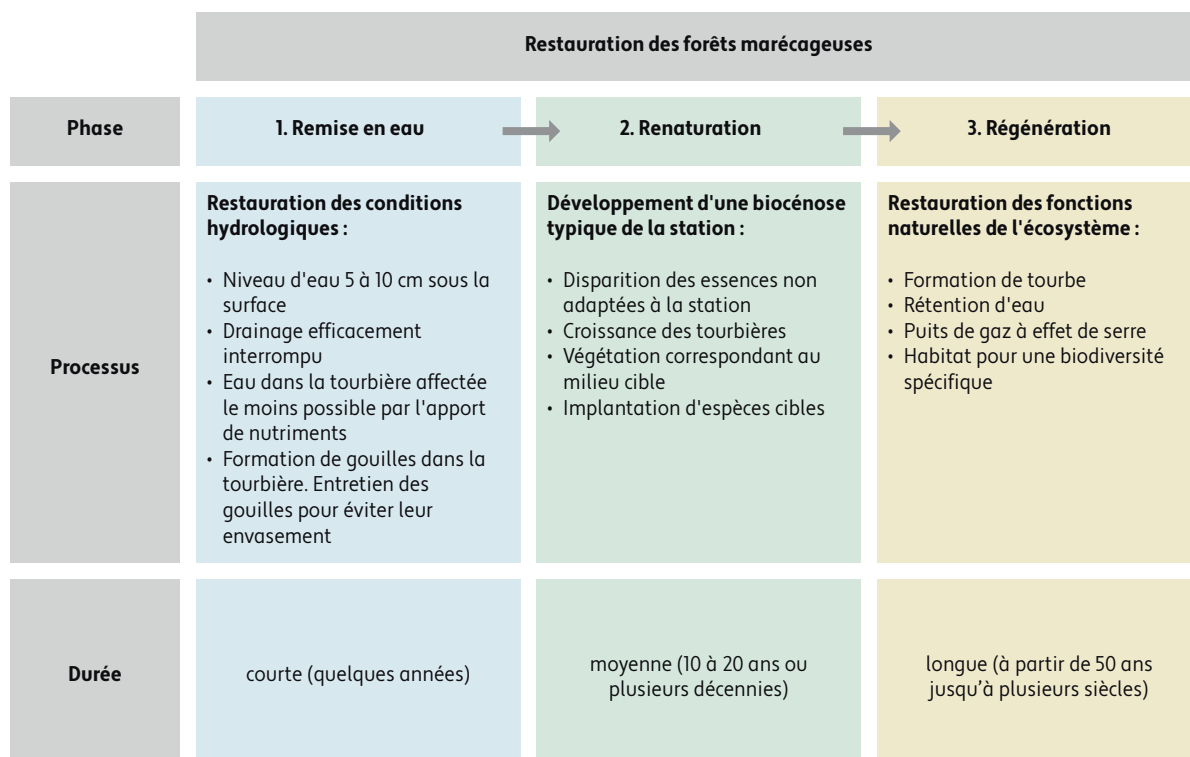


Figure 7

Déroulement d'une restauration de forêts marécageuses avec durée prévisible des différentes phases. Graphique : élaboré par nos soins

Formes d'utilisation possibles

Zones protégées : En Suisse, les marais, y compris les forêts marécageuses, sont protégés par la Constitution. Dans une forêt de haut-marais ou une forêt en bordure d'un bas-marais, la sylviculture n'est donc autorisée que si elle est conforme aux objectifs de protection. Le rajeunissement doit se faire avec des essences indigènes typiques de la station et de la manière la plus naturelle possible [116]. Lorsque les bas-marais ne sont plus exploités, ils se transforment souvent en forêts, en particulier s'ils sont traversés par des fossés de drainage. Si le reboisement donne naissance à une forêt marécageuse, cela peut être conforme aux objectifs de protection [116] et des mesures appropriées devraient être prises pour préserver ces forêts. Les associations forestières telles que les forêts inondables, qui croissent souvent autour des bas-marais, sont abordées au chapitre 3.4 Restauration des différentes forêts humides.

Sylviculture : Les forêts de hauts-marais pauvres en nutriments ne devraient faire l'objet d'aucune exploitation ni être utilisées pour le pâturage, car leur végétation spécialisée est sensible au piétinement et à l'apport de nutriments.

Loisirs : Les forêts de hauts-marais et celles associées aux bas-marais peuvent être utilisées comme zones de loisirs et pour l'éducation à l'environnement. Dans ce cas, il est nécessaire de canaliser les flux humains de manière ciblée afin d'éviter les dommages causés par le piétinement, les déchets et autres activités qui ont un impact négatif sur les milieux.

Exemple concret : remise en eau de l'Egelmoos

Contribution : Marianne Rutishauser, Pro Natura Argovie

Fiche descriptive :

- Emplacement : Niederrohrdorf AG
- Milieux : mosaïque de bas-marais, d'aulnaies noires et de marais de transition
- Superficie : 170 ares
- Durée : 2019 à 2022
- Coût : 130 000 francs
- Contact : Marianne Rutishauser, Pro Natura Argovie
- Lien : www.pronatura-ag.ch



Figure 8

Bas-marais d'Egelmoos remis en eau. Photo : Marianne Rutishauser

Situation initiale : assèchement important pendant la saison estivale en raison d'un barrage défectueux et de fossés de drainage. La végétation de marais et la tourbe encore présente sont menacées.

Objectifs du projet : rétablissement du régime hydrologique naturel dans la tourbière de transition d'Egelmoos, promotion des espèces animales et végétales des marais.

Mesures :

Planification : définition des objectifs, analyses du sol, négociations avec les partenaires des parcelles voisines, définition des mesures, estimation des coûts et demande de permis de construire.

Mesures d'aménagement : comblement des fossés de drainage, installation d'un barrage avec vanne et écoulement dans un drainage, aménagement de structures au niveau du barrage pour permettre la sortie des amphibiens, accompagnement scientifique.

Contrôles des résultats : hydrologie et végétation.

Mesures d'information : panneau d'information, visite du site.

Mesures d'entretien : pâturage avec des buffles domestiques dans des enclos surveillés et adaptés au niveau d'eau. Fauche des parcelles difficilement pâturables. Les surfaces de comparaison de la végétation montrent que le développement des sphaignes est équivalent sur les parcelles fauchées et sur celles pâturées.

Tableau F.2

Coûts du projet pendant la mise en œuvre et pour l'entretien, y compris les organismes de financement respectifs.

Mesure (mise en œuvre et entretien)	Coûts	Organismes de financement
Planification, mise en œuvre, contrôle des résultats	130 000 CHF	Fonds natura-made star ewz, Confédération et Pro Natura
Acquisition de terrains	divers	Pro Natura, divers
Entretien : pâturage extensif et fauche	annuels	Canton d'Argovie, département des forêts

Résultats : dès la première année, la rétention d'eau s'est considérablement améliorée au printemps et les sols sont plus humides.

Difficultés : avant que le projet puisse être mis en œuvre, il a fallu acquérir et échanger des terrains pendant plusieurs décennies.

Quels enseignements tirer de ce projet ? L'implication précoce des autorités locales et des propriétaires fonciers voisins a contribué à la réussite du projet. En raison du changement climatique, le site peut encore s'assécher pendant la saison estivale, car le bassin versant n'est pas très étendu. Il est important d'assurer un entretien flexible (fauche et pâturage) afin d'assurer une préservation optimale du site en fonction de l'humidité du sol. L'Egelmoos montre que la renaturation des marais peut également permettre de restaurer les forêts environnantes, en l'occurrence une forêt inondable.

3.6. Restauration des forêts alluviales

Définition des forêts alluviales et de leurs associations forestières

Les zones alluviales comptent parmi les écosystèmes les plus riches en espèces et les plus menacés au monde [56]–[58]. Elles dépendent de la dynamique des cours d'eau au bord desquels elles se trouvent. Les forêts alluviales peuvent être divisées en forêts alluviales à bois tendres et à bois durs. Les premières sont situées directement au bord des cours d'eau, à la limite de la cote de niveau des hautes eaux, et sont donc caractérisées par des inondations régulières de longue durée. Les secondes se trouvent au-dessus de la cote de niveau des hautes eaux et ne sont généralement inondées que lors de crues exceptionnelles, pendant une période relativement courte. Leurs sols sont toutefois influencés par les eaux souterraines proches du cours d'eau. Les inondations plus ou moins régulières caractérisent les milieux alluviaux et créent des habitats diversifiés pour des espèces spécialisées, qui sont souvent peu compétitives ailleurs. 84 % de toutes les espèces présentes en Suisse se trouvent dans les zones alluviales, 10 % en dépendent même [143]. Les associations forestières qui, en Suisse, ne se trouvent que dans les forêts alluviales à dynamique fluviale naturelle sont répertoriées dans le tableau 5. Toutes les forêts alluviales font partie des associations forestières menacées selon la Liste rouge [100].

La rectification, l'approfondissement et l'endiguement des cours d'eau, notamment aux XIXe et XXe siècles, ont progressivement empêché les inondations des zones riveraines, perturbé le transport des sédiments et abaissé le niveau de la nappe phréatique de nombreuses forêts alluviales. Ces écosystèmes si précieux pour la biodiversité ont ainsi été modifiés, voire détruits. De plus, 95 % des forêts alluviales d'origine ont été défrichées [1]. Celles qui restent souffrent également d'une perte insidieuse de qualité écologique si elles continuent d'être coupées de la dynamique des cours d'eau [144]. La renaturation des zones alluviales est aujourd'hui un objectif important de la protection des eaux et de la nature en Suisse [145] et en Europe (directive-cadre sur l'eau, [146], loi sur la restauration de la nature [147]).

En Suisse, la restauration des zones alluviales est liée à la renaturation des cours d'eau. Le présent rapport se concentre sur la renaturation des forêts alluviales et non sur la restauration des cours d'eau, des surfaces de gravier, etc. Les objectifs de la renaturation des cours d'eau sont de garantir un espace pour la dynamique naturelle, un meilleur transport des sédiments et un débit suffisant (y compris des débits résiduels appropriés en aval des centrales hydroélectriques).



Figure 9

La Borgne coule au sud-sud-ouest d'Évolène à travers une aulnaie alluviale, avec des tamaris des Alpes sur ses rives. Un banc de gravier et du bois flotté témoignent de la dynamique de la rivière. Photo : Jan Ryser/OFEV

Tableau 5

Forêts alluviales de Suisse selon l'aide à l'exécution « Biodiversité en forêt : objectifs et mesures » [1]. Numérotation des associations forestières selon Ellenberg & Klötzli (1972) [99] ou la Liste rouge des milieux de Suisse [100] et des associations végétales correspondantes selon Delarze et al. 2015 [95]. Les descriptions sont basées sur l'annexe 2A et les fiches des stations NaïS [101], la liste des espèces et des milieux prioritaires de Suisse [92] et, lorsqu'elles sont disponibles, les descriptions cantonales des stations forestières. Liste rouge des milieux de Suisse : CR = au bord de la disparition, EN = en danger, VU = vulnérable, NT = potentiellement menacé, LC = non menacé. Responsabilité particulière de la Suisse d'un point de vue international : 0 = aucune, 1 = faible, 2 = moyenne, 3 = élevée, 4 = très élevée.

Association forestière (système Ellenberg & Klötzli 1972) - Milieu (système Delarze 2015) nom scientifique	Association forestière (système Ellenberg & Klötzli 1972) - Milieu (système Delarze 2015) nom français	Station	Caractéristiques forêt naturelle	Espèces pertinentes pour la protection de la nature	Statut	Responsabilité particulière CH
28 Ulmo-Fraxinetum - 6.1.4 Fraxinion (Lien Tree-App)	Frênaie à Orme typique - Frênaie humide	Présence: étages collinéen et submontagnard. (Anciennes) zones alluviales dans les vallées fluviales de basse altitude. Inondées naturellement de manière régulière (généralement pas chaque année). Sol: engorgement fort à moyen. Sous-sol graveleux. Humus: peu développé, mull. Sols engorgés influencés par les eaux souterraines. Régosol, pararendzine.	Forêt alluviale à bois durs. Forêt de frênes vigoureuse avec aulne blanchâtre, orme montagnard, aulne glutineux, chêne pédonculé. Pas de hêtres. Strate arbustive très développée. Strate herbacée avec prêle d'hiver.	Bois gentil, ancolie commune, gouet, fusain d'Europe, listère ovale, saule marsault. Orchidées possibles. Papillons : petit mars changeant, grand mars changeant, grand sylvain. Précieux pour les amphibiens. Habitat pour castor, musaraigne aquatique et musaraigne de Miller.	EN	0
29 Ulmo-Fraxinetum listeretosum - 6.1.4 Fraxinion (Lien Tree-App)	Frênaie à Orme avec listère, forêt riveraine - Frênaie humide	Présence: étages collinéen à montagnard inférieur. Zones alluviales le long des rivières. Rarement inondé, également à l'origine. Sol: engorgement temporaire jusqu'à 30 cm sous la surface. Bonne perméabilité Humus: mull, mull calcaire (hydroformes). Sols limoneux/sableux, gleyifiés.	Forêts alluviales à bois durs des étages supérieurs. Forêt mixte de feuillus à forte croissance, sans hêtre. Avec frêne, érable sycomore, chêne pédonculé. Strate arbustive luxuriante avec merisier à grappes, nombreuses espèces indicatrices de nutriments. En cas d'absence d'inondations, dégradation en hêtraie.	Gouet, listère ovale, houblon, anémone jaune, pigamon à feuilles d'ancolie, pigamon jaune. Papillons : petit mars changeant, grand mars changeant, grand sylvain. Habitat pour castor, musaraigne aquatique et musaraigne de Miller.	NT	0
31 Equiseto-Alnetum incanae - 6.1.3 Alnion incanae	Aulnaie à prêle - Aulnaie alluviale	Présence: étages collinéen à montagnard inférieur, zone inondable le long des rivières. À l'origine, inondé chaque année. Sol: fluvisol influencé en permanence par les eaux souterraines et les inondations fréquentes. Humus: mull. Sols engorgés jeunes, peu développés, gleyifiés.	Aulnaie alluviale composée d'arbres du même âge sur des îlots de gravier et le long des rivières et des ruisseaux. Strate arborée de petite taille, dominée par l'aulne blanchâtre. Dans la strate herbacée, nombreuses graminées et plantes de haute taille avec prêles, orties et lamiers, solidage géant.	Espèces des forêts alluviales à bois tendre, dépendantes de la dynamique alluviale. Peuplier noir, houblon, tramète rougissante. Habitat pour le castor.	CR	2

32/32C Calamagrostio- Alnetum incanae - 6.1.3 Alnion incanae (Lien Tree-App)	Aulnaie riveraine à Calamagrostide bigarrée - Aulnaie alluviale	Présence: étages montagnard inférieur à submontagnard. Zone inondable des rivières et des grands ruisseaux. Inondée au moins tous les 10 ans. Sol: fluvisols, périodiquement fortement inondés. Bonne perméabilité. Humus: mull. Sol peu développé. Alcalin, riche en gravier et en nutriments.	Forêt d'aulnes blanchâtre à croissance modérée à proximité immédiate du cours d'eau, parfois avec quelques épicéas. Strate herbacée luxuriante, haute et riche en espèces, mégaphorbiaies souvent dominées par le pétasite blanc.	Particulièrement intéressant en raison de la strate herbacée très riche en espèces (pétasite blanc, chérophylle cilié, silène dioïque, gaillet gratteron). Inondations régulières favorisant les espèces pionnières et une succession dynamique.	VU	3
32*/32S Alno-Salicetum pentandrae - 6.1.3 Alnion incanae	Saulaie à Saule laurier - Aulnaie alluviale	Présence: étage subalpin. Le long des tronçons fluviaux plats. Inondations annuelles. Sol: inondé chaque année. Influencé par les eaux souterraines/de pente. Marécageux à légèrement humide. Perméabilité très élevée à moyenne. Humus: mull (humide par endroits), en partie anmoor, tourbe calcaire, érodé. Fluvisol, régosol, pararendzine, rendosol. Graveleux-sableux, profond.	Forêt basse avec aulne blanchâtre, épicéa, saule marsault. Strate arbustive avec saule laurier et autres saules. Strate herbacée avec nombreuses plantes de haute taille. Peuvent être emportés par des crues extrêmes, puis nouveau développement alluvial.		CR	3
43 Salicetum albae - 6.1.2 Salicion albae (Lien Tree-App)	Saulaie blanche - Saulaie blanche	Présence: étages collinéen à montagnard inférieur. Zones riveraines régulièrement fortement inondées. Sol: régulièrement fortement inondé, niveau élevé de la nappe phréatique. Perméabilité élevée à normale. Humus: mull calcaire. Fluvisols, gleys, sols jeunes. Surfaces ouvertes de sable et de gravier.	Forêt alluviale à bois tendres, fourrés de saules souvent inondés avec saule blanchâtre, autres espèces de saules, peuplier noir. Strate arbustive peu développée avec mûres et divers saules. Strate herbacée luxuriante, très variable avec alliaire officinale, ortie dioïque, alpestré roseau.	Saule blanchâtre et autres saules, peuplier noir, dont le bois tendre et les nombreuses cavités offrent un habitat aux insectes xylophages. Habitat pour le castor, des poissons et des oiseaux aquatiques. Précieux pour les amphibiens (crapaud calamite, rainette verte).	EN	0

43* Coronillo- Populetum nigrae - 6.1.2 Salicion albae	Peupleraie à coronille - Saulaie blanche	Présence: étages collinéen à montagnard inférieur. Sur des bancs de gravier élevés, formés par de fortes crues. Sol: haute perméabilité. Nappe phréatique basse. Humus: mull. Fluvisols profonds (poliphasiques, peu brunifiés), avec des dépôts sableux et des horizons brunifiés.	Groupes de peupliers noirs à croissance rapide avec saule drapé, bouleaux, pins, tilleul à petites feuilles, cerisier sauvage, frêne. Strate arbustive développée. Strates arbustive et herbacée avec mélange d'espèces alluviales (calamagrostide commune, molinie littorale), d'espèces xérophiles (troène vulgaire, épine-vinette, genévrier) et d'espèces du climax (lierre, brachypode des forêts).	Peuplier noir, aubépine à un style	CR	1
66 Pyrolo- et Ligustro-Pinetum - 6.4.2 Erico-Pinion sylvestris (Lien Tree-App)	Pinède à pyrole et pineraie à Troène vulgaire - Pinède subcontinentale basophile	Présence: étage submontagnard. Buttes de gravier sur des surfaces sèches et perméables de gravier ou de sable dans la zone alluviale. Inondé uniquement en cas de crue extrême. Sol: rarement inondé. Nappe phréatique uniquement dans les couches profondes du sol. Perméabilité extrême. Luvisol, régosol sur sables et graviers calcaires.	Petits peuplements clairsemés de pin sylvestre à faible croissance, avec essences feuillues telles que chêne sessile, charme, alisier blanc, cerisier sauvage, érables plane et champêtre, peuplier noir et épicéa (apporté par les crues). Strate arbustive luxuriante et riche en espèces avec aubépines, troène vulgaire, merisier à grappes, épine-vinette, viorne lantane. Strate herbacée caractérisée par la laiche blanche et le lierre couvrant le sol.	Peuplier noir, aubépine à un style, tamier commun. Coléoptères et orthoptères spécialisés.	CR	2

Situations possibles

Lors de la pondération des coûts et des avantages potentiels d'une renaturation de forêt alluviale, il faut évaluer la situation initiale de la forêt, et en tenir compte lors de la planification des mesures :

- *Forêt alluviale peu dégradée et proche de l'état naturel* (légère modification des conditions hydrologiques telles que les inondations et le niveau de la nappe phréatique) : priorité à la conservation. Forêt alluviale probablement inscrite à l'inventaire fédéral des zones alluviales d'importance nationale [144], de sorte que l'entretien des objets doit être effectué conformément à l'ordonnance sur les zones alluviales [148]. Des mesures d'optimisation de la dynamique des cours d'eau (p. ex. débits résiduels appropriés dans le bassin versant) peuvent empêcher une détérioration progressive de l'état.
- *Forêt alluviale dissociée de la dynamique des cours d'eau, mais possibilités d'inondations naturelles* : renaturation possible. Si les cours d'eau sont influencés par l'exploitation hydroélectrique, la dynamique alluviale doit être prise en compte lors du renouvellement des concessions et des débits résiduels appropriés doivent être prévus.
- *Forêt alluviale dissociée de la dynamique fluviale et absence de possibilités d'inondations naturelles* (limitations dues par exemple à l'exploitation hydroélectrique, à la protection contre les crues, à la protection de l'eau potable) : renaturation impossible. Étudier les possibilités d'inondations contrôlées afin d'imiter la dynamique naturelle. Des interventions sylvicoles permettent au moins de créer des stades de succession de la dynamique alluviale.
- *Forêt alluviale dégradée par l'abaissement du niveau de la nappe phréatique* (approfondissement du cours d'eau, drainage par des fossés ou des tuyaux) : des mesures hydrologiques visant à relever le niveau de la nappe phréatique (suppression des drainages, aplanissement des berges, permettre la sédimentation dans le tronçon fluvial, etc.) sont nécessaires pour la renaturation.
- *Forêt alluviale dégradée par la reconversion forestière* (drainage et modification de la forêt naturelle par des essences non typiques de la station) : les forêts alluviales devraient être progressivement débarrassées des essences non typiques et leur rajeunissement (si possible naturel) avec des essences adaptées à la station devrait être favorisé. En raison de la colonisation facile des forêts alluviales par des néophytes, des interventions sylvicoles sont souvent nécessaires pour permettre aux espèces indigènes de s'établir.
- *Forêt alluviale réduite ou détruite par le déboisement* (zone alluviale potentielle dépourvue de forêt ou ne comprenant plus que des vestiges de forêt alluviale) : le reboisement permet de réimplanter ou d'agrandir une forêt alluviale. Des forêts alluviales supplémentaires seraient précieuses pour la mise en réseau des forêts alluviales encore existantes.

Mesures de restauration et d'entretien possibles

Le tableau 6 présente un aperçu des mesures possibles pour la renaturation et l'entretien des forêts alluviales, y compris une estimation du temps et des coûts nécessaires.

Mesures d'aménagement hydraulique : Ces mesures visent à rétablir le régime hydrologique naturel des forêts alluviales. Cela concerne en particulier l'inondation régulière lors des crues et l'élévation du niveau de la nappe phréatique. Ces conditions hydrologiques sont indispensables au développement et à la pérennité des forêts alluviales naturelles, y compris de leurs services écosystémiques. La majorité des mesures hydrauliques liées à la restauration des forêts alluviales concernent la renaturation des cours d'eau. Cela comprend la suppression des consolidations des berges, la restauration du cours naturel des rivières, du régime d'écoulement et du charriage, le raccordement des affluents et un débit suffisant grâce à des quantités d'eau résiduelles appropriées en aval des centrales hydroélectriques. Des documents d'information détaillés sur la renaturation des cours d'eau [149], [150] ont été publiés par la Plateforme Revitalisation de l'Agenda 21 pour l'eau [151] et par le Programme de recherche Aménagement et écologie des cours d'eau [152]. Ces mesures ne sont donc

pas abordées en détail ici. Si l'exploitation des centrales hydroélectriques limite le rétablissement d'un régime naturel d'inondation, il est possible d'obtenir une dynamique par des inondations contrôlées. Cela permet le développement répété de surfaces pionnières et donc de stades de succession, ce qui conditionne la diversité des milieux et des espèces des biotopes alluviaux en général [153]–[155]. Les forêts alluviales à bois durs, en particulier, sont souvent drainées par des fossés ou des tuyaux. Dans ce cas, les systèmes de drainage devraient être supprimés ou obturés selon les méthodes décrites dans les chapitres précédents.

Mesures sylvicoles : En raison de la perte importante de surface, en particulier des forêts alluviales à bois tendres, il peut être nécessaire de réimplanter ces associations forestières dans des sites appropriés où la dynamique hydrologique a été restaurée, afin d'assurer leur existence et leur interconnexion le long d'un système fluvial [156], [157]. Pour ce faire, on recourt souvent, au début d'un projet, à la plantation d'espèces pionnières typiques des forêts alluviales. Cela peut se faire à partir de boutures, qui s'établissent particulièrement bien dans les sites à sédiments fins [156], [157]. Une plantation combinée de saules sur les bancs de gravier du bord de rivière, souvent inondés, et de peupliers noirs à une distance légèrement plus grande du lit de la rivière permet de créer une mosaïque de milieux composée de surfaces forestières pionnières et de berges stabilisées [157].

Une des difficultés de la renaturation des forêts alluviales est la grande sensibilité aux maladies des essences typiques des forêts alluviales à bois durs. Le dépérissement des pousses du frêne entraîne la mort de ces arbres et empêche le rajeunissement. Dans les peuplements mixtes, le frêne est toutefois un peu moins sensible à cette maladie [158] et il existe des génotypes résistants qui présentent en outre une résistance croisée à l'agrile du frêne [159], ce qui laisse un certain espoir pour l'avenir de cette essence. Le dépérissement des pousses du frêne et l'éclaircissement de la canopée qui en résulte profitent avant tout aux érables à croissance rapide (érables sycomore et plane), qui dominent de plus en plus la strate de rajeunissement des forêts alluviales à bois durs [160]. Mais les érables sont eux aussi touchés par une infection fongique mortelle, la maladie de la suie de l'érable (provoquée par le champignon *Cryptostroma corticale*, originaire d'Amérique du Nord). Cette maladie touche particulièrement les arbres affaiblis par de longues périodes de sécheresse. Le rétablissement d'une hydrologie typique des forêts alluviales permettrait d'y remédier. De plus, la domination des érables dans la strate de rajeunissement serait limitée par des inondations régulières, leurs semis n'étant pas très tolérants aux inondations. Des essences à croissance plus lente et à haute valeur écologique (chêne pédonculé, ormes, etc.) auraient alors la possibilité de se rajeunir [61], [161], [162]. D'autres essences typiques des forêts alluviales sont également touchées par des maladies fongiques. Le dépérissement des aulnes (provoqué par le champignon *Phytophthora alni*) touche le pied des aulnes et entraîne la pourriture des racines ou du collet, pouvant conduire à la mort des arbres infectés. La graphiose de l'orme (provoqué par le champignon *Ceratocystis ulmi*, transmis par les scolytes de l'orme) a provoqué un déclin drastique des populations d'ormes champêtres et d'ormes montagnards. Seul l'orme lisse semble peu touché par la graphiose, probablement parce qu'il est moins attaqué par les scolytes de l'orme. Pour cela et en raison de son adaptation aux conditions typiques des zones alluviales, l'orme lisse est considéré comme une essence adaptée aux conditions futures dans la renaturation des forêts alluviales [123] (encadré 2). La mise en place de peuplements forestiers alluviaux adaptés à la station et leur entretien nécessitent beaucoup de discernement afin que des associations forestières typiques puissent se développer. Le programme de recherche « Forêts et changements climatiques » (www.tree-app.ch) donne pour certaines associations forestières alluviales des recommandations pour la promotion d'essences adaptées aux conditions futures. Les liens correspondants figurent dans le tableau 5.

Les néophytes constituent un problème particulier dans les zones alluviales. Il s'agit généralement d'espèces à croissance rapide, transportées par les sédiments et qui s'installent facilement sur les surfaces pionnières ouvertes. Les forêts alluviales à bois tendres sont plus touchées que les forêts alluviales à bois durs, car elles reçoivent davantage de graines en raison des inondations plus fréquentes [123]. Plusieurs essences d'arbres non indigènes se propagent dans les forêts alluviales, comme le cerisier d'automne, le frêne de Pennsylvanie, l'ailante et le robinier. Les plaines alluviales du versant sud des Alpes abritent un nombre particulièrement

élevé de néophytes envahissantes [123]. Le palmier chanvre, qui colonise rapidement les forêts alluviales du Tessin, mais qui est également de plus en plus observé au nord des Alpes, en est un exemple [167]. La lutte contre les néophytes est donc nécessaire pour établir une forêt alluviale proche de l'état naturel (mesure d'entretien continue), ce qui peut représenter un coût considérable [168]. Plus les néophytes sont combattues tôt après leur implantation, moins l'effort est important et plus les chances de succès sont grandes.

Encadré 2 : Espèce porteuse d'espoir pour les forêts alluviales : l'orme lisse (*Ulmus laevis* Pallas)

L'orme lisse est un arbre typique des forêts alluviales à bois tendres et à bois durs, largement répandu en Europe, des Pyrénées à l'Oural. Bien qu'il soit indigène en Suisse, on trouve aujourd'hui moins de 1000 individus [169]. Son déclin est probablement dû à la rectification des cours d'eau et à l'entrave à la dynamique alluviale qui en résulte. Les plantules de l'orme lisse résistent aux inondations, croissent sur des sols humides et sont peu compétitifs [166], [170]. L'orme lisse a de faibles besoins en nutriments, résiste aux inondations prolongées et peut atteindre 40 m de haut. C'est la seule essence d'Europe centrale qui développe régulièrement des racines à contreforts, une forme de racine remarquable, connue principalement dans les régions tropicales. Grâce à ses adaptations et à son aptitude à pousser dans des endroits humides et inondés, il pourrait remplacer les frênes qui disparaissent de plus en plus des forêts alluviales en raison du dépérissement des pousses du frêne [166]. L'orme lisse n'est pratiquement pas touché par la graphiose de l'orme [164], [171] et sa grande tolérance aux températures extrêmes le rend particulièrement intéressant dans le contexte du réchauffement climatique [172], [173]. Les ormes, y compris l'orme lisse, sont également importants pour la biodiversité : Une analyse bibliographique a permis de recenser en Allemagne environ 650 espèces issues de 20 groupes (principalement des insectes) vivant sur et dans les ormes ; parmi celles-ci, environ 125 espèces montrent une préférence pour les ormes ou en dépendent entièrement [174]. Huit à dix espèces sont des spécialistes de l'orme lisse.



Figure 10

Orme lisse avec ses racines à contreforts typiques. Photo : Ch. Fischer, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons

Mesures d'entretien : Des mesures d'entretien et d'exploitation forestière sont nécessaires lorsque la dynamique naturelle n'a pas encore été rétablie. Des interventions peuvent par exemple être nécessaires pour permettre au chêne pédonculé de s'établir, car il a besoin de suffisamment de lumière pour germer et il est facilement supplanté par les érables à croissance rapide. Dans les zones alluviales dynamiques, les jeunes érables succombent aux inondations, tandis que les jeunes chênes pédonculés survivent grâce à leur tolérance à l'inondation. Le même effet peut être reproduit en sylviculture en éliminant les jeunes érables [175]. En 2021, 11 % des forêts alluviales de Suisse ont fait l'objet de mesures sylvicoles en vue de leur préservation [176].

La lutte contre les néophytes est une mesure d'entretien importante et permanente dans les forêts alluviales.

Les zones alluviales étant très appréciées comme espaces de loisirs de proximité, il est important de prendre des mesures pour canaliser les flux humains (voir Formes d'utilisation possibles).

Informations complémentaires : Il existe différentes aides à l'exécution [143], [144], [177] pour la protection, la revalorisation et la renaturation des zones alluviales.

Tableau 6

Mesures de mise en œuvre possibles pour la restauration des forêts alluviales. Les informations relatives au temps et aux coûts des mesures sont basées sur les estimations d'expertes et experts. Temps nécessaire : très court (< 1 jour), court (quelques jours), moyen (semaines à mois), long (quelques années), très long (de nombreuses années). Coûts : estimation pour les mesures individuelles par rapport à d'autres mesures possibles dans le cadre d'un projet, faibles (poste mineur dans le budget global), moyens (poste moyen dans le budget global), élevés (poste important dans le budget global), éventuellement très élevés (nettement plus élevé que d'autres mesures).

Mesure	Détails	Temps nécessaire	Coûts (estimation)
Mesures d'aménagement hydraulique			
Restauration d'une zone alluviale dynamique	Diverses mesures visant à restaurer la dynamique naturelle des cours d'eau afin de permettre des inondations régulières et une modification du lit du cours d'eau. Les détails à ce sujet ne font pas partie du présent document.	long à très long	élevés à très élevés
Inondations contrôlées	Si des restrictions empêchent les inondations naturelles (p. ex. exploitation hydroélectrique), des inondations artificielles à une fréquence appropriée peuvent créer une dynamique comparable.	moyen à long	moyens à élevés
Rendre les structures de drainage inefficaces	Chapitre 3.4 Restauration des différentes forêts humides et chapitre 3.5 Restauration des forêts marécageuses	faible à moyen (selon la structure, le terrain et la méthode)	faibles à élevés (selon la structure, le terrain et la méthode)
Conservation des bras morts	Lorsque la dynamique alluviale n'est pas (encore) restaurée, les bras morts peuvent s'atténuer. La renaturation peut passer par l'alimentation en eau ou le dragage de ces anciens lits. Cette mesure sert également à remettre en eau les forêts environnantes.	moyen	moyens à élevés
Création de zones tampons	Des zones tampons devraient être créées autour des zones alluviales : - zones tampons trophiques en bordure des surfaces agricoles - zones tampons hydriques pour protéger contre les prélèvements d'eau excessifs - zones tampons morphodynamiques dans lesquelles l'érosion des berges, les inondations, les glissements de terrain et les dépôts de sédiments sont possibles.	long	moyens à très élevés
Barrage des cours d'eau par les castors	Chapitre 3.9 Remise en eau des forêts par les castors. Les barrages « Beaver Dam Analogs » permettent également de créer des retenues artificielles (encadré 4).	aucun (sauf création d'une réserve forestière spéciale)	aucun
Création de petits plans d'eau	Chapitre 3.8 Petits plans d'eau et autres structures d'habitat comme mesure complémentaire	court à moyen (couche d'argile existante vs apport de matériaux d'étanchéité)	moyens

Mesures sylvicoles			
Reforestation avec des espèces typiques de la station à l'aide de boutures (forêts alluviales à bois tendres)	Pour la restauration des forêts alluviales à bois tendres. Tenir compte des exigences des essences en matière de dynamique fluviale et de composition des sédiments.	moyen à long	moyens
Implantation d'espèces typiques de la station	À réaliser si possible par rajeunissement naturel. Dans les forêts alluviales à bois durs, une promotion ciblée des espèces adaptées est nécessaire, car les espèces typiques des forêts alluviales sont touchées par des maladies (le frêne et les ormes, par exemple).	court à très long (en fonction de l'état initial)	moyens (en fonction de l'abrouissement et de la concurrence végétale)
Élimination des espèces non adaptées à la station	Dans les forêts alluviales qui, après drainage ou reboisement, se sont transformées en associations forestières plus sèches.	généralement une seule fois	faibles
Éclaircissement des bras morts	Là où la dynamique alluviale n'est pas (encore) rétablie et où les bras morts s'atterrissent, l'éclaircissement des berges permet de préserver des milieux intéressants pour les amphibiens et les reptiles, par exemple.	court à moyen	faibles
Élimination des néophytes	Les néophytes envahissantes doivent être éliminées.	moyen à long	moyens à élevés
Création de microstructures	Chapitre 3.8 Petits plans d'eau et autres structures d'habitat comme mesure complémentaire	court à moyen	faibles à moyens
Mesures d'entretien			
Reconstitution sylvicole des stades de succession dans la forêt	Interventions sylvicoles visant à imiter la dynamique de la végétation par des inondations là où celle-ci n'est pas (encore) rétablie ou ne peut être rétablie (p. ex. éclaircissement des surfaces ou rabattage sur souche des peuplements, élimination des jeunes érables à croissance rapide au profit des jeunes chênes).	long à très long	moyens à élevés
Élimination des néophytes	Les néophytes envahissantes doivent être localisées et éliminées dans le cadre de contrôles des résultats.	long à très long	moyens à élevés
Mesures visant à canaliser les flux humains	Mesures visant à éviter les dérangements, les déchets et les activités pouvant avoir un impact négatif sur les milieux (cheminements, panneaux d'information, sentiers didactiques, plantations, clôtures, etc.)	court à moyen	faibles à moyens

Déroulement prévisible du projet

Remise en eau : La restauration des conditions hydrologiques naturelles dans les forêts alluviales comprend la suppression des consolidations des berges et du lit, l'aplanissement des berges artificiellement surélevées, la restauration d'une dynamique d'écoulement naturelle, y compris le régime de charriage, le raccordement des bras secondaires et des bras morts au cours d'eau principal et, si nécessaire, un relèvement du niveau de la nappe phréatique. Si ces mesures sont mises en œuvre, la diversité des milieux de la zone alluviale augmente en quelques années [178], [179] (figure 11).

Renaturation : Les espèces indicatrices des strates herbacée et arbustive réagissent rapidement à la restauration de l'hydrologie alluviale et peuvent servir à contrôler l'efficacité des mesures [179]–[181]. La colonisation des milieux alluviaux par les animaux typiques se fait souvent en quelques années et est étroitement liée à l'augmentation du nombre de microhabitats différents grâce à une dynamique restaurée [181]–[183]. Le développement des essences typiques des associations forestières alluviales nécessite plus de temps et dépend de l'état initial de la forêt. Dans de bonnes conditions (inondations régulières, concurrence limitée des néophytes), les forêts alluviales à bois tendres peuvent s'établir en quelques années, car de nombreuses espèces typiques ont une croissance rapide et se reproduisent de manière végétative [168], [184]. Sans intervention sylvicole, l'établissement d'une forêt alluviale à bois durs nécessite plusieurs décennies et est fortement influencé par les maladies, les néophytes et le changement climatique [185], [186].

Influence du changement climatique : Fink et Scheidegger (2021) [187] ont modélisé la répartition possible des associations forestières alluviales dans des conditions de changement climatique modéré et important. Ces modélisations ont montré que les espèces de saules des saulaies blanches sont susceptibles de bénéficier du changement climatique. Grâce à leur flexibilité concernant les conditions locales telles que la température et les précipitations, davantage d'habitats seront disponibles à l'avenir. Pour certaines espèces, la disponibilité modélisée de milieux appropriés augmente, mais la répartition géographique change (le saule pourpre passe du bassin versant du Rhin à celui du Tessin, le saule noirissant du bassin versant du Rhin à celui de l'Inn, par exemple). Les associations forestières à bois durs, en revanche, perdront beaucoup de surfaces appropriées. Comme ces associations sont déjà fortement fragmentées, elles pourraient être particulièrement touchées par la disparition des espèces en raison de la diminution des surfaces appropriées. On peut également s'attendre à une transformation accélérée en d'autres associations forestières de feuillus en cas d'augmentation des températures [95], [180]. La restauration des conditions hydrologiques naturelles pourrait au moins ralentir cet effet et donner ainsi plus de temps aux associations végétales pour s'adapter [180]. Les essences forestières présentant un fort potentiel face au réchauffement climatique sont par exemple le chêne pédonculé, l'orme lisse et le charme [61]. Ces espèces dépendent du rétablissement des conditions hydrologiques dynamiques dans les forêts alluviales, sans quoi elles sont concurrencées par les érables à croissance rapide [160]. Outre la hausse des températures et l'augmentation de la sécheresse, les inondations de plus en plus violentes et l'accumulation de sédiments qui en résulte peuvent également avoir des effets sur la végétation des forêts alluviales. Les surfaces existantes et celles qui seront renaturées dans les prochaines années ne seront peut-être pas adaptées à long terme aux associations forestières cibles [187]. Une conservation prévoyante devrait donc également prévoir des forêts alluviales interconnectées en tenant compte de l'adéquation future des milieux et de la capacité de dispersion des espèces.

Régénération : Les services écosystémiques des forêts alluviales sont liés à la diversité de leurs milieux et de leurs espèces. Ils se rétablissent lorsque la renaturation permet de créer un cours d'eau dynamique [56], [188]. Les fonctions écosystémiques telles que le stockage du carbone ou les cycles intacts des nutriments nécessitent toutefois plusieurs décennies (au moins 20 à 30 ans) pour être comparables à celles d'une forêt alluviale naturelle [189], [190]. L'optimisation de la structure forestière en termes de stockage des gaz à effet de serre (p. ex. densité de peuplement aussi élevée que possible) ne correspond pas nécessairement à la meilleure promotion de la biodiversité (p. ex. densité de peuplement moyenne idéale pour la diversité des oiseaux [190]). Lors de la planification de la renaturation des forêts alluviales, il convient donc de définir à l'avance l'objectif principal afin de mettre en œuvre les mesures de manière optimale.

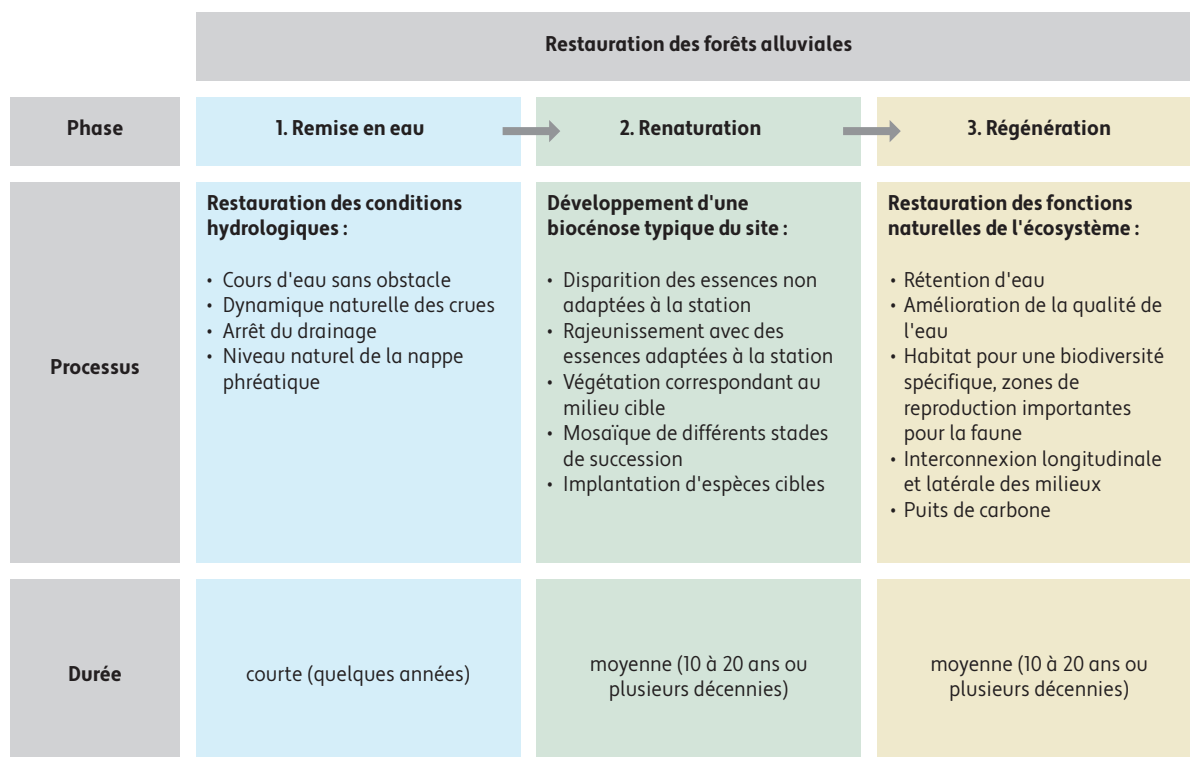


Figure 11
Déroulement d'une restauration de forêt alluviale avec durée prévisible des différentes phases. Graphique : élaboré par nos soins

Formes d'utilisation possibles

Zones protégées : Pour la conservation et la promotion de la biodiversité, il est préférable de classer les forêts alluviales en tant que réserves forestières. Étant donné que la restauration des habitats dégradés nécessite tout au plus des mesures d'éclaircissement, de reboisement, de lutte contre les néophytes et d'entretien, la création de réserves forestières spéciales est particulièrement indiquée.

Exploitation : L'exploitation des forêts alluviales (en particulier des forêts alluviales à bois durs) est possible en raison de la forte productivité des sols alluviaux et de l'utilité économique de nombreuses essences typiques des forêts alluviales (par exemple, chêne pédonculé, frêne, aulnes, peuplier noir, saules) [185], [191]. Des recommandations pour la gestion des forêts alluviales ont été publiées en 1999 dans un concept de l'OFEV [177]. D'une manière générale, il est recommandé de mener la gestion principalement comme une mesure d'accompagnement de la dynamique naturelle, de la conservation, de la restauration ou de l'entretien des associations forestières alluviales. Dans les zones alluviales d'importance nationale en particulier, la protection de la nature prime sur l'exploitation du bois [148]. Les formes traditionnelles d'exploitation (notamment les taillis et les taillis sous futaie) peuvent être bénéfiques pour la diversité des milieux et des espèces des forêts alluviales et sont donc soutenues par des incitations financières de la Confédération. Des concepts de gestion avec une composition d'essences aussi adaptées que possible au changement climatique et aux maladies, sont présentés pour les forêts alluviales au nord des Alpes dans un guide contenant des exemples tirés du Rhin supérieur et du Danube [55].

Loisirs : En raison de leur attractivité et de leur valeur culturelle, les zones alluviales sont des espaces de loisirs appréciés [55]. Il est important de bien gérer les flux humains afin de laisser à la nature l'espace nécessaire pour son développement et d'offrir des lieux attrayants aux personnes exerçant une activité de loisirs. Une infrastructure pour les visiteuses et visiteurs peut être combinée à des offres d'éducation à l'environnement (panneaux d'information, sentiers pédagogiques, etc.).

Exemple concret : réactivation du bras mort du Wuer (ancienne forêt alluviale)

Contribution : Christoph Dür

Fiche descriptive

- Bras mort de la Thur dans une zone alluviale d'importance nationale
- Habitat cible : association forestière 29a (Ulmo-Fraxine-tum listeretosum/Frênaie à Orme avec listère, forêt riveraine)
- Superficie : bras mort de 400 m linéaires x bande de 20 m à gauche et à droite = environ 1,6 ha de surface forestière
- Durée : différentes étapes entre 2018 et 2023
- Coûts : env. 28 000 francs, entretien env. 260 francs/an
- Responsable du projet : Office forestier de Thurgovie, Ruedi Lengweiler
- Lien : Ordonnance de protection des zones alluviales Wuer 2004 https://forstamt.tg.ch/public/upload/assets/51586/Wuer_SA.pdf

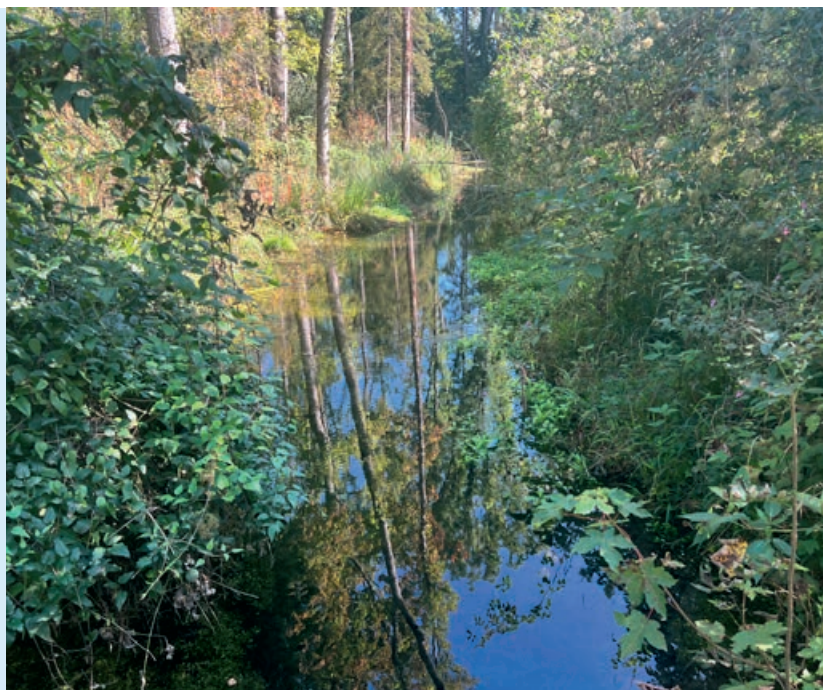


Figure 12

Bras mort de la Thur, renaturé à partir de 2018. Photo : Ruedi Lengweiler

Situation initiale : bras mort dissocié de la dynamique hydrologique, pratiquement asséché et envahi par les buissons. Huit propriétaires forestiers (bourgeoisie de Frauenfeld et sept particuliers).

Objectifs du projet : réactivation de la dynamique hydrologique et renaturation du milieu naturel afin de préserver et de promouvoir les espèces végétales et animales indigènes typiques des zones alluviales, en particulier les amphibiens. Élargissement du bras mort et remise en eau de certaines parties des parcelles forestières adjacentes.

Mesures mises en œuvre : débroussaillage, dragage du cours d'eau (4-5 m de large plus zones d'eau peu profonde), mise en place de grands passages pour l'eau à partir d'un cours d'eau (ancien lit mort), plantation complémentaire de quelques essences à bois tendre telles que saule blanc et peuplier noir (*Salix alba*, *Populus nigra*).

Mesures d'entretien : le castor a créé un barrage sur le bras mort renaturé. Aucune mesure d'entretien n'est prévue pour le moment.

Tableau F.3

Coûts du projet pendant la mise en œuvre et pour l'entretien, y compris les organismes de financement respectifs.

Mesure	Coûts	Organismes de financement
Mesures d'aménagement	21 000 CHF	Tous les coûts sont pris en charge par l'Office des forêts du canton de Thurgovie grâce aux subventions fédérales issues des conventions-programmes.
Mesures sylvicoles	7 000 CHF	
Compensations	(Incluses dans l'indemnisation)	
Entretien : p. ex. conventions de prestations, y compris renonciation à l'exploitation.	Indemnisation 170 francs par hectare et par an, soit environ 260 francs pour 1,6 ha (400 mètres linéaires * 40 m)	

Résultats : les castors ont adopté ce nouveau milieu, certaines parties des parcelles forestières ont été remises en eau, augmentation du nombre de libellules, de martins-pêcheurs, de limicoles (p. ex. chevalier culblanc) et de poissons (p. ex. brochet, gardon, barbeau commun). Ce projet ne fait l'objet d'aucun suivi, il n'existe donc aucune donnée sur son succès.

Difficultés : huit propriétaires forestiers différents sont concernés par le projet, ce qui nécessite des rapports de confiance et un travail de persuasion.

Quels enseignements tirer de ce projet ? Il est important de convaincre les propriétaires forestiers. Plus il y a de bons projets réalisés, plus il est facile d'en trouver de nouveaux. La situation des parcelles dans une zone alluviale d'importance nationale a été un atout (financement par la Confédération et le canton).

3.7. Restauration des milieux fontinaux

Définition des milieux fontinaux

Les sources se forment là où les eaux souterraines émergent à la surface de manière permanente ou temporaire. Le milieu fontinal comprend, outre le point d'émergence direct, les dix premiers mètres du cours d'eau qui prend sa source à cet endroit. Les sources peuvent être classées en sources jaillissantes, sources suintantes et sources-étangs. Les sources jaillissantes (rhéocrènes) se trouvent sur des pentes et sont souvent à l'origine de ruisseaux. Les sources suintantes (hélo-crènes) sont formées par une remontée d'eau souterraine dans un terrain plat, autour de laquelle se développent une végétation marécageuse et un marais de source. Dans les sources-étangs (limnocrènes), l'eau s'accumule dans un creux ou une cuvette du terrain et forme une mare, avant de s'écouler [89].

Les milieux fontinaux se caractérisent par leur petite taille, leur température relativement constante et basse, leur pauvreté en nutriments et leur richesse structurelle due à la mosaïque de milieux aquatiques et terrestres sur un petit espace. Ces conditions font des sources un habitat idéal pour les espèces qui aiment le froid et préfèrent les eaux pauvres en nutriments. Il s'agit notamment de certaines espèces de trichoptères, de plécoptères, d'éphémères, de libellules, de coléoptères aquatiques, d'amphipodes et d'escargots aquatiques. Ces espèces sont souvent hautement spécialisées et, pour la plupart, menacées [192]. En raison de la diversité des espèces sur un petit espace, de nombreuses sources constituent des oasis de biodiversité.

Les sources ont disparu dans de nombreux endroits, en particulier sur le Plateau, et sont donc menacées. Celles qui existent encore se trouvent principalement dans les forêts. Le déclin des sources est principalement dû à leur utilisation pour l'approvisionnement en eau potable. D'autres raisons sont le captage, la mise sous tuyaux et le drainage, ainsi que les dommages souvent involontaires causés par les interventions sylvicoles et agricoles ou par les activités de loisirs.

Dans l'idéal, les sources se trouvent au sein de milieux protégés plus vastes (p. ex. marais, zones alluviales ou sites de reproduction des batraciens). Si tel est le cas, les sources bénéficient des dispositions de protection de ces milieux. Cependant, même à l'intérieur des zones protégées, certaines sources passent inaperçues, sont parfois endommagées et nécessitent des mesures de restauration. Pour celles situées en dehors des zones protégées, des mesures spécifiques de conservation doivent être mises en œuvre.

Espèces forestières cibles des sources et des suintements : Les sources et les suintements (milieu 1.3 selon Delarze et al. 2015 [95]) abritent de nombreuses espèces prioritaires au niveau national, notamment de nombreux invertébrés (plécoptères, trichoptères, éphémères, libellules, coléoptères, escargots). Seules quatre espèces sont toutefois considérées comme des espèces forestières cibles, car la répartition de nombreux invertébrés des milieux fontinaux n'est pas suffisamment connue. Les espèces forestières cibles sont les suivantes :

- Amphibiens : salamandre tachetée *Salamandra salamandra* (Linnaeus, 1758)
- Amphibiens : sonneur à ventre jaune *Bombina variegata* (Linnaeus, 1758)
- Reptiles : couleuvre à collier *Natrix natrix* (Linnaeus, 1758) s.l.
- Lichens épyphytes/terricoles : lichen épingle vert olive *Chaenotheca phaeocephala* (Turner) Th.Fr.

Les petites espèces invertébrées étroitement liées aux milieux fontinaux forestiers sont la cordulégastre bidenté (*Cordulegaster bidentata*), divers trichoptères telles que *Apatania fimbriata*, *Drusus alpinus*, *Ernodes articularis*, l'éphémère *Baetis nubecularis* et des plécoptères tels que *Dictyogenus jurassicum* et *Isoperla lugens*.



Figure 13

L'eau de cette source alimente une mare, formant une source-étang. Au pied du versant nord de la chaîne du Stockhorn, commune de Reutigen, canton de Berne. Photo : Jan Ryser/OFEV

Situations possibles

Lors de la pondération des coûts et des avantages potentiels d'une renaturation de source en forêt, il faut évaluer la situation initiale de la source :

- *Source peu dégradée et proche de l'état naturel* (légère modification de la dynamique ou de la qualité de l'eau) : la préservation est prioritaire. Des mesures d'optimisation au niveau de l'émergence et du ruisseau de source peuvent empêcher une détérioration progressive de l'état.
- *Source dégradée par des ouvrages* (captages, mises sous tuyaux) : éliminer les causes de l'altération afin de rétablir un état plus naturel.
- *Régime d'écoulement de la source altéré* (mise sous tuyaux du ruisseau de source, barrage de la source, fossés de drainage autour de la source) : éliminer les causes de l'altération afin de rétablir un état plus naturel. Le ruisseau de source doit développer un régime d'écoulement naturel.

- *Source dégradée par des modifications en surface* (présence de conifères autour de la source, stockage de déchets de bois, etc.) : éliminer les causes de la dégradation afin de rétablir un état plus naturel. Réduire au minimum les interventions sylvicoles à proximité de la source.
- *Source détruite* (aménagement complet de l'émergence et du ruisseau de source sans milieux et biocénoses résiduelles proches de l'état naturel) : la renaturation peut être utile s'il existe une possibilité de connexion avec des sources proches de l'état naturel à proximité. La renaturation crée alors un milieu secondaire qui peut être colonisé.

Le coût potentiel de la renaturation dépend des droits de propriété et d'utilisation des propriétaires de la forêt et/ou de la source, de l'accessibilité de la source, du nombre et de l'état des aménagements et de la nécessité éventuelle d'obtenir des autorisations spéciales. Le potentiel écologique d'une renaturation dépend principalement de la proximité d'autres sources et de la présence d'espèces typiques ou menacées [193], [194]. Les sources dégradées présentent un potentiel élevé pour la renaturation dans les circonstances suivantes [90] :

- Chambres de captages et captages de sources qui ne sont actuellement plus utilisés
- Sources dégradées ou captages situés à proximité (< 100 m) de réserves naturelles et dont l'eau n'est plus utilisée
- Sources captées avec débordement permanent alimentant un milieu fontinal relativement naturel

Mesures de restauration et d'entretien possibles

Les atteintes les plus fréquentes aux sources des forêts sont les aménagements (tuyaux, captages, puits), les déchets de bois dans la zone de la source et les chemins, les routes forestières ou les layons de débardage qui traversent la zone de la source [195]. Les mesures visant à lutter contre ces atteintes permettent de renaturer les sources et de remettre en eau leur environnement. Une fois les conditions hydrologiques rétablies, la source, avec sa zone centrale et sa zone périphérique, doit être délimitée et faire l'objet d'une attention particulière lors des interventions sylvicoles. De même, la forêt autour de la source devrait être débarrassée des conifères atypiques et transformée en une association forestière adaptée à la station (chapitre 3.4 Restauration des différentes forêts humides, tableau 1). La litière de conifères est difficilement assimilable par les espèces typiques des sources. De plus, l'ombrage important causé par les conifères entrave le développement de la flore et de la faune typiques, et les aiguilles acidifient le milieu chimique de la source. Un milieu fontinal renaturé ne nécessite pratiquement aucun entretien, mais des mesures doivent être prises pour le protéger contre de nouvelles dégradations. Les mesures d'entretien et de restauration possibles pour les milieux fontinaux sont présentées dans le tableau 7.

Informations complémentaires : Le Service-conseil milieux fontinaux [89], [196] est la principale source d'information et le principal interlocuteur pour la cartographie et la renaturation des sources en Suisse. Il aide les cantons et les communes à mettre en œuvre et à coordonner les mesures. Outre le conseil en matière de milieux fontinaux, la gestion des données (MIDAT-Sources) sur les sources en collaboration avec info fauna fait partie de ses tâches. Le site Internet du Service-conseil milieux fontinaux contient des instructions, des fiches techniques et des protocoles sur le recensement, l'écologie et la protection des sources. On y trouve également une collection de publications sur l'influence du changement climatique sur les sources.

L'Office régional de l'environnement de Bavière a également publié un catalogue complet de mesures pour la protection des sources, qui présente en détail les mesures possibles ainsi que leurs avantages et inconvénients respectifs [193].

Tableau 7

Mesures possibles pour la restauration des sources en forêt. Les informations relatives au temps et aux coûts des mesures sont basées sur les estimations d'expertes et experts. Temps nécessaire : très court (< 1 jour), court (quelques jours), moyen (semaines à mois), long (quelques années), très long (de nombreuses années)). Coûts : estimation pour les mesures individuelles par rapport à d'autres mesures possibles dans le cadre d'un projet, faibles (poste mineur dans le budget global), moyens (poste moyen dans le budget global), élevés (poste significatif dans le budget global).

Mesure	Détails	Temps nécessaire	Coûts (estimation)
Cartographie de la zone de source	Saisie du périmètre de la zone centrale et de la zone périphérique d'une source par des visites sur le terrain et des relevés faunistiques. Ceux-ci nécessitent une expertise scientifique. Chapitre 3.2 Détermination de la superficie	court à moyen	faibles à moyens
Mesures d'aménagement hydraulique			
Suppression des captages de sources et des fontaines	Les captages de sources et les fontaines doivent être supprimés dans la mesure du possible pour permettre la renaturation. L'utilisation de machines peut s'avérer nécessaire. Il convient alors de tenir compte des conditions du sol dans les environs. Un sol gelé en hiver ou sec en été est le plus propice à l'utilisation de machines.	moyen à élevé	moyens à élevés
Blocage du tuyau de sortie des captages de sources	Si un captage de source ou une fontaine doivent être conservés, il est possible de créer un trop-plein à partir duquel l'eau arrive dans le sol et peut s'écouler sous forme de ruisseau.	court	faibles à moyens
Remise à l'air libre des cours supérieurs de ruisseaux	L'utilisation d'excavatrices est souvent nécessaire pour supprimer les tuyaux. Il convient alors de tenir compte des conditions du sol dans les environs. Un sol gelé en hiver ou sec en été est le plus propice à l'utilisation de machines.	moyen	moyens à élevés
Enlèvement ou destruction de tuyaux de drainage/conduites d'eau	L'utilisation d'excavatrices est souvent nécessaire pour déterrer et retirer ou détruire les tuyaux. Il convient de tenir compte des conditions du sol dans les environs. Un sol gelé en hiver ou sec en été est le plus propice à l'utilisation de machines.	moyen	moyens à élevés
Mesures sylvicoles			
Implantation d'espèces typiques de la station	Les sources sont particulièrement précieuses pour la biodiversité lorsqu'elles sont entourées de peuplements clairsemés de feuillus (p. ex. des associations formées d'aulnes ou de frênes). À l'étage subalpin, les conifères peuvent être typiques de la station. Chapitre 3.4 Restauration des différentes forêts humides, tableau 1	court	moyens

Éclaircissement de la forêt par l'élimination des conifères non typiques de la station	L'élimination des conifères non typiques de la station contribue à promouvoir la biodiversité (plus grande luminosité, moins de litière de conifères difficilement dégradable). À l'étage subalpin, les conifères peuvent être typiques de la station. Chapitre 3.4 Restauration des différentes forêts humides, tableau 1	court (généralement une seule fois)	faibles
Enlèvement des déchets de bois	L'enlèvement des déchets de bois du milieu fontinal permet aux insectes aquatiques d'utiliser les sources comme sites de ponte. Empêcher tout dépôt futur.	court	faibles
Déplacement des chemins et des layons de débardage	Si des chemins, des routes forestières ou des layons de débardage traversent la zone de source, ils doivent être déplacés dans la mesure du possible.	court	faibles à moyens
Mesures d'entretien			
Sensibilisation des protagonistes concernés	Sensibiliser les propriétaires forestiers, le personnel forestier, les personnes utilisant les forêts et les services spécialisés dans la protection des milieux fontinaux afin d'éviter les dommages involontaires, tels que ceux causés par le dépôt de déchets de bois. Cela peut se faire par le biais de fiches d'information, de séances d'information, de sentiers didactiques, d'articles dans les médias, etc.	court à moyen	faibles
Protection contre l'exploitation mécanique	Prendre en compte les sources dans les plans directeurs forestiers et les désigner comme zones protégées.	court	faibles
Canalisation et information des visiteuses et visiteurs : éviter les dommages causés par le piétinement	Balises de la zone de la source (panneaux de signalisation et d'information, plantations, clôtures, etc.) dans le but d'empêcher l'accès.	court à moyen	faibles à moyens
Suppression des sites de nourrissage et des pierres à lécher pour les cerfs, les daims et les sangliers	Les cerfs, daims et sangliers peuvent causer des dommages dus au piétinement dans les sources. Pas de site de nourrissage et de pierre à lécher dans les milieux fontinaux.	court	faibles
Élimination des néophytes	Les néophytes présentes dans la zone de la source doivent être éliminées afin de permettre le développement d'une flore typique de la station.	court à long (selon l'espèce)	faibles à élevés (selon l'espèce)

Déroulement prévisible du projet

Le déroulement prévisible d'un projet de renaturation de milieux fontinaux dépend de la situation initiale. Si une évaluation scientifique révèle un potentiel de réalisation élevé [90], la durée de la renaturation, y compris le développement d'une biodiversité adaptée à la station, se situe dans la fourchette du court à moyen terme (quelques années à quelques décennies) (figure 14).

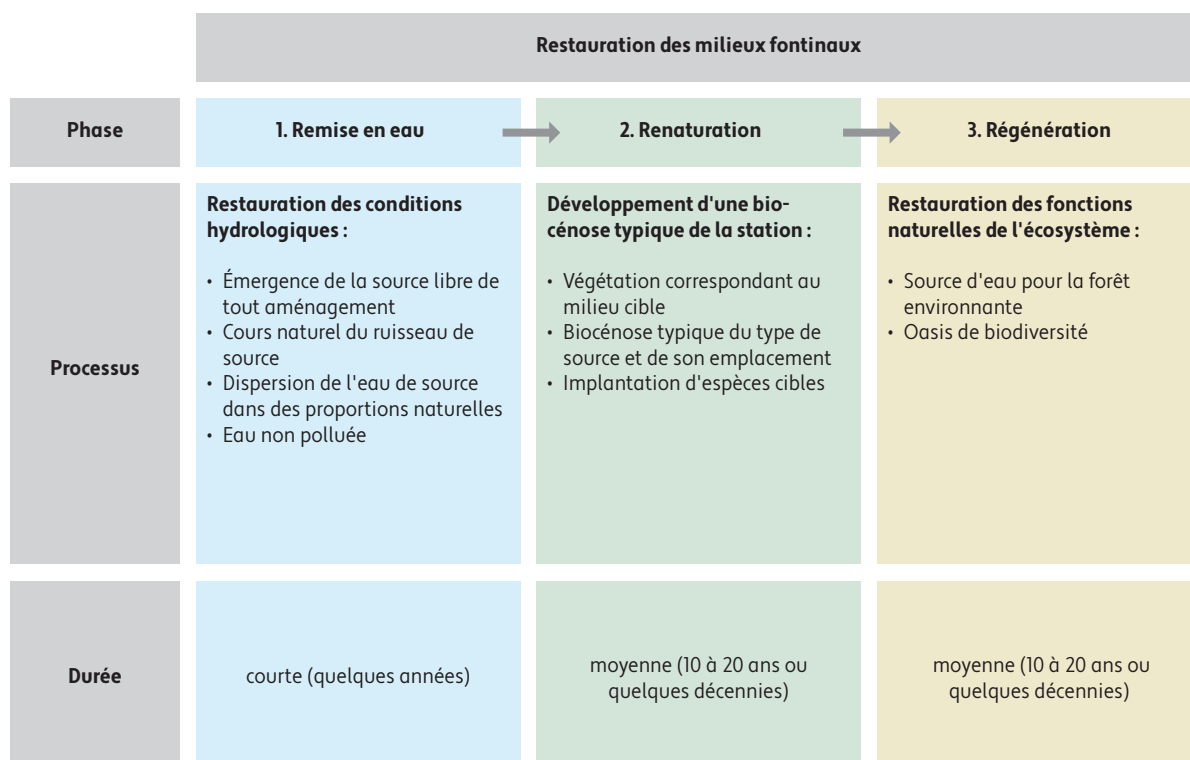


Figure 14
Déroulement d'une restauration de milieu fontinal avec durée prévisible des différentes phases. Graphique : élaboré par nos soins

Formes d'utilisation possibles

Zones protégées : Les milieux fontinaux peuvent être classés comme réserves naturelles s'ils sont suffisamment grands ou interconnectés. Il est également possible de les combiner avec la protection des forêts humides qui entourent les sources. Elles peuvent être protégées sous forme de réserves forestières (chapitre « Préservation des surfaces »). Les sources de petite taille et leurs environs peuvent également être protégés, si le peuplement forestier le permet, en créant des îlots de sénescence (encadré 3, mesure M2.3 dans Imesch et al. 2015 [1]). Les milieux fontinaux peuvent être protégés à un niveau plus bas en les intégrant dans l'inventaire communal de la nature, les plans directeurs forestiers ou les règlements de construction des communes [197]. Les contrats ou accords d'utilisation entre les cantons et les communes ou les propriétaires fonciers peuvent contribuer à préserver les milieux fontinaux. Des zones centrales et des zones tampons peuvent être délimitées autour des sources avec différentes restrictions d'exploitation. Dans les régions de montagne, il est important de tenir compte des milieux fontinaux lors du drainage des forêts protectrices.

Encadré 3 : Définition d'un îlot de sénescence tirée du « Manuel sur les conventions-programmes 2025-2028 dans le domaine de l'environnement » [91] :

Un îlot de sénescence est un peuplement ou petit groupe de vieux bois de 1 à 5 hectares, particulièrement riche en vieux arbres ou en arbres-habitat, qui sont laissés à eux-mêmes jusqu'à décomposition complète. Contrairement aux réserves, les îlots de sénescence ne sont pas des surfaces fixes protégées à long terme, mais disparaissent une fois les arbres décomposés. Les surfaces sont alors à nouveau exploitées normalement et les anciens îlots sont remplacés par de nouveaux groupes d'arbres ou peuplements appropriés.

Loisirs : Les milieux fontinaux peuvent constituer des éléments paysagers attrayants pour les loisirs de proximité. Il est important de garantir une protection suffisante contre le piétinement et les déchets dans le milieu fontinal en canalisant les flux humains. Des panneaux d'information peuvent contribuer à sensibiliser le public aux particularités du milieu fontinal.

Exemple concret : renaturation des captages Sorgenti Veroniche, Minusio

Fiche descriptive

- Minusio (TI)
- Sources jaillissantes/marais fontinal de pente
- Superficie : 210 m²
- Durée : 2010 (concept) à 2022 (réalisation)
- Coût : 60 000 francs suisses
- Maître d'ouvrage : Luca Jardini (Cardada impianti turistici), Massimiliano Foglia (Ufficio natura e paesaggio)
- Concept + projet : Gabriele Carraro (Dionea SA)
- Lien : <https://www.cardada.ch/en/activities/percorso-sorgenti-veroniche>



Figure 15
Circuit Sorgenti Veroniche, Minusio (TI). Photo : Dionea SA

Situation initiale : Le complexe de sources Sorgenti Veroniche à Minusio se compose de nombreux captages dont les débordements alimentent un marais de pente. Le maître d'ouvrage (Cardada impianti turistici - CIT) a assaini deux captages principaux (eau potable ; lutte contre les incendies de forêt), mais a renoncé à tous les captages secondaires.

Objectifs du projet : renaturation d'un complexe de sources avec quatre émergences ; revalorisation des milieux fontinaux et meilleur approvisionnement du marais de pente.

Mesures mises en œuvre : renaturation du marais de pente grâce à une meilleure gestion de l'eau du trop-plein du captage principal et à la revitalisation du réseau de ruisseaux de source. Abandon de quatre petits captages et renaturation de 70 m² de milieux fontinaux au pied de la paroi rocheuse. Concepts pour canaliser la mobilité piétonne, passerelles et clôtures.

Mesures d'entretien : entretien annuel.

Tableau F.4

Coûts du projet pendant la mise en œuvre et pour l'entretien, y compris les organismes de financement respectifs.

Mesure (mise en œuvre et entretien)	Coûts	Organismes de financement
Mesures d'aménagement	60 000 CHF	Cardada impianti turistici
Mesures sylvicoles	10 000 CHF	Cardada impianti turistici
Subventions	70 %	Service paysage et nature et Service des eaux conformément à la loi sur la protection des eaux et à l'ordonnance sur les zones alluviales
Entretien : p. ex. conventions de prestations	Dans le cadre de l'entretien annuel	Cardada impianti turistici

Résultats : enlèvement d'aménagements et de clôtures en ruine, meilleure alimentation du marais de pente, création de nouveaux milieux fontinaux à quatre émergences. Contrôle des résultats encore à faire. Occasion de sensibiliser le public local et les touristes (jusqu'à 10 000 personnes par an) à un sujet encore peu connu (protection des milieux fontinaux) grâce à un projet phare.

Difficultés : 1) Long délai entre la conception et la mise en œuvre, 2) Lors de la démolition des anciens captages, une partie des milieux fontinaux et des marais de pente a inévitablement été détruite (adaptation des engins de chantier et des objectifs), 3) Conservation partielle d'anciennes structures (murs, bassins d'alimentation, tuyaux), qui sont désormais intégrées dans le complexe de milieux fontinaux.

Quels enseignements tirer de ce projet ? L'absence d'exigences en matière de protection et les faibles quantités d'eau ont conduit à l'abandon de la plupart des captages de sources et à leur déconnexion du réseau d'approvisionnement en eau, ce qui a ouvert la possibilité de restaurer un complexe de milieux pittoresque et précieux.

Les « Fontan Veronic » ont une grande valeur historique, culturelle et symbolique : Le thème de l'eau en tant que bien commun, et en particulier celui des sources, est d'actualité tant sur le plan matériel que sur le plan immatériel, car les sources sont associées à des notions de force et de renouveau, comme le suggère le nom du lieu.

3.8. Petits plans d'eau et autres structures d'habitat comme mesure complémentaire

De nombreuses espèces animales telles que les amphibiens, les reptiles, les micromammifères et les invertébrés ont besoin, pour leur survie, d'un paysage richement structuré offrant une grande diversité d'habitats pour la recherche de nourriture, la reproduction, le refuge, l'hibernation et la migration. Dans les forêts autrefois humides, ces structures se formaient naturellement par des inondations temporaires, des niveaux élevés de la nappe phréatique, la mort d'arbres, des intempéries, les activités des castors, etc. Lorsqu'un peuplement forestier est remis en eau, cette richesse structurelle fait souvent défaut. Afin de favoriser les espèces animales cibles, il est donc possible, en plus de la remise en eau, de créer des structures d'habitat pour ces espèces. La mise en œuvre d'une remise en eau génère divers matériaux tels que des matériaux d'excavation, du bois, des pierres, etc. Ils devraient être utilisés au mieux sur place afin d'apporter une valeur ajoutée pour les animaux.

Petits plans d'eau en forêt

Le rôle important des petits plans d'eau pour la conservation et la mise en réseau de la biodiversité est bien documenté [130], [198]. Il peut s'agir aussi bien d'eaux stagnantes (étangs, mares) que d'eaux courantes (ruisseaux, cours supérieurs, fossés). Les sources sont traitées dans un chapitre séparé. Les petits plans d'eau situés en forêt ou à sa lisière constituent des habitats importants pour une multitude d'espèces. Ainsi, presque toutes les espèces d'amphibiens de Suisse dépendent, au moins pendant une partie de leur cycle de vie, de plans d'eau propices à la reproduction et d'habitats terrestres dans la forêt. De nombreux reptiles, insectes et autres invertébrés profitent également des petits plans d'eau en forêt.

Eaux stagnantes permanentes : Les petits plans d'eaux sont des eaux stagnantes qui ont une superficie inférieure à cinq hectares et dont l'ensemble du volume d'eau est baigné de lumière jusqu'au fond. Si un plan d'eau contient de l'eau tout au long de l'année sans s'assécher, il est qualifié de permanent. Les étangs permanents abritent de nombreuses espèces d'amphibiens, d'escargots, d'insectes aquatiques ainsi que des larves de libellules, d'éphémères, etc. Les poissons ne sont pas naturellement présents dans les étangs, sauf si ces derniers sont reliés à un cours d'eau. Ils peuvent toutefois s'y installer lors d'inondations ou après avoir été introduits par l'homme.

Eaux stagnantes temporaires : Les eaux stagnantes temporaires sont de petits plans d'eau qui s'assèchent chaque année ou tous les deux à trois ans. De nombreuses espèces d'amphibiens, de libellules, de petits crustacés, de bryophytes et de plantes vasculaires sont des spécialistes de ce type de plans d'eau et en ont besoin pour survivre. Comme ils s'assèchent régulièrement, les petits plans d'eau temporaires sont en grande partie exempts d'animaux aquatiques prédateurs tels que les poissons et les larves de libellules et de coléoptères aquatiques, dont le développement est long [199], [200]. Les plans d'eau temporaires sont devenus rares en Suisse, notamment en raison du drainage des terres cultivées, des forêts et des zones urbanisées, des corrections des cours d'eau visant à prévenir les inondations, de la régulation du niveau des lacs, mais aussi de l'influence du changement climatique [201].

Cours d'eau : Les petits cours d'eau sont importants en tant qu'habitat, mais aussi pour la mise en réseau des milieux. Dans la forêt, ils constituent souvent des refuges frais pour des poissons telles que le chabot ou la truite fario, mais aussi pour les écrevisses et de nombreuses larves d'insectes. Les petits ruisseaux et ruisselets situés en forêt et dépourvus de poissons sont les principaux sites de reproduction de la salamandre tachetée. Les petits cours d'eau sont souvent dégradés par la mise sous tuyau ou des seuils artificiels qui constituent des obstacles à la migration des poissons et des écrevisses.

Espèces cibles : Parmi les espèces cibles pour la création de petits plans d'eau en forêt, on trouve presque toutes les espèces d'amphibiens indigènes, des reptiles, des libellules, des mollusques, des coléoptères aquatiques et des plantes ayant des besoins particuliers en matière d'habitat, liés aux petits plans d'eau. Une liste des espèces forestières cibles présentes dans le milieu « Eaux libres » (1.) selon Delarze et al. 2015 [95] figure dans le tableau A1.5 de l'annexe A1 Espèces forestières cibles pour les associations forestières des forêts inondables.



Figure 16
Étang près de Laupen. Photo : Irina Bregenzer, info fauna karch.

Mesures possibles pour la création de petits plans d'eau

Les mesures possibles pour la création et l'entretien de petits plans d'eau en forêt sont présentées dans le tableau 8.

Combinaison avec une remise en eau à grande échelle : Si le terrain est varié et présente des dépressions plus ou moins importantes, de petits plans d'eau permanents ou temporaires se forment spontanément lors de l'élévation du niveau de la nappe phréatique. Si les conditions hydrologiques ne permettent pas la formation de plans d'eau ou seulement en petit nombre, ils peuvent être créés de manière ciblée. Cette mesure peut souvent être combinée avec d'autres mesures de renaturation. Lors de l'extraction de matériaux pour le comblement de fossés de drainage, il est par exemple possible de creuser des fosses ou des cuvettes qui se transforment en étangs ou en gouilles lorsque le niveau de la nappe phréatique monte. Les fossés de drainage bloqués par des digues peuvent former de petits plans d'eau stagnante le long du tracé initial du fossé [129], [202]. Dans les milieux marécageux, les plans d'eau ainsi créés ne sont toutefois pas directement comparables aux étangs marécageux naturels, mais constituent de nouveaux milieux avec des paramètres physiques et chimiques différents [129], [202], [203].

Promotion des amphibiens : près de 80 % des espèces d'amphibiens indigènes sont répertoriées comme menacées dans la liste rouge actuelle des amphibiens de Suisse [192]. Les forêts humides sont idéales pour leur promotion en raison de la coexistence directe de sites de reproduction et d'habitats terrestres appropriés. Cependant, les diverses espèces d'amphibiens ont besoin de différents types d'eaux libres (courantes ou stagnantes, permanentes ou temporaires, ensoleillées ou ombragées, etc.) [204]. Pour une conservation réussie, les exigences en matière d'habitat des espèces cibles du projet doivent être prises en compte lors de la planification des petits plans d'eau [200]. Dans la mesure du possible, il convient de combiner sous forme de mosaïque différents types de plans d'eau [205]. En outre, les plans d'eau pour les amphibiens doivent être aménagés en dehors de certains milieux précieux tels que les sources [206].

Mesures d'entretien : La protection contre l'atterrissement et l'ombrage excessif, la restauration du caractère pionnier des plans d'eau temporaires et la lutte contre les néophytes sont les principales mesures d'entretien des petits plans d'eau. En général, les plans d'eau plus grands nécessitent moins d'entretien que les petits. Pour toutes les mesures d'entretien, il convient de choisir le bon moment et la bonne intensité. Les mesures d'entretien ne doivent pas perturber la reproduction, l'élevage des jeunes ou le développement larvaire des espèces présentes (amphibiens, oiseaux, invertébrés, etc.). L'automne est généralement recommandé pour les interventions d'entretien (sauf pour la lutte contre les néophytes). Les mesures telles que l'entretien des berges ou l'enlèvement de matière organique sont de préférence échelonnées, de manière à ne jamais impacter simultanément l'ensemble du plan d'eau ou tous les plans d'eau d'une zone. Cela permet de préserver des refuges pour les organismes vivants et de favoriser le développement de stades de succession dans et autour des plans d'eau. Vous trouverez des informations sur la lutte contre les néophytes sur le site Internet d'info flora (www.infoflora.ch > Néophytes > Néophytes envahissantes).

Instructions : Le type de plan d'eau qui convient à un endroit donné et les mesures d'entretien nécessaires ainsi que leur fréquence doivent être évalués en fonction des conditions locales et des besoins des espèces cibles. Des instructions et des fiches techniques bien documentées sur la création et l'entretien de petits plans d'eau sont disponibles sur les sites Internet du Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des reptiles de Suisse (www.infofauna.ch > Centres de coordination nationaux > Amphibiens > Conservation > Aménagement d'étangs), du Bureau suisse de conseil pour la pêche (FIBER, www.fischereiberatung.ch > Brochures [207]), de Pro Natura (p. ex. Pro Natura Baselland [208]) ou sur la plateforme Promotion de la nature (www.biodivers.ch > Petits plans d'eau).



Figure 17

Cet étang artificiel pour amphibiens se situe dans la forêt alluviale (ormie-frêne de transition du bord des rivières) à côté du Rotbach, au sud-ouest de la zone alluviale n° 338 « Unterer Schiltwald ». Photo : Jan Ryser/OFEV



Figure 18

Entouré de saules, de peupliers et d'autres arbustes de jeune âge, cet étang a été aménagé à des fins de revalorisation écologique sur une terrasse de gravier du Rhin dans la zone alluviale n° 25 « Trimmiser Rodauen ». Photo : Jan Ryser/OFEV

Autres structures d'habitat

D'autres structures d'habitat peuvent être créées pour revaloriser les forêts humides restaurées. Il s'agit notamment de bois mort couché ou sur pied, de diverses petites structures en bois et en pierre, de talus sableux ou graveleux, de surfaces de sol nu ou de lisières de forêt étagées [210]–[214]. Ces petits biotopes offrent des sites de nidification et de repos, des refuges, des cachettes et des possibilités d'hivernage pour une grande variété d'espèces. Sans ces structures, de nombreuses espèces cibles ne trouvent pas d'habitat adéquat malgré la remise en eau [200]. Il est donc important de veiller à la présence de petits biotopes en nombre suffisant lors de la renaturation des milieux.

Le bois mort joue un rôle particulier dans les forêts humides : Le bois mort au sol stocke l'eau de pluie et contribue à la rétention de l'eau [215]. Il crée des conditions humides idéales pour les amphibiens et d'autres espèces animales qui utilisent le bois mort comme cachette et pour la recherche de nourriture. Les amphibiens dépendent de grandes quantités de bois mort couché [212]. Le bois mort sur pied offre un habitat à une multitude d'espèces menacées d'oiseaux, de coléoptères, de chauves-souris, de bryophytes, de lichens et de champignons [216]. Dans les forêts humides de montagne, plus de la moitié des épicéas poussent sur du bois en décomposition, qui joue ici un rôle important dans la régénération de la forêt [216]. De plus, le bois mort protège contre l'érosion du sol en cas de fortes pluies ou de chutes de pierres [216]. Des valeurs minimales pour le volume de bois mort ont été fixées pour les divers types de forêts exploitées dans différentes régions de Suisse. Elles peuvent être consultées dans l'aide à l'exécution « Biodiversité en forêt : objectifs et mesures » dans le domaine d'intervention 2 « Promotion des vieux arbres et du bois mort » [1]. Toutefois, pour favoriser les espèces rares, ces valeurs devraient être largement dépassées [216]. Le WSL met à disposition un ensemble d'informations et d'articles sur le thème du bois mort à l'adresse www.boismort.ch.

Outre le bois mort au sol, des petits biotopes tels que les tas de branches, les tas de pierres et de sable, les souches, etc. sont également précieuses pour les reptiles, les amphibiens et les petits mammifères. Ces microstructures offrent une multitude de cachettes avec des microclimats variés et aident ainsi les petits animaux qui les utilisent à réguler leur température et leur hydratation.

Tableau 8

Mesures possibles pour la création de petits plans d'eau en forêt. Il s'agit de mesures complémentaires à la remise en eau de vastes surfaces forestières. Les coûts et le temps nécessaires peuvent varier considérablement en fonction de l'ampleur du projet.

Mesure	Détails
Creusement de petits plans d'eau	À l'aide d'excavatrices ou manuellement, des dépressions plus ou moins grandes sont creusées. Si le niveau d'eau monte suffisamment, celles-ci se remplissent d'eau de manière permanente ou temporaire. - Étangs alimentés par la nappe phréatique : profondeur en fonction du niveau de la nappe phréatique. Si le niveau de la nappe phréatique fluctue, aménager les plans d'eau de manière à ce qu'ils s'assèchent pendant une partie de l'année (mesures nécessaires). - Étangs à fond imperméable : Dans les zones humides à sol imperméable, des dépressions peuvent être creusées et compactées à l'aide de machines. Ces fosses retiennent souvent l'eau suffisamment longtemps pour permettre le développement d'amphibiens et d'autres organismes aquatiques. La terre excavée peut être utilisée directement pour combler les fossés de drainage.
Comblement des fossés de drainage	Au lieu de combler les fossés de drainage sur toute leur longueur, certaines sections peuvent être laissées ouvertes et, si nécessaire, approfondies ou élargies afin que l'eau s'y accumule. Surtout faisable lorsque la pente est faible. Le barrage peut être réalisé par comblement local, palplanches, digues transversales, barrages avec vannes ou palissades en bois.
Gouilles, traces de roues	Si, pendant la mise en œuvre, les voies de circulation sont creusées et compactées par les véhicules, des flaques temporaires peuvent se former pour les sonneurs à ventre jaune. Il est également possible d'y contribuer délibérément en continuant à circuler. Ces flaques ne durent que quelques années. Lors des travaux d'entretien réguliers, de nouvelles gouilles peuvent être créées. Respecter les prescriptions en matière de protection des sols ! L'entretien des chemins peut être combiné à la création de petits plans d'eau pionniers en bordure de chemin. Ne pas combler les trous laissés par les racines des arbres tombés, car de petits plans d'eau s'y forment souvent.
Réaliser le drainage des routes et chemins forestiers en surface	Si les petites routes et chemins forestiers sont drainés en surface, les fossés de drainage servent également de petits plans d'eau. Les petits fossés peuvent être divisés en bassins/marches afin de ralentir l'écoulement et de former une chaîne de petits plans d'eau. Si le drainage ne se fait qu'en partie en surface et que l'eau est ensuite acheminée vers une conduite souterraine ou vers les égouts, il faut s'assurer que cela ne constitue pas un piège pour les petits animaux [209].
Aménagement naturel des petits cours d'eau et des sources	Remettre à ciel ouvert les sources et cours d'eau captés et les aménager de manière naturelle. Supprimer les obstacles artificiels à la migration, tels que les seuils, afin de permettre le déplacement des poissons et des invertébrés le long du cours d'eau.
Barrage des cours d'eau par les castors	Le barrage d'un cours d'eau par les castors crée des étangs et une mosaïque de milieux terrestres et aquatiques qui offrent des conditions idéales pour les amphibiens, les poissons, les insectes, les plantes aquatiques et de nombreuses autres espèces. Aucune mesure active n'est nécessaire. Il suffit de laisser les castors agir là où cela est compatible avec d'autres utilisations.
Plantation	En règle générale, cela n'est pas nécessaire, car la colonisation spontanée est généralement fiable. Une plantation clairsemée peut être utile à certaines fins (p. ex. protection contre l'érosion, limitation des néophytes, promotion d'espèces rares).

Mesures d'entretien	
Lutte contre les néophytes	Le contrôle régulier et l'élimination des néophytes empêchent leur colonisation permanente au bord et dans les petits plans d'eau.
Élimination des matières organiques dans l'eau	Excavation de la vase, des feuilles en décomposition, etc. du fond du plan d'eau.
Taille de la végétation	Élimination ou taille des buissons et des roseaux qui ombragent trop la surface de l'eau ou envahissent les berges ouvertes.
Vidange des eaux stagnantes temporaires	Les plans d'eau temporaires artificiellement étanchéifiés doivent être vidés périodiquement afin d'empêcher la colonisation par des insectes prédateurs et des poissons.
Gestion des flux humains	Si l'on s'attend à la présence de personnes, il est judicieux de mettre en place des mesures de canalisation, par exemple des panneaux d'information, des cheminements, des passerelles, des clôtures. Pour les plans d'eau situés à proximité d'habitations, des mesures sécuritaires telles que des clôtures sont obligatoires.

Le tableau 9 donne un aperçu des petits biotopes potentiels permettant de favoriser la biodiversité dans les forêts humides. Des instructions détaillées et des fiches techniques pour la création de microstructures visant à promouvoir la biodiversité sont disponibles sur le site Internet du Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des reptiles en Suisse (www.infofauna.ch > Centres de coordination nationaux > Reptiles > Conservation > Plans d'action et fiches pratiques), dans le chapitre consacré aux petits biotopes de la Plateforme promotion de la nature (www.biodivers.ch > Petits biotopes) ainsi que sur les sites Internet de différentes organisations de protection de la nature telles que BirdLife Suisse ou WWF Suisse.

Tableau 9

Mesures pour la création de petits biotopes dans les forêts humides. Il s'agit de mesures complémentaires à la remise en eau de vastes zones forestières. Les coûts et le temps nécessaires peuvent varier considérablement en fonction de l'ampleur des travaux.

Mesure	Détails
Bois mort couché	Lors des mesures de mise en œuvre et d'entretien, ainsi que pour le bois mort naturel, ne pas l'évacuer, mais le laisser sur place. Les tronçons de gros diamètre sont particulièrement précieux.
Bois mort sur pied	Les arbres qui meurent en raison de la remise en eau du sol ou pour d'autres raisons, et qui restent sur pied constituent des habitats précieux pour des coléoptères, oiseaux, mammifères, bryophytes, lichens et champignons protégés. Prévention des infestations de scolytes : les épicéas morts ou les troncs d'épicéas laissés sur place pour favoriser la biodiversité risquent d'être infestés par les scolytes (surtout bostryche typographe). Pour prévenir cela, l'écorce peut être entaillée verticalement à intervalles réguliers. Cela empêche la colonisation par le bostryche, mais préserve le bois mort comme habitat [217].
Tas de branches	Lorsque des arbres et des arbustes sont taillés ou éliminés dans le cadre de mesures d'entretien, les branches coupées peuvent être empilées. Idéalement, elles doivent être placées dans un endroit bien ensoleillé (p. ex. lisière de forêt, clairière, talus). Ces tas sont particulièrement précieux pour les reptiles et les insectes.
Souches	Les souches déterrées lors de travaux de défrichage constituent des cachettes idéales pour les petits animaux. Elles sont souvent intégrées dans des tas de branches ou de pierres.
Tas de pierres et lentilles de pierre	Les tas et les lentilles de pierres offrent des cachettes précieuses, en particulier pour les reptiles et le crapaud accoucheur. Particulièrement précieux dans les endroits ensoleillés. Utile uniquement dans les associations forestières sur sols perméables ou sur les pentes. Utiliser les pierres disponibles sur place.
Surfaces de sol nu, talus et parois abruptes	De nombreuses espèces d'insectes ont besoin de surfaces de sol nu pour se reproduire. D'autres insectes, le crapaud accoucheur et le martin-pêcheur ont besoin de parois abruptes ou de talus comme abris ou sites de reproduction.

Exemple concret : les mares forestières lausannoises

Contribution : Melanie Annen, association Jorat parc naturel

Fiche descriptive

- Forêts publiques de la ville de Lausanne
- Milieu cible : mares forestières permanentes dans les aulnaies et les frênaies
- Durée : 2000 à 2030
- Coûts : environ 50 000 CHF en 2024 pour la création et l'entretien de 10 mares forestières
- Responsables du projet : Melanie Annen pour Jorat parc naturel et Jacques Pillet pour la ville de Lausanne
- Lien : <https://jorat.org>



Figure 19

Mare aménagée en 2024 par l'association Jorat parc naturel. Photo : Jorat parc naturel

Situation initiale : forêts fortement drainées pour permettre la plantation d'épicéas.

Objectifs du projet : depuis la fin des années 1990, la ville de Lausanne poursuit l'objectif de restaurer l'hydrologie dans certaines parties de ses forêts.

- Comblement des fossés de drainage là où poussent des espèces hygrophiles et dans les associations forestières humides.
- Création de mares forestières pour renforcer le réseau écologique du canton de Vaud.

Ces efforts se poursuivent aujourd'hui dans la zone de transition du Parc Naturel du Jorat, qui a obtenu en 2021 le label « Parc d'importance nationale ». L'association Jorat parc naturel, responsable de la gestion du parc, a intégré la création et l'entretien de mares forestières dans son plan d'action pour préserver et accroître la biodiversité, ainsi que leur suivi scientifique à long terme.

Mesures mises en œuvre : comblement des fossés de drainage, abattage ciblé des conifères (principalement épicéas), préservation des frênes et des aulnes dans la mesure du possible, élimination de buissons et d'arbres afin d'apporter de la lumière dans la forêt. Création de mares forestières : profondeur de 80 cm à 1 m avec des berges en pente douce pour favoriser la biodiversité et un trop-plein en bois. Aucune bâche n'a été utilisée sur les sols argileux. Suivi scientifique des mares forestières à l'aide de trois guildes aquatiques.

Mesures d'entretien : nécessaires tous les 6 à 8 ans environ : élimination des buissons et des arbres. Fauche des plantes et arrachage des espèces végétales envahissantes.

Tableau F.5

Coûts détaillés du projet pendant la mise en œuvre et pour l'entretien, y compris les organismes de financement.

Mesure (mise en œuvre et entretien)	Coûts	Organismes de financement
Création de mares forestières	Environ 50 000 CHF	Confédération, canton de Vaud, ville de Lausanne et Parc naturel du Jorat
Remise en état, modelage des berges en pente douce, etc.		
Abattage d'arbres et débroussaillage		
Fauche et lutte contre les espèces végétales envahissantes		

Succès : L'hiver suivant la création des étangs, des œufs de grenouilles rousses étaient déjà présents.

Difficultés : 1) La création de nouveaux biotopes d'une certaine taille nécessite un appel d'offres public. Cela exige une planification précoce, car le processus peut prendre plusieurs mois. 2) Les projets impliquant plusieurs protagonistes nécessitent une coordination renforcée. Ces coopérations sont enrichissantes et permettent d'obtenir de meilleurs résultats à long terme. 3) Les mares créées nécessitent un entretien continu pour être préservées : Des mesures d'entretien sont mises en œuvre tous les 6 à 8 ans.

Quels enseignements tirer de ce projet ? Après la renaturation du milieu, la nature se rétablit rapidement. Néanmoins, une surveillance régulière des biotopes est nécessaire pour s'assurer que le trop-plein régule correctement le niveau d'eau, que l'étang ne s'atterrisse pas (apport de matière organique par les arbres environnants) et pour contrôler les plantes envahissantes.

3.9. Remise en eau des forêts par les castors

Le castor en Suisse

Au début du XIX^e siècle, le castor avait été exterminé par la chasse dans une grande partie de l'Europe, y compris en Suisse. Depuis sa réintroduction entre 1956 et 1977, la population suisse est en constante augmentation. En 2022, environ 4900 castors vivaient dans 1382 territoires dans toute la Suisse [218]. Selon la Liste rouge suisse, le castor n'est plus menacé [219], mais il conserve son statut d'espèce protégée au niveau national. Environ 11 % de ses territoires se trouvent entièrement en forêt, tandis que 14 % se trouvent en partie en forêt et en partie en milieu ouvert. Les cours d'eau les plus fréquemment colonisés sont les ruisseaux (0,5 à 5 m de largeur). On trouve également régulièrement des territoires de castors le long des rivières ainsi que sur les rives des lacs et des grands étangs [220], [221].

Les castors sont considérés comme des ingénieurs de l'écosystème, car ils peuvent transformer les milieux en construisant des barrages. Ils ont besoin d'eaux libres d'une profondeur minimale d'environ 50 cm afin que les entrées des huttes creusées dans les berges soient sous l'eau pour être protégées des prédateurs. Les barrages de castors agrandissent leur habitat, rendent accessibles à la nage des sources de nourriture éloignées et facilitent le transport des matériaux de construction par la voie des eaux. Dans l'étang situé en amont d'un barrage de castors, de nouveaux milieux caractérisés par une remise en eau dynamique se forment. Ceux-ci ont une influence positive sur la biodiversité et fournissent de nombreux services écosystémiques [222].

Les castors sont des aides efficaces et peu coûteuses pour la remise en eau de forêts. Il est donc important de les inclure dans la gestion environnementale et de laisser de l'espace pour les eaux lorsque cela est possible afin que les castors puissent déployer leurs effets positifs.

Afin d'obtenir ces effets indépendamment de la colonisation par les castors, des « Beaver Dam Analogs » (BDA) ont été développés. Ceux-ci influencent l'hydrologie d'un cours d'eau de manière similaire à un barrage

naturel de castors et contribuent ainsi à la remise en eau (encadré 4). Les BDA sont plutôt une mesure à court terme (durée de vie < 10 ans) qui permet au cours d'eau de régénérer ses conditions naturelles [222]. Les BDA ne peuvent pas remplacer complètement les barrages de castors dans leur fonction, car il leur manque la dynamique importante générée par l'activité des castors. Dans l'idéal, la construction de BDA rend les eaux attractives pour la colonisation par les castors. La preuve de l'utilité à long terme des BDA et de leur efficacité pour la remise en eau des sols forestiers environnants sur une grande surface doit encore être apportée par des analyses d'impact.

Les activités des castors peuvent également être source de conflits. Il s'agit principalement des dégâts causés aux arbres dont ils se nourrissent, de la remise en eau de surfaces forestières et de la mort d'arbres à des endroits où cela n'est pas souhaitable, ainsi que des dommages causés aux infrastructures telles que les routes. La gestion des conflits liés aux castors nécessite une évaluation approfondie des intérêts présents. Il est important de tenir compte de l'influence positive du castor sur les milieux. Les sites influencés par les castors peuvent être préservés à long terme en les classant comme réserves forestières [1]. Le Service conseil national castor a rassemblé des informations sur son site Internet (<https://www.infofauna.ch/fr/centres-de-coordination-nationaux/castor> > Gestion > Mesures de prévention et d'intervention) pour gérer les conflits liés aux castors.



Figure 20

Territoire de castors en forêt avec une hutte au centre et des arbres morts dans la zone inondée. Photo : Christof Angst, info fauna Service conseil national castor

Encadré 4 : Inspiré du castor - Beaver Dam Analogs

Il est possible d'imiter artificiellement les effets positifs des barrages de castors à l'aide de ce que l'on appelle des Beaver Dam Analogs (BDA). Les BDA sont des constructions peu coûteuses et proches de l'état naturel, utilisées pour la renaturation de petits cours d'eau. Ces derniers représentent tout de même 71,9 % du réseau hydrographique suisse [222]. Un BDA se compose de pieux enfoncés sur une ligne en travers d'un cours d'eau, puis reliés entre eux par un treillis en osier et étanchéifiés avec des sédiments ou de la litière. Développés à l'origine aux États-Unis [222], ils sont désormais également utilisés en Europe, y compris en Suisse. Ils sont notamment utilisés pour rehausser et stabiliser le lit des cours d'eau afin de permettre des inondations dynamiques et de restaurer la complexité morphologique, la diversité des milieux et la connexion avec le terrain environnant [224]. Les BDA sont utilisés comme structures initiales qui déclenchent des processus de renaturation d'un cours d'eau. Leur position et leur structure sont modifiées par la dégradation naturelle et les crues, tout comme les barrages de castors. Ils déploient pleinement leur effet lorsque plusieurs d'entre eux sont installées en série dans un cours d'eau [22]. En outre, ils doivent être entretenues et réparées pour être conservées plus longtemps dans le cours d'eau, comme le font les castors avec leurs barrages [222]. Grâce à leur installation simple, leur mise en œuvre rapide et leurs faibles besoins en entretien, les BDA sont peu coûteux et bien adaptés aux projets à petit budget. Cependant, ils ne peuvent pas remplacer les barrages de castors : La dynamique que les castors créent par leurs activités quotidiennes dans les cours d'eau fait défaut aux BDA. Le rapport « Beaver Dam Analogs - Klimaresilienz und Biodiversität für unsere Bäche » (Beaver Dam Analogs - Résilience climatique et biodiversité pour nos ruisseaux) de Werdenberg et Widmer (2022) [226] contient des instructions pour la planification et la construction de BDA, ainsi que des exemples de leur utilisation en Suisse. Il convient de noter que les BDA ont été développés et conçus pour les cours d'eau. Ils ne conviennent pas à la remise en eau à grande échelle des milieux humides forestiers, qui nécessite des constructions solides et durables ne demandant qu'un entretien minimal.



Figure 21

Beaver Dam Analog. On voit ici des pieux étanchéifiés par du bois et des sédiments afin de retenir l'eau. Photo : Niels Werdenberg, Emch+Berger AG Berne



Figure 22
Construction d'un BDA par des pieux plantés, complétés par un treillis de saule. Photo : Niels Werdenberg, Emch+Berger AG Berne

Effets attendus du castor dans la forêt

Dans les forêts, les castors colonisent principalement les ruisseaux et y construisent leurs barrages. Mais ils peuvent également vivre dans des fossés de drainage, à condition que ceux-ci soient alimentés en eau. La superficie inondée par un barrage de castors à un endroit donné a été modélisée pour l'ensemble de la Suisse et peut être prédite à l'aide du modèle « Castor et zones alluviales » [226]. Il montre le grand potentiel du castor pour la restauration des forêts humides en Suisse et aide à trouver des sites appropriés que le castor peut inonder à l'aide de barrages. D'autre part, il indique également les zones où des conflits sont à prévoir. Le modèle « Castor et zones alluviales » est disponible sur le site Internet du Service conseil national castor.

Par leurs activités, les castors créent des microhabitats diversifiés et modifient les conditions hydromorphologiques en construisant des barrages. Cela fait évoluer la biodiversité aquatique et terrestre de façon positive [227], [228]. Les castors contribuent ainsi à la renaturation des ruisseaux forestiers et des fossés de drainage. Sans autre intervention, il faut environ 5 à 10 ans pour que les ruisseaux se transforment en zones humides étendues, tandis qu'il faut plus de 10 à 20 ans pour qu'un fossé de drainage perde son caractère artificiel [228].

Les castors peuvent modifier considérablement la structure des forêts en abattant des arbres sur de grandes surfaces ou en construisant des barrages [229]. Plus une forêt est éloignée de son état naturel, plus les changements dans la végétation seront importants [230]. La remise en eau ou l'inondation d'une forêt font mourir

les arbres, créant ainsi des espaces ouverts avec beaucoup de bois mort sur pied ou couché. Les étangs de castors accumulent des sédiments ce qui peut former des zones d'atterrissement. Les barrages de castors sont souvent temporaires et peuvent être emportés par les crues, par exemple. Ils sont ensuite reconstruits à un autre endroit ou sous une autre forme. Les castors relient également différents milieux aquatiques à l'aide de fossés qu'ils creusent eux-mêmes, modifiant ainsi les conditions d'écoulement. Un système d'inondation dynamique en constante évolution se forme, avec des zones humides temporaires et des plans d'eau de taille et de profondeur variables. À long terme (>10-15 ans) ou après l'abandon d'un territoire de castors, les essences typiques des zones alluviales profitent de ces conditions, car elles sont bien adaptées aux inondations dynamiques [231]. Les castors se nourrissent volontiers des essences indigènes à bois tendre telles que les saules et les peupliers, entraînant parfois un déclin des peuplements [229], [232]. Cependant, ces essences ont la capacité de se régénérer rapidement à partir des souches [233], [234]. Il peut toutefois arriver que les castors préfèrent comme source de nourriture les essences indigènes à bois tendre plutôt que les espèces envahissantes, renforçant ainsi indirectement la dominance de ces dernières [235], [236].

De nombreuses espèces issues de divers groupes profitent des milieux créés par le castor. Les effets des activités du castor sur la biodiversité aquatique, semi-aquatique et terrestre ont été résumés en détail. Un effet globalement positif est scientifiquement prouvé [220], [229], [237], [238]. Une étude menée en Suisse a montré que les cours d'eau comportant des barrages de castors présentaient à la fois une plus grande diversité d'espèces et une plus grande abondance des espèces étudiées que les tronçons témoins sans activité de castors situés sur les mêmes cours d'eau [239], [240]. Les effets les plus importants sur la biodiversité ont été observés dans les forêts et dans les cours d'eau artificiels, fortement marqués par les activités humaines. Dans les territoires des castors, on a pu recenser un nombre significativement plus élevé d'espèces, en particulier parmi les amphibiens, les chauves-souris, les libellules, les poissons et les plantes aquatiques [241]. Dans la mesure du possible, il convient donc d'autoriser la colonisation de la forêt par les castors.

Mesures possibles pour la gestion des castors

Le « Plan Castor Suisse » [242] prévoit que les surfaces forestières inondées et modifiées par les activités des castors soient classées comme réserves forestières et puissent ainsi bénéficier d'aides financières de la Confédération. Depuis 2025, cela est également stipulé dans les conventions-programmes dans le domaine de l'environnement (programme partiel « Biodiversité en forêt »). La création de réserves forestières naturelles ou de réserves forestières spéciales est ainsi possible (encadré 1, Définition des réserves forestières). Les mesures liées aux castors, y compris la limitation des effets indésirables, ne peuvent être mises en œuvre que dans les réserves forestières spéciales. Les conditions exactes pour la délimitation des réserves forestières sont régies au niveau cantonal. Les directives cantonales doivent permettre une plus grande flexibilité en ce qui concerne la taille minimale ou l'état initial d'une réserve si une réserve forestière naturelle est prévue. Des clauses relatives à la modification de la taille des surfaces peuvent également être ajoutées aux contrats d'utilisation afin de tenir compte de la dynamique d'un milieu créé par les castors. Les contributions à l'entretien des réserves forestières spéciales peuvent également être utilisées pour prévenir les dommages causés par les castors en lisière ou à l'extérieur des réserves.

Dans le cas où certains castors causeraient des dommages importants ou mettraient en danger des personnes, la loi sur la chasse (LChP) et l'ordonnance sur la chasse (OChP) régissent les conditions dans lesquelles des mesures peuvent être prises à l'encontre de ces individus. Toutefois, de telles mesures ne peuvent être prises que si des mesures de prévention raisonnables ne permettent pas d'éviter les dommages ou les dangers (LChP, art. 12, al. 2 et OChP, art. 9d).

Exemple concret : territoire de castors dans la forêt près de Herzogenbuchsee

Contribution : Christof Angst, Service conseil national castor

Fiche descriptive

- Lieu : Herzogenbuchsee, Badwald
- Milieu cible : forêt humide
- Superficie : 2,8 ha
- Durée : îlot de sénescence préservé pendant 25 ans
- Coûts : rehaussement de la route : 25 404 francs
- Îlot de sénescence : conformément aux directives du canton de Berne
- Responsabilité du projet : bourgeoisie de Herzogenbuchsee, Office des forêts et des dangers naturels (OFDN), fonds écologique BKW, Pro Natura Berne



Figure 23

Territoire de castors dans la forêt de Badwald, Herzogenbuchsee.
Photo : Christof Angst, info fauna Service conseil national castor

Situation initiale : Entre Bützberg et Herzogenbuchsee, une famille de castors a inondé plusieurs hectares de forêt en construisant un barrage. Des arbres de grande valeur ont dépéri et la route forestière, importante pour l'exploitation sylvicole, a été temporairement inondée.

Objectifs du projet : La bourgeoisie de Herzogenbuchsee, propriétaire de la parcelle forestière, a lancé un projet en collaboration avec l'action « Hallo Biber! Mittelland » de Pro Natura. L'objectif était de compenser les pertes sylvicoles, d'empêcher l'inondation de la route forestière et, en même temps, de préserver le précieux milieu ainsi créé.

Mesures mises en œuvre :

Surélévation de la route forestière : Grâce à la topographie favorable, la surélévation de la route forestière sur un tronçon limité a permis d'exclure en grande partie le risque d'inondation future de la route. La chaussée a été surélevée d'environ 70 centimètres sur une longueur d'environ 80 mètres.

Création d'un îlot de sénescence : La bourgeoisie de Herzogenbuchsee a approuvé la création d'un îlot de sénescence de 2,8 hectares. L'Office des forêts du canton a ensuite rédigé un contrat avec la propriétaire forestière, qui régit également la compensation financière. L'accord, d'une durée de 25 ans, a été signé et est entré en vigueur en 2016.

Tableau F.6

Coûts du projet pendant la mise en œuvre et pour l'entretien, y compris les organismes de financement.

Mesure (mise en œuvre et entretien)	Coûts	Organismes de financement
Mesures d'aménagement	25 404 CHF	Fonds écologique BKW, Pro Natura Berne
Création d'un îlot de sénescence	Conformément aux directives du canton de Berne	Office des forêts et des dangers naturels (OFDN)
Mesures sylvicoles	Aucune	-
Entretien : p. ex. conventions de prestations	Lutte contre les néophytes au début de la colonisation par les castors. Sans compensation financière pour le projet initial.	Service forestier de la bourgeoisie et Pro Natura

Résultats : Il est rapidement apparu que les castors créaient un milieu particulier dans la forêt de Badwald. Depuis la création de l'îlot de sénescence, la famille de castors a construit d'autres barrages et étendu son territoire.

Ce territoire de castors était l'une des 16 zones étudiées dans le cadre du projet de recherche national sur l'influence des castors sur la biodiversité [239]. Il figure parmi les territoires de castors les plus riches en espèces et les plus diversifiés qui ont été étudiés.

Difficultés : Le responsable de Pro Natura était un chef de projet expérimenté. Il a réuni les protagonistes importants autour de la table et a pu garantir le financement. Le projet a ainsi été mis en œuvre sans difficulté notable.

Quels enseignements tirer de ce projet ? Lorsque tout le monde tire à la même corde, de grandes choses sont possibles. La possibilité de créer des îlots de sénescence ou des réserves forestières et d'indemniser les propriétaires forestiers lorsque les castors inondent leur forêt est un outil important dans le cadre de la promotion des forêts humides.

3.10. Contrôles des résultats

Les contrôles des résultats sont indispensables pour évaluer les mesures prises en vue de restaurer les forêts humides. Ils comprennent à la fois le contrôle de la mise en œuvre et l'évaluation de l'efficacité des mesures. Sur cette base, les mesures peuvent être adaptées si les objectifs visés par le projet ne sont pas atteints. Les indicateurs de réussite du projet, le protocole de relevés ainsi que la durée et la fréquence des relevés pour le contrôle des résultats doivent être définis avant le lancement du projet. Le choix des indicateurs appropriés dépend de l'objectif de renaturation visé [243], [244]. Cela peut être, par exemple, l'amélioration de la structure forestière, un écosystème pleinement fonctionnel dans son état d'origine, la restauration de certains services écosystémiques, une biocénose cible, une population stable d'une espèce cible ou sa diversité génétique. Pour la définition, il convient de disposer d'une référence ou d'un contrôle (par exemple, au moins une zone forestière comparable non drainée) pouvant servir de repère. Sur cette base, il est possible de définir des objectifs de renaturation mesurables qui permettent de sélectionner les indicateurs appropriés (figure 24).

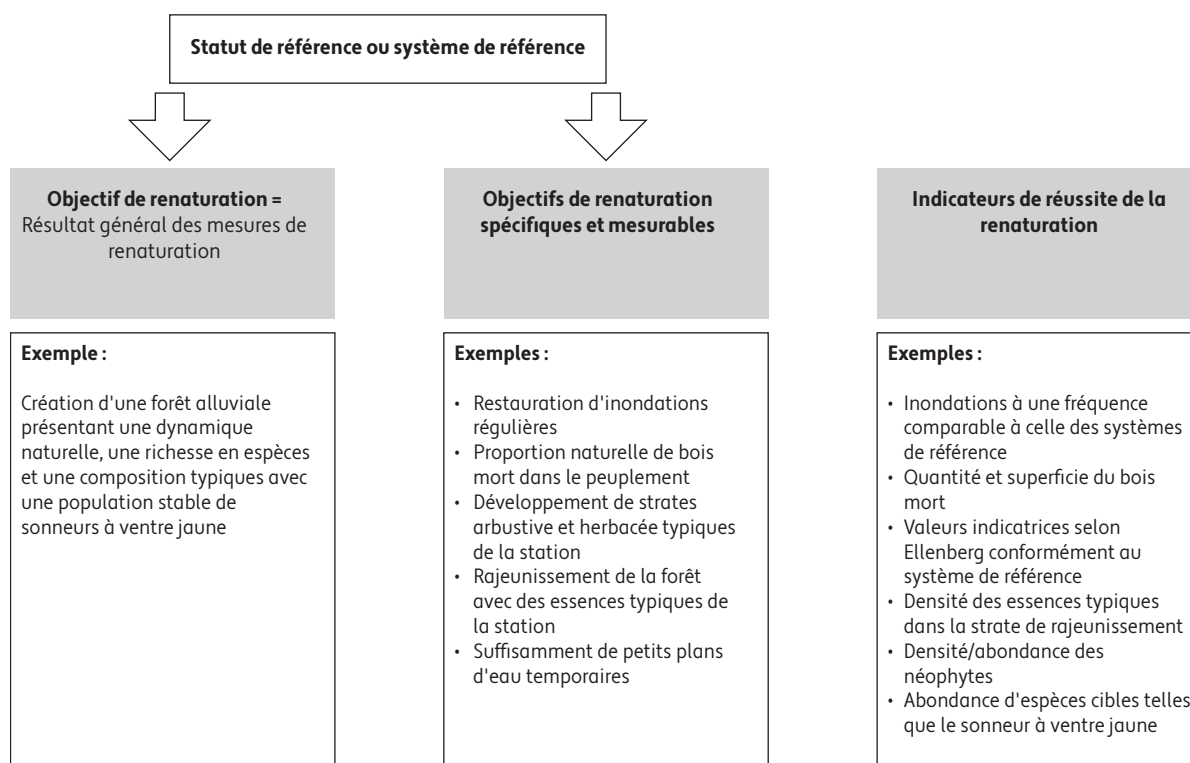


Figure 24

Étapes pour la sélection d'indicateurs appropriés pour le contrôle des résultats à l'exemple d'une renaturation de forêt alluviale. Figure adaptée d'après Prach et al. 2019 [243].

En ce qui concerne les méthodes de collecte des données sur la biodiversité, il est possible de s'appuyer sur celles de l'inventaire forestier national (IFN, www.lfi.ch), qui recueille principalement des données sur les aspects structurels de la forêt pertinents pour la biodiversité (bois mort, vieux bois, diversité structurelle et caractère naturel du peuplement [245]). Le cinquième inventaire en cours (IFN5) recense également les dendromicrohabitats [246]–[248].

Si le contrôle des résultats s'appuie sur des indicateurs de biodiversité tels que la diversité des espèces observées, il est essentiel de tenir compte de la dépendance de l'indicateur par rapport à la taille de la surface considérée. Les recherches actuelles visent à rendre ces indicateurs comparables pour différentes tailles de surface à l'aide de méthodes statistiques [249], [250], ce qui pourrait être utile pour comparer différents projets de restauration de forêts humides.



Figure 25

Piège à coléoptères du bois mort pour contrôler le succès de l'abandon de l'exploitation dans le Brugger Schachen (canton d'Argovie).
Photo : Christoph Bühler, Hintermann & Weber

Évaluation des effets par les cantons

Les projets définis dans les conventions d'objectifs dans le domaine de la conservation de la biodiversité conclues entre la Confédération et les cantons doivent faire l'objet d'une évaluation des effets sur des placettes témoins (surfaces de référence clôturées), dont la méthodologie est prescrite. Depuis 2025, le « Concept pour l'analyse des effets sur la biodiversité en forêt » [251] comprend des normes méthodologiques pour l'analyse au niveau de la structure (annexe A1) et au niveau de l'espèce (annexe A2). Toutes les informations et tous les documents à ce sujet sont disponibles sur le site Internet « Biodiversité en forêt » (www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/biodiversite.html) > Écosystèmes > Forêt). Les cantons sont responsables de la réalisation des évaluations des effets.

L'évaluation des effets pour les forêts humides au niveau de la structure est disponible via le formulaire « Forêts humides ». Elle fonctionne avec des objectifs minimaux (fixés par la Confédération) et des objectifs d'effet spécifiques à l'objet (état souhaité, à formuler lors de la première mise en œuvre). L'évaluation des effets comprend des indicateurs généraux pour la biodiversité forestière (mélange d'essences et structure du peuplement principal, degré de recouvrement et diversité des strates arbustive et herbacée, nombre d'arbres habitats et quantité de bois mort), ainsi que des indicateurs spécifiques aux forêts humides. Il s'agit notamment de la longueur et de la qualité d'habitat des (petits) cours d'eau, de la superficie et de la qualité d'habitat des (petits) plans d'eau, de la superficie des sols humides et du nombre de microstructures spécifiques. En ce qui concerne la superficie des sols humides, on distingue 1. les sols forestiers marécageux, saturés d'eau et en grande partie dépourvus de végétation (y compris les zones non captées des sources), 2. les zones avec une végétation indicatrice d'humidité, 3. les îlots de gravier sans végétation et les zones de sable et de limon au bord des cours d'eau, 4. d'autres sols inondés au cours des cinq dernières années. En outre, la présence de néophytes et d'autres espèces problématiques, un ensemble d'espèces cibles (flore) ainsi que l'existence de milieux répondant aux exigences des espèces cibles sélectionnées sont également recensées.



4. Bases juridiques et administratives

L'exigence de restaurer les forêts humides afin de préserver la biodiversité forestière découle des lois fédérales sur les forêts (loi sur les forêts, LFo, et ordonnance sur les forêts, OFo), sur la protection de la nature (loi sur la protection de la nature et du paysage, LPN) et sur la chasse (loi fédérale sur la chasse et la protection des mammifères et oiseaux sauvages, LChP). Des compléments importants à la LPN, pertinents pour les forêts humides, figurent dans l'ordonnance sur les zones alluviales [148], l'ordonnance sur les hauts-marais [135], l'ordonnance sur les sites marécageux [252], l'ordonnance sur les bas-marais [253] et l'ordonnance sur la protection des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale [254]. Le chapitre 6 de l'aide à l'exécution « Biodiversité en forêt : objectifs et mesures » [1] présente un tableau récapitulatif des bases légales et des instruments de mise en œuvre relatifs à la biodiversité en forêt. Selon ce tableau, les objectifs nationaux suivants s'appliquent jusqu'en 2030 dans le domaine d'intervention D3.4 « Maintenir et restaurer les forêts humides » :

- Les forêts humides dégradées et les stations humides temporaires sont restaurées en **abandonnant tout drainage**.
- Les forêts et les biotopes humides sont, pour autant que cela soit judicieux, protégés dans des réserves forestières spéciales.
- **Les autres biotopes humides situés** dans l'aire forestière comme les étangs, sont conservés. Cela vise à promouvoir de manière ciblée les espèces prioritaires au niveau national, en particulier les amphibiens, les libellules et la couleuvre à collier.

- Les peuplements croissant sur des stations de forêts humides prioritaires, et dont la composition en espèces est très peu naturelle, sont convertis en **peuplements proches de la nature avec des essences indigènes en station**.
- Les milieux naturels associés aux sources (notamment les ruisselets de source et les suintements) sont inventoriés sur la base de relevés structurels et faunistiques. Cela donne les conditions préalables pour définir les mesures de conservation à long terme de ces milieux et les mettre en œuvre au bon endroit.
- Dans l'aire de répartition du castor, les forêts humides qu'il a restaurées en tant que telles sont délimitées comme réserves forestières chaque fois que possible.
- La coordination entre les services de la forêt et de protection de la nature est assurée.

Ancrage des objectifs nationaux dans les cantons

Pour atteindre les objectifs nationaux, des mesures sont nécessaires au niveau cantonal. Les bases juridiques cantonales, telles que les lois, les ordonnances et les planifications contraignantes, par exemple sous la forme de plans directeurs, jouent un rôle central dans leur ancrage. Les instruments conceptuels et de planification au niveau cantonal sont les programmes de protection de la nature et des forêts, les concepts de réserves forestières, les plans directeurs forestiers ainsi que les programmes spécifiques aux espèces et aux milieux [1]. L'intégration de mesures et d'objectifs correspondants dans les stratégies biodiversité cantonales peut également y contribuer. Les cantons sont responsables de la mise en œuvre des mesures et du contrôle des résultats (voir chapitre « [Évaluation des effets par les cantons](#) »).

Les mesures à prendre au niveau régional sont analysées en commun par la Confédération, les cantons, les milieux scientifiques et les associations, puis actualisées tous les huit ans [1]. Sur cette base, des conventions de prestations sont conclues avec les cantons dans le cadre des conventions-programmes en matière d'environnement (RPT). Celles-ci fixent les objectifs et les prestations dans le domaine de l'environnement ainsi que les contributions financières disponibles à cet effet. Les bases actuelles des conventions-programmes peuvent être consultées dans le « Manuel sur les conventions-programmes dans le domaine de l'environnement » [91].

Les objectifs du programme liés à la restauration des forêts humides figurent dans le programme partiel « Biodiversité en forêt » :

- **OP1 : Protection à long terme de surfaces forestières et des arbres présentant des valeurs écologiques remarquables** : comprend les réserves forestières, les îlots de sénescence, les arbres-habitat et les analyses des effets cantonales.
- **OP2 : Conservation d'habitats et d'espèces** : englobe toutes les interventions de protection de la nature en forêt servant à valoriser des biotopes et des éléments de mise en réseau de grande valeur écologique, à conserver des espèces prioritaires et à perpétuer des formes d'exploitation particulières de grande valeur écologique et paysagère. Cela comprend notamment des interventions visant à restaurer les biotopes humides (par exemple, remise en eau par retenue d'eau, dragage de petits plans d'eau) et la délimitation de zones humides colonisées par les castors en tant que réserves forestières spéciales.

Dans les forêts de marais, les forêts alluviales et les sites de reproduction de batraciens d'importance nationale situés en forêt, il peut y avoir des chevauchements avec le programme « Biotopes et compensation écologique, y compris espèces et mise en réseau ». Les zones de chevauchement doivent être identifiées et classées par ordre de priorité dans le cadre de la planification cantonale de l'infrastructure écologique. En outre, la promotion des petits plans d'eau, des étangs temporaires et des zones humides est mentionnée dans le programme « Protection de la nature » (objectif 5). Après consultation des services cantonaux concernés et de l'OFEV, les mesures peuvent être attribuées en tout ou en partie à l'un ou l'autre des programmes partiels « Biodiversité en forêt » ou « Protection de la nature ».

Les grands projets tels que la renaturation des cours d'eau visant à restaurer la dynamique des forêts alluviales relèvent du domaine « Revitalisations des eaux ». Dans le cadre de la renaturation des cours d'eau, l'élimination des arbres non adaptés à la station dans la forêt alluviale peut également être subventionnée en vertu de la loi sur la protection des eaux (LEaux).

La collaboration entre les services de la forêt et de la protection de la nature (organisés différemment selon les cantons) est généralement nécessaire pour la restauration des forêts humides dans le but de promouvoir la biodiversité. La coordination des deux services est également définie comme un objectif national dans le domaine « Préserver et restaurer les forêts et les biotopes humides » [1]. Dans les cantons, c'est généralement le service administratif responsable des forêts qui est chargé de la planification technique des projets de restauration des forêts humides, tandis que l'élaboration des plans d'objectifs et de mise en œuvre doit être réalisée en commun par les deux services.

Mise en œuvre des mesures

La planification des mesures basée sur les plans d'objectifs et de mise en œuvre est concrétisée en collaboration avec les propriétaires forestiers. La mise en œuvre s'effectue dans le cadre de contrats d'utilisation conclus entre les services forestiers et les propriétaires forestiers privés et publics. Ces contrats régissent les objectifs, les prestations, les compensations financières et les délais pour les mesures de conservation [1]. Des bureaux écologiques, des ONG et des associations actives dans le domaine de la protection des forêts et de la nature peuvent également jouer un rôle exécutif ou consultatif. Grâce à leurs nombreuses années d'expérience et à leur bonne connaissance du terrain, ils disposent souvent d'une grande compétence en matière de conservation des milieux et des espèces.

Les mesures de conservation et les interventions d'entretien relèvent de la compétence de la gestion forestière. Des compensations financières sont versées par la Confédération et les cantons tant pour l'abandon de l'exploitation (réserves forestières, îlots de sénescence, arbres-habitat) que pour la promotion active des milieux et des espèces.



5. Déroulement possible du projet

5.1. Déroulement des projets cantonaux

Les cantons fixent des objectifs pour la conservation et la restauration des forêts humides. Cela se fait en partie par le biais de conventions de prestations avec la Confédération (RPT, chapitre 4. Bases juridiques et administratives). Lors de l'étape suivante, ils élaborent des plans concrets pour la mise en œuvre. La planification des objectifs (y compris la carte des milieux cibles et les ordonnances de protection pour la préservation des surfaces) est réalisée en concertation entre les services de la forêt et de la protection de la nature. Dans certains cas, l'autorité administrative compétente en matière d'aménagement des cours d'eau doit également être impliquée. La mise en œuvre effective des projets est assurée, pour le compte des cantons, par les propriétaires forestiers, les services forestiers ou des prestataires externes. Les contrôles de mise en œuvre et les évaluations des effets incombent aux cantons (services forestiers). La figure 26 présente ce processus fortement simplifié de planification et de mise en œuvre au niveau cantonal.

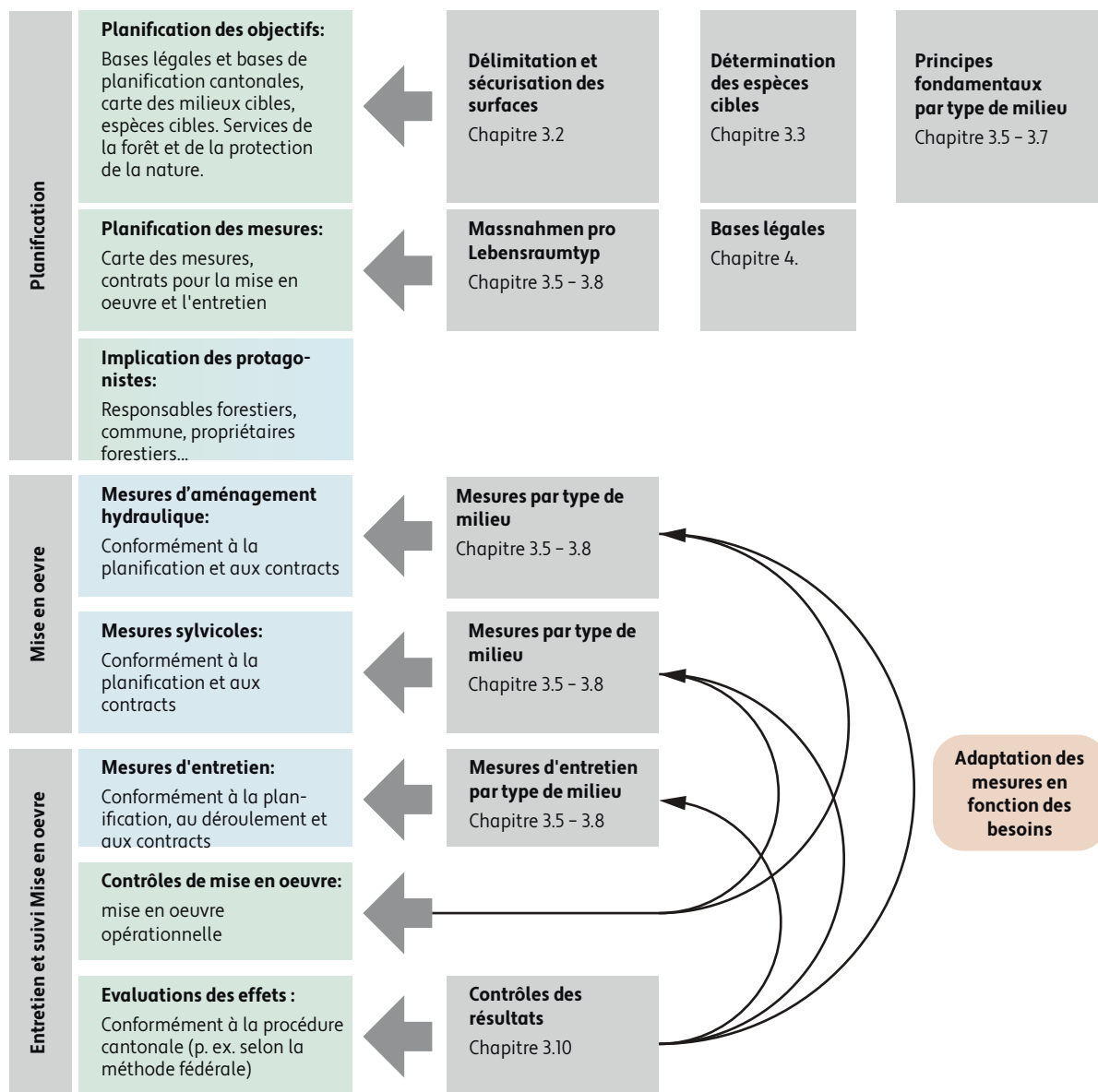


Figure 26

Déroulement des projets de restauration des forêts humides au niveau cantonal. Vert : les services cantonaux sont les principaux responsables de la planification. Bleu : les partenaires chargés de la mise en œuvre (propriétaires forestiers, prestataires externes) sont les principaux responsables de l'exécution. Gris : renvois aux chapitres du présent rapport. Graphique : élaboré par nos soins

5.2. Déroulement des projets non cantonaux

Les projets ne sont pas toujours initiés par les services cantonaux. Souvent, l'impulsion vient d'organismes locaux, par exemple d'ONG, d'associations de protection de la nature ou de communes. Dans ce cas, d'autres questions détaillées relatives au déroulement du projet sont pertinentes. C'est pourquoi les étapes de planification et de mise en œuvre sont présentées de manière beaucoup plus détaillée dans ce chapitre (figure 27). La planification et l'élaboration du projet consistent principalement en des clarifications préalables concernant les conditions locales, la propriété foncière, le financement, l'acceptation par le public et l'entretien. Les cantons doivent également être impliqués à un stade précoce, d'une part pour le financement, d'autre part pour la délivrance des autorisations. Cela vaut en particulier pour les projets de grande envergure et les défis prévisibles tels que la présence de sols contaminés. La mise en œuvre comprend les travaux préparatoires, les mesures d'aménagement et leur suivi, ainsi que d'éventuelles mesures de communication. Elle implique

à la fois les organes responsables du projet et les partenaires chargés de la mise en œuvre (propriétaires forestiers, prestataires externes, etc.). Il est également important d'impliquer des spécialistes, en particulier dans le domaine de l'hydrologie. Il faut disposer de modèles de surface précis ainsi que de connaissances et d'expériences approfondies sur la manière d'atteindre le niveau d'eau souhaité tout en évitant, par exemple, l'inondation des terres agricoles voisines. L'entretien doit être effectué conformément au plan d'entretien établi et peut être réalisé par l'organe responsable du projet ou les partenaires chargés de la mise en œuvre. Les contrôles de résultats éventuels relèvent à nouveau de la responsabilité de l'organe promoteur du projet.

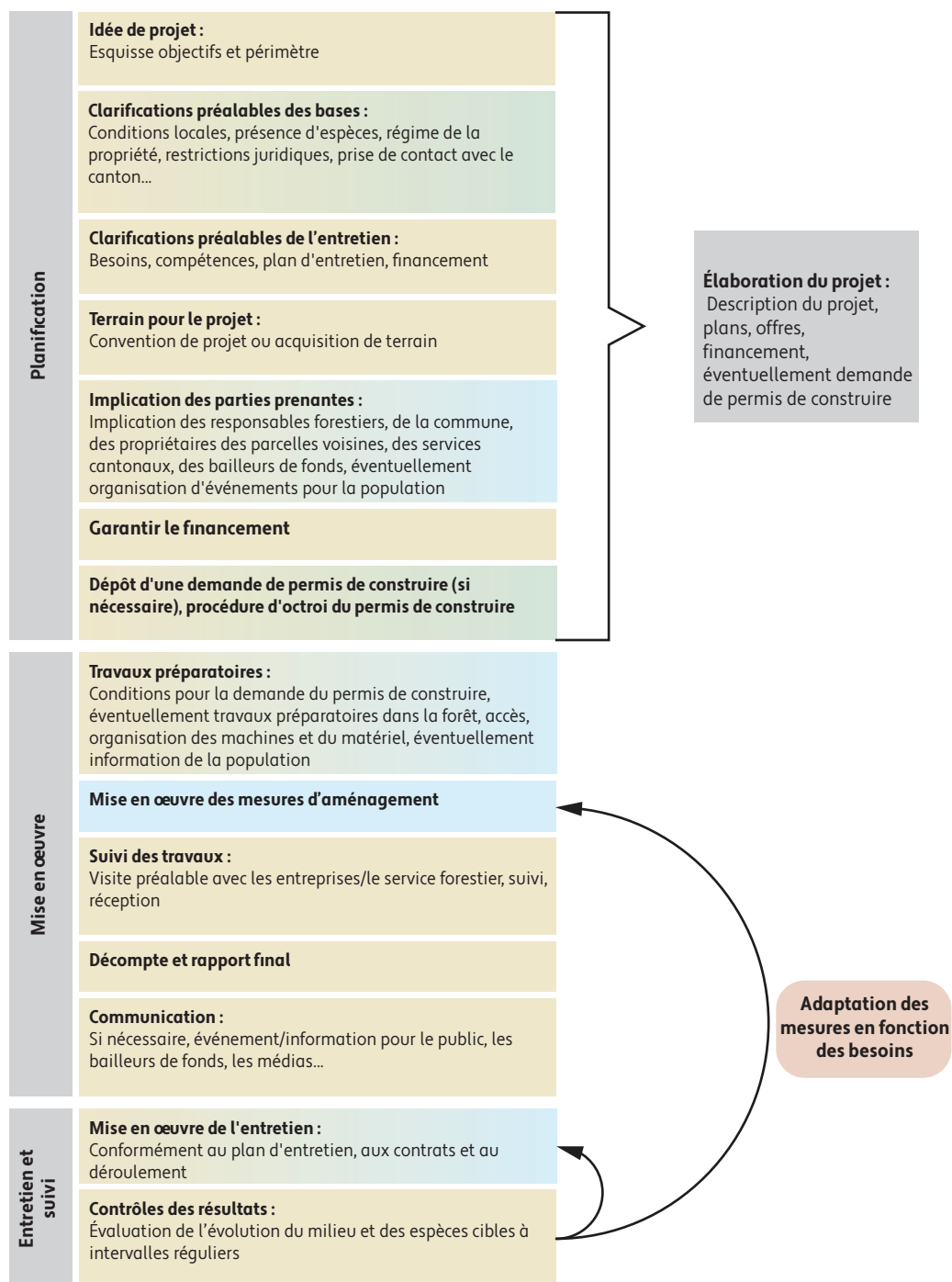


Figure 27

Déroulement du projet du point de vue d'une organisation chargée de la mise en œuvre. L'ordre et l'étendue des clarifications peuvent varier considérablement, en particulier pendant la phase de planification. Jaune : les principaux responsables du processus sont les organismes porteurs du projet (p. ex. ONG, association). Bleu : les principaux responsables de la mise en œuvre sont les partenaires chargés de la réalisation du projet (p. ex. propriétaires forestiers, prestataires externes). Vert : les responsables du processus sont les cantons. Graphique : élaboré par nos soins

5.3. Intégration des nouveaux écosystèmes formés sur les surfaces drainées

Le drainage des écosystèmes entraîne souvent, au fil du temps, la formation de nouveaux milieux et de biocénoses précieuses d'un point de vue biologique. Des landes sèches à grande valeur écologique peuvent, par exemple, apparaître sur des sites marécageux dégradés ou sur des surfaces de gravier surélevées dans les zones alluviales [80]. La restauration des conditions hydrologiques d'origine peut détruire ces écosystèmes. C'est ce que l'on appelle le « dilemme de la renaturation ». Certaines étapes de planification permettent d'y faire face [80]. Dans l'idéal, on dispose d'informations et de données cartographiques représentant à la fois les milieux historiques et actuels, les contraintes techniques (infrastructures, situation des eaux souterraines, dynamique des cours d'eau, par exemple) ou administratives (conditions de la propriété, par exemple) pour la renaturation, ainsi que la répartition des espèces cibles particulières (figure 28). En fonction des données réellement disponibles, cette approche idéalisée doit être adaptée aux circonstances.

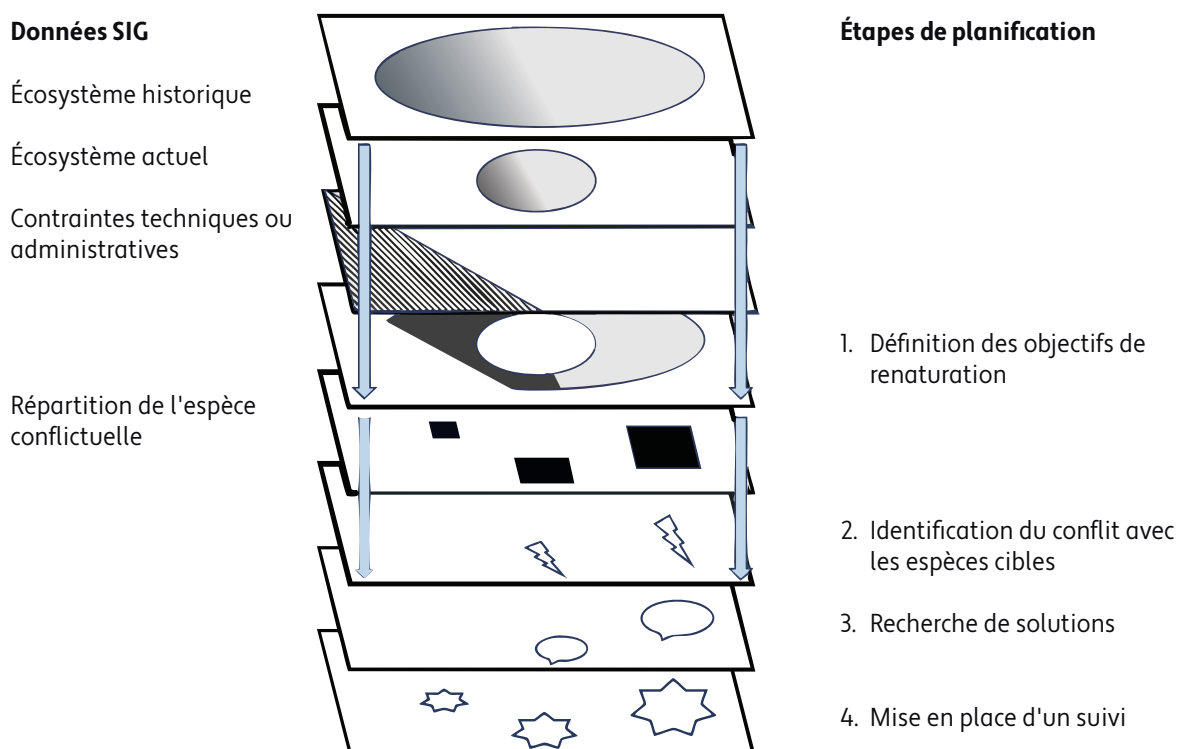


Figure 28

Données géographiques (à gauche) nécessaires pour les quatre étapes de planification (à droite) qui contribuent à l'identification et à la résolution idéalisées des dilemmes liés à la renaturation grâce à l'analyse spatiale des couches cartographiques SIG. Figure adaptée d'après Remm et al. 2019 [80].

Les conflits potentiels entre les espèces présentes dans la surface asséchée et les espèces cibles de la surface remise en eau peuvent être atténués ou résolus grâce à différentes approches. Une étude générale sur les dilemmes liés à la renaturation [80] classe les approches en cinq catégories :

- a. *Atténuation de l'effet sur place*
P. ex. en déplaçant une population d'espèce non adaptée avant de rétablir les conditions humides, en protégeant les oiseaux nichant au sol des interventions ponctuelles telles que l'élimination de la végétation non adaptée à la station
- b. *Prise en compte de la dynamique temporelle lors de la planification des mesures*
P. ex. attendre la fin de la saison de reproduction ou de floraison
- c. *Renaturation progressive afin de permettre une adaptation aux nouvelles conditions*
P. ex. élimination échelonnée de la végétation non adaptée à la station afin de permettre la migration ou l'adaptation de la faune qui en dépend
- d. *Renaturation partielle si le dilemme ne concerne que des zones limitées de la surface à renaturer*
P. ex. création de refuges pour les espèces ayant besoin de milieux plus secs au sein de la zone remise en eau
- e. *Compensation écologique*
P. ex. création d'un habitat sur une surface de remplacement à proximité pour les espèces affectées négativement par la restauration des milieux humides

En outre, le projet peut également être adapté de manière à ne plus affecter le milieu menacé et digne de protection. Un guide aidant à gérer ces situations complexes a été élaboré pour la restauration des biotopes d'importance natio



6. Liste des interlocuteur/trices institutionnel/les

Les listes suivantes des autorités et institutions compétentes datent de février/mars 2025.

6.1. Autorités et services compétents

Tableau 10
Aperçu des principales autorités et services dans le contexte de la forêt et de l'eau en Suisse.

Autorité/service	Détails	Lien
OFEV		
Division Forêts	Responsable de l'entretien et de l'exploitation durables de la forêt ainsi que des conditions-cadres favorables à une économie forestière et une industrie du bois efficaces et innovantes. Comprend la responsabilité de la politique et de la stratégie dans le domaine de la forêt et du bois, des instruments de promotion (convention-programme dans le domaine des forêts, plan d'action bois, soutien à la recherche forêt et bois), de la protection et de la santé des forêts, du monitoring forêts et bois (en particulier l'inventaire forestier national) et de l'adaptation des forêts au changement climatique.	https://www.bafu.admin.ch/fr/division-forets

Politique forestière	Informations et documents spécifiques sur la politique forestière de la Confédération.	https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/forets/politique-forestiere-et-politique-du-bois.html
Division Biodiversité et paysage	Responsable de la biodiversité et du paysage, de leurs services écosystémiques, de leur conservation, de leur promotion et de leur développement, ainsi que de leur utilisation et de la chasse durables. Comprend la responsabilité des infrastructures écologiques, de la conservation des espèces, des espèces envahissantes, des listes rouges, du monitoring de la biodiversité (MBD), du contrôle de l'efficacité de la protection des biotopes, etc.	https://www.bafu.admin.ch/fr/politique-forestiere-et-politique-du-bois
Biodiversité en forêt	Informations et documents spécifiques sur les thèmes Stratégie Biodiversité et politique forestière, mesures en faveur de la biodiversité forestière et conventions-programmes dans le domaine de la forêt.	https://www.bafu.admin.ch/fr/bio-foret
Biotopes d'importance nationale	Informations et documents spécifiques sur les biotopes d'importance nationale, notamment les sites de reproduction de batraciens, les zones alluviales et les marais.	https://www.bafu.admin.ch/fr/biotopes
Division Eaux	Responsable de la protection des eaux de surface, des eaux souterraines et de l'eau potable conformément à la loi sur la protection des eaux. Comprend la responsabilité de la renaturation des cours d'eau, de la délimitation de l'espace réservé aux eaux et de la protection et la promotion de la biodiversité aquatique. Les renaturations des zones alluviales relèvent également de cette division.	https://www.bafu.admin.ch/fr/division-eau
Division Hydrologie	Gère les réseaux nationaux d'observation de la quantité et de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. Comprend la responsabilité du suivi des eaux suisses, des prévisions hydrologiques, des alertes en cas de crues et des informations en cas de sécheresse.	https://www.bafu.admin.ch/fr/division-hydrologie
Services cantonaux et conférences		
Services cantonaux Protection de la nature (adresses)	Liste d'adresses des services cantonaux dans le domaine de la protection de la nature et du paysage	https://kbnl.ch/fr/organisation-und-kontakt/kantonale-fachstellen/
Services cantonaux Forêt & Bois (adresses)	Liste d'adresses des services cantonaux dans le domaine des forêts et du bois.	https://www.kvu.ch/fr/adresses/foret-bois
Services cantonaux Hydrologie (adresses)	Liste des adresses des services cantonaux dans le domaine de l'hydrologie.	https://www.kvu.ch/fr/adresses/hydrologie
Conférence des inspecteurs et inspectrices cantonaux des forêts (CIC)	Conférence nationale des Chefs des services des forêts ou des divisions forestières des cantons suisses et de la Principauté du Liechtenstein.	https://www.kwl-cfp.ch/fr/cic
Conférence pour la forêt, la faune et le paysage (CFP)	Conférence des directrices et directeurs des services cantonaux chargés des questions relatives aux forêts, à la faune sauvage et au paysage, à laquelle participe également la Principauté du Liechtenstein.	https://www.kwl-cfp.ch/fr/cfp
Conférence des services de la faune, de la chasse et de la pêche (CSF)	Conférence nationale des Chefs des services en charge de la gestion des espèces, de la chasse et de la pêche, à laquelle participe également la Principauté du Liechtenstein.	https://www.kwl-cfp.ch/fr/csf

Conférence des délégués à la protection de la nature et du paysage (CDPNP)	Conférence des chefs des services cantonaux de la nature et du paysage de tous les cantons de Suisse et de la Principauté du Liechtenstein.	https://kbnl.ch/fr/
Conférence des services de l'environnement (CCE)	Conférence nationale des chefs de service et d'office de protection de l'environnement des cantons Suisses et de la Principauté du Liechtenstein.	https://www.kvu.ch/fr/home

6.2. Instituts scientifiques

Tableau 11

Aperçu des principaux groupes de recherche dans les universités et les hautes écoles spécialisées dans le domaine de la forêt et de l'eau en Suisse.

Institut/projet	Détails	Lien
ETH Zurich		
Domaine Forêt et paysage	Aperçu des chaires et groupes qui enseignent et mènent des recherches dans le domaine Forêt et paysage.	https://ites.ethz.ch/wald-und-land-schaft/portal-wald-und-landschaft/professuren.html
Écologie forestière	Comprend quatre groupes de recherche qui traitent différents aspects de l'écologie forestière et de la gestion forestière : dynamique des peuplements et du paysage, dendrochronologie et phénologie, dendrologie et phytosociologie, croissance forestière et changement global.	https://fe.ethz.ch/
Gestion forestière/sylviculture	Traite de toutes les questions relatives à l'aménagement et à l'entretien de nos forêts afin qu'elles puissent répondre aux différents besoins de la société : sylviculture proche de la nature, gestion des forêts de protection, promotion de la biodiversité, utilisation à des fins récréatives, influence du changement global sur la forêt.	https://silviculture.ethz.ch/
EcoHydLab	Projet « Maggia River Experimental Site » : étude des flux hydrologiques et des réactions de la végétation riveraine aux inondations et aux périodes de sécheresse sur la Maggia, afin de soutenir les stratégies de renaturation fluviale.	https://hyd.ifu.ethz.ch/ecohydlab/eco-hydlab-maggia.html
Politique des ressources naturelles (NARP)	Analyse la politique environnementale et la gouvernance, étudie les défis socio-écologiques et la protection des ressources. TREBRIDGE est un projet pertinent qui traite de la gestion des bassins versants en montagne. L'objectif de TREBRIDGE est d'identifier des approches politiques et de gestion dans les bassins versants des rivières et des forêts de la région alpine. En collaboration avec l'Eawag.	https://narp.ethz.ch/ https://narp.ethz.ch/forschung/lau-fend/tre-bridge.html https://www.eawag.ch/de/abteilung/ess/projekte/trebridge-transformation-toward-resilient-ecosystems/

WSL		
Groupe Télédétection	Le groupe développe des méthodes fiables pour reconnaître et décrire automatiquement des objets naturels du paysage à partir de données matricielles à l'aide de la télédétection et du traitement d'images. Le projet « Ditch mapping for Switzerland by using semantic segmentation », qui porte sur la reconnaissance et la cartographie des fossés de drainage pour l'ensemble du pays, est particulièrement pertinent.	https://www.wsl.ch/fr/projets/ditch-mapping-for-switzerland-by-using-semantic-segmentation/
Groupe Entomologie forestière	S'intéresse aux insectes forestiers. Le projet « AMORE II » est par exemple pertinent. Dans ce projet, un inventaire des espèces de coléoptères et de champignons xylobiontes est réalisé dans des réserves forestières naturelles de type pessière ou pessière-sapinière, en comparaison avec des peuplements exploités, et des variables de contrôle de la diversité sont identifiées. Ce projet permet d'évaluer l'effet de la mise sous protection des réserves et constitue la base d'un suivi à long terme.	https://www.wsl.ch/fr/projets/amore-ii-monitoring-des-especes-de-coleopteres-et-de-champignons-dans-les-reserves-forestieres-naturelles-de-piceas-et-de-sapins-et-depiceas/
Groupe Biologie de la conservation	Le groupe étudie les mécanismes qui influencent la biodiversité. Un projet pertinent est par exemple « Biodiversité, interactions multitrophiques et fonctions écosystémiques entre le sol forestier et la canopée ». Ce projet étudie les communautés et le réseau trophique entre la végétation du sol et la canopée, contribuant ainsi à une meilleure compréhension de la relation tridimensionnelle entre la structure forestière, la biodiversité et les fonctions écosystémiques. Un autre projet s'intitule « La diversité structurelle et l'hétérogénéité des milieux peuvent-elles expliquer la biodiversité dans la forêt ? ». Il examine la relation entre l'hétérogénéité structurelle et la biodiversité dans la forêt et utilise pour cela de nouvelles méthodes de télédétection laser et satellite (LiDAR, NDVI).	https://www.wsl.ch/fr/projets/biodiversite-interactions-multitrophiques-et-fonctions-ecosystemiques-entre-le-sol-forestier-et-la-canopee/ https://www.wsl.ch/de/projekte/diversite-structurelle-et-biodiversite-forestiere/
Groupe SIG	Le groupe se concentre sur la modélisation des processus naturels à l'aide du SIG. Le projet « SOLID » est particulièrement pertinent. Il examine dans quelle mesure la qualité des modèles de distribution des espèces (species distribution models, SDM) peut être améliorée pour différents groupes fonctionnels et taxonomiques de plantes et de champignons forestiers en intégrant des informations sur les sols.	https://www.wsl.ch/de/projekte/soil-soil-informationen-fuer-die-modellierung-der-artenverteilung/

Groupe Analyse des ressources	Le groupe étudie l'état actuel et l'évolution future des forêts et de leurs prestations. Le projet « DivScaling » en est un exemple pertinent. L'objectif principal de ce projet est de déterminer, pour la forêt suisse, comment différentes composantes de la diversité se comportent en fonction de l'augmentation de la superficie et de l'évolution de l'hétérogénéité.	https://www.wsl.ch/de/projekte/div-scaling/
Eawag		
Initiative de recherche Blue-Green Biodiversity (BGB) - Eawag & WSL	L'objectif de BGB est de comprendre les défis liés à la disparition d'espèces et aux modifications de la biodiversité à l'interface des écosystèmes aquatiques et terrestres et d'y répondre. Réseaux trophiques des milieux aquatiques et terrestres dans les forêts sous l'influence du changement climatique, biodiversité et processus écosystémiques dans les habitats des castors.	https://www.eawag.ch/fr/recherche/leau-pour-lenvironnement/biodiversite/initiative-de-recherche-blue-green-biodiversity/ https://www.wsl.ch/fr/a-propos-du-wsl/organisation/programmes-de-recherche-et-initiatives/programmes-clos/initiative-de-recherche-blue-green-biodiversity/
Télédétection	Étude des processus optiques dans les eaux de surface et utilisation des données satellitaires pour déterminer la qualité de l'eau à l'échelle régionale et mondiale.	https://www.eawag.ch/de/departement/surf/axes-de-recherche/telendetecion/
Autres universités et hautes écoles spécialisées		
Université de Zurich : Hillslope Hydrology	Études sur les mécanismes de formation des écoulements sur les pentes et dans les petits bassins versants. Projets de recherche sur les interconnexions entre les pentes, les zones alluviales et les rivières, les eaux souterraines proches de la surface dans les bassins versants préalpains et les effets de la dégradation des sols et de la renaturation sur les processus hydrologiques.	https://www.geo.uzh.ch/en/units/h2k/research/hillslope-hydrology.html
Haute école spécialisée bernoise/Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires BFH-HAFL : Gestion multifonctionnelle des forêts	Développement de solutions pratiques et innovantes pour une gestion multifonctionnelle et durable des écosystèmes forestiers. Groupes de recherche Production forestière, Forêts de montagne et dangers naturels, Écosystème forestier et gestion, Politique forestière et gestion forestière internationale.	https://www.bfh.ch/fr/recherche/domaines-de-recherche/gestion-multifonctionnelle-forets/

6.3. Autres institutions et plateformes pertinentes

Tableau 12

Aperçu des institutions pertinentes (associations, plateformes, réseaux, ONG, etc.) dans les domaines de la forêt, de l'eau et de la biodiversité spécifiques à la Suisse.

Organisation	Détails	Lien
ForêtSuisse	Association des propriétaires forestiers	https://www.foretsuisse.ch/
Waldwissen.net	Plateforme d'information et de communication pour les professionnels de la sylviculture, articles spécialisés sur des thèmes liés à la sylviculture, au milieu forestier et à d'autres sujets.	https://www.waldwissen.net
Waldlabor Zürich	Association à but non lucratif basée à Zurich, composée de scientifiques, de propriétaires forestiers et de professionnel/les de la forêt. Ses objectifs sont de mieux comprendre la forêt, de transmettre des connaissances et de s'engager en faveur du développement durable de la forêt. Des projets de recherche et des visites guidées pour les professionnel/les de la forêt, les écoles et d'autres groupes sont organisés en forêt.	https://waldlabor.ch/
info fauna	Centre national de données et d'informations sur la faune de Suisse	https://www.infofauna.ch/
karch	Le Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des reptiles de Suisse (karch) est le service conseil pour les amphibiens et les reptiles.	https://www.infofauna.ch/fr/centres-de-coordination-nationaux/amphibiens-karch#gsc.tab=0 https://www.infofauna.ch/fr/centres-de-coordination-nationaux/reptiles-karch#gsc.tab=0
Castor	Le Service conseil national castor traite toutes les questions relatives aux castors.	https://www.infofauna.ch/fr/centres-de-coordination-nationaux/castor#gsc.tab=0
Loutre	Le Service conseil national loutre conseille et coordonne pour les questions relatives aux loutres.	https://www.infofauna.ch/fr/centres-de-coordination-nationaux/loutre#gsc.tab=0
Petits mammifères	Le Centre de coordination national pour les petits mammifères et le Réseau hermine est un centre de compétence national pour les petits mammifères et les petits carnivores.	https://www.infofauna.ch/fr/centres-de-coordination-nationaux/petits-mammiferes#gsc.tab=0
info flora	Centre national de données et d'informations sur la flore de Suisse. Informations sur la flore suisse, la conservation des espèces, les milieux et les néophytes.	https://www.infoflora.ch/
SwissLichens	Centre national de données et d'informations sur les lichens de Suisse. SwissLichens a pour objectif d'étudier et de documenter la répartition, la mise en danger et l'écologie des lichens en Suisse.	https://swisslichens.wsl.ch/fr/
SwissFungi	Centre national de données et d'informations pour la documentation, la promotion et la recherche de la flore fongique suisse.	https://swissfungi.wsl.ch/fr/

Service Coordination d'Écrevisse Suisse (SCES)	Ce service de coordination soutient les cantons dans leurs mesures de conservation des écrevisses indigènes et de gestion des écrevisses non indigènes.	https://www.kfks.ch/fr/
Station ornithologique suisse	La Station ornithologique suisse surveille l'avifaune indigène, étudie son mode de vie et s'engage en faveur des espèces menacées. Informations sur les espèces, la protection des espèces et la promotion des milieux.	https://www.vogelwarte.ch/fr/
Centre suisse de coordination pour la protection des chauves-souris	Centre de coordination ouest pour l'étude et la protection des chauves-souris (CCO, responsable de la Suisse romande) et Koordinationsstelle Ost für Fledermausschutz (KOF, pour la Suisse allemande et le Tessin).	https://institutions.ville-geneve.ch/fr/cco/ https://fledermausschutz.ch/koordinationsstelle
Beaverwatch	Beaverwatch est une association d'intérêt publique à but non lucratif dont la principale mission est l'intérêt et le suivi du castor en Suisse mais principalement en Romandie. Beaverwatch se tient à disposition pour répondre aux questions et intervenir en tant que spécialiste du castor directement sur le terrain.	https://www.beaverwatch.ch/
biodivers	Association dont l'objectif est de transmettre des connaissances dans le domaine de la conservation des plantes, des animaux et des milieux. Elle gère la Plateforme promotion de la nature qui publie des articles et des informations pertinents sur de nombreux thèmes liés à la conservation de la nature et de la biodiversité.	https://www.biodivers.ch/
Forum Forestier Lémanique	Le Forum Forestier Lémanique (FFL) crée des événements pour animer la discussion regroupant de nombreux acteurs forestiers et gestionnaires de milieux naturels résidant dans l'Arc lémanique franco-suisse. Sa mission est de faciliter les contacts et favoriser les échanges entre les professionnels/actifs aux niveaux local, national et international.	https://f-f-l.org/
Pro Natura	Plus grande organisation suisse de protection de la nature. Expérience particulière dans la création de réserves naturelles et la conservation des espèces.	https://www.pronatura.ch/
BirdLife Suisse	Une des grandes organisations suisses de protection de la nature. Engagement particulier en faveur de l'infrastructure écologique. Protection de sites grâce à des instruments de promotion spécifiques (Joyaux naturels BirdLife, Important Bird and Biodiversity Areas (IBA), réseau Émeraude, réserves pour les oiseaux d'eau).	https://www.birdlife.ch/
WWF Suisse	Organisation de protection de la nature menant des projets dans les domaines de la protection des marais, de la renaturation et de la protection des eaux, des forêts vivantes dans les Alpes, etc.	https://www.wwf.ch/

Société forestière suisse : groupe de travail Biodiversité en forêt	Réseau d'échange d'expériences et d'informations sur le thème de la biodiversité forestière. Conférences spécialisées et pratiques régulières.	https://www.forstverein.ch/fr/groupe-de-travail/biodiversite-en-foret/portrait
Réseau des parcs suisses	Informations sur les 20 parcs suisses (Parc national suisse, parcs naturels régionaux, y compris réserves de biosphère, parcs naturels périurbains).	https://www.parks.swiss/

Liste des sources de données sur les thèmes de la forêt, de l'eau et de la biodiversité

Tableau 13

Aperçu des principales sources de données géographiques, forêts, sols et nappes phréatiques, milieux et biodiversité, et espèces cibles spécifiques à la Suisse.

Site Internet	Détails	Lien
Géodonnées en général		
Swisstopo	Plateforme pour les informations, données et services géolocalisés de l'administration fédérale.	https://map.geo.admin.ch/
Données SIG cantonales	Vue d'ensemble des plateformes de publication des cantons pour les géoinformations sous forme de géodonnées, géoservices, cartes et applications spécialisées. Gérée par la Conférence des services cantonaux de la Géoinformation et du cadastre (CGC)	https://www.kgk-cgc.ch/fr/geodonnees/geo-portails-cantonaux
Forêts		
Inventaire forestier national (IFN)	Plateforme d'informations et de données sur la forêt suisse, gérée par le WSL et l'OFEV. Cartes, méthodes, interprétations politiques, services, etc.	https://www.lfi.ch/
TreeApp	Application qui aide à sélectionner les essences appropriées selon différentes modélisations du changement climatique. Gérée par le programme de recherche « Forêts et changement climatique » de l'OFEV et du WSL.	https://www.tree-app.ch/
Estimateur de la richesse spécifique des arbres dans les forêts suisses	Application visant à estimer la diversité des essences attendue en fonction de l'altitude et de la taille de la forêt. Gérée par le WSL.	https://webapps.wsl.ch/erwartete-baumartenvielfalt/
Centre de sylviculture de montagne	Informations et publications sur la sylviculture et les domaines étroitement liés dans les forêts de montagne et les forêts protectrices suisses. Géré par tous les cantons, l'OFEV et le Liechtenstein.	https://www.gebirgswald.ch/
NaiS - Durabilité et contrôle des résultats dans les forêts de protection	Guide pour une gestion durable des forêts de protection, comprenant des mesures d'entretien et un contrôle des résultats, ainsi que des profils des types de stations forestières avec leur écologie, leur sylviculture et leurs exigences.	https://www.gebirgswald.ch/telechargement-nais.html
Sols et eaux souterraines		
NABODAT	Système national d'information pédologique. Harmonise et rassemble les données pédologiques issues de différentes études menées en Suisse. À la disposition des services cantonaux et nationaux et des offices fédéraux. Géré par l'OFEV.	https://www.nabodat.ch

Aptitudes des sols de la Suisse	Données sur l'aptitude des sols fournies par GEOSTAT, issues de la numérisation et de la consolidation de la carte d'aptitude des sols de la Suisse.	https://www.blw.admin.ch/fr/carte-des-aptitudes-des-sols
Cartes des eaux souterraines et de la protection des eaux en Suisse	Cartes sur les eaux souterraines et la protection des eaux. Cartes de protection des eaux basées sur les données cantonales. Gérées par l'OFEV.	https://www.bafu.admin.ch/fr/cartes-des-eaux-souterraines
SoilMaps	Cartes haute résolution des sols forestiers suisses, établies à partir d'une modélisation par cartographie numérique des sols sur la base d'environ 2000 profils pédologiques. Elles indiquent les propriétés chimiques et physiques telles que le pH, la texture ou la teneur en carbone à différentes profondeurs.	https://www.wsl.ch/soilmaps/
Milieux		
Carte des milieux naturels de Suisse	Ensemble de géodonnées sur les milieux naturels de Suisse selon la classification TypoCH (« Milieux de Suisse », Delarze et al. 2015) couvrant l'ensemble du territoire. Établie par le WSL.	https://opendata.swiss/fr/dataset/lebens-raumkarte-der-schweiz
Typologie des habitats TypoCH	Vue d'ensemble des milieux naturels de Suisse selon Delarze et al., 2015 [95]. Comprend des instructions pour l'analyse des milieux et les espèces caractéristiques. Géré par info flora.	https://www.infoflora.ch/fr/milieux/typoch-(delarze-et-al.).html
Liste rouge des milieux de Suisse	La liste rouge des milieux indique non seulement le statut de menace selon les critères proposés par l'UICN dans la liste rouge, mais aussi la responsabilité de la Suisse pour chaque milieu. La typologie des milieux suit largement TypoCH, avec des subdivisions plus fines pour les cours d'eau et les forêts.	https://www.infoflora.ch/fr/milieux/liste-rouge.html
Modélisation de plaines alluviales créées par le castor en Suisse	Modélisation permettant d'identifier les zones susceptibles d'être inondées par les castors à la suite de la construction de barrages. Elle sert à identifier de manière proactive les sites où les forêts humides peuvent être favorisées, ainsi que les zones de conflit potentielles. Elle est à la disposition des cantons via la plateforme VDC (virtual data center) et du public via le site web du Service conseil national castor sur info fauna.	https://www.bafu.admin.ch/fr/cartes-des-eaux-souterraines
Suivi des effets de la protection des biotopes en Suisse	Études sur les évolutions dans les biotopes d'importance nationale (hauts-marais et bas-marais, prairies et pâturages secs, zones alluviales, sites de reproduction de batraciens) au fil du temps. Géré par le WSL et l'OFEV.	https://biotopschutz.wsl.ch/fr/
Biodiversité et espèces cibles		
Monitoring de la biodiversité (MBD)	Données sur l'évolution à long terme de la diversité d'une sélection d'espèces végétales et animales. Basé sur le recensement des espèces fréquentes et répandues. Hintermann & Weber AG et OFEV.	https://www.biodiversitymonitoring.ch/index.php/fr/

Info Species	Centre suisse d'informations sur les espèces. Association faîtière des Centres nationaux de données et d'informations et des Centres de coordination pour la conservation des espèces. Collecte, valide et publie des données sur la répartition et des informations sur toutes les espèces sauvages vivant en Suisse, y compris les espèces exotiques (néobiotes).	https://www.infospecies.ch/
Listes pour la protection des espèces (listes rouges nationales et régionales, liste des espèces prioritaires)	La liste rouge nationale (2016), la liste rouge régionale (2019) (plantes vasculaires) et la liste des espèces prioritaires au niveau national (2019) sont répertoriées et accessibles via des liens. Géré par info flora.	https://www.infoflora.ch/fr/conservation-des-especes/liste-rouge.html
Vérification des faits sur la biodiversité (Allemagne) : base de données bibliographique	La base de données bibliographique est un outil utile pour effectuer des recherches bibliographiques sur la biodiversité en Allemagne.	https://www.feda.bio/de/literaturdatenbank-faktencheck-artenvielfalt/

Annexe : A1 Liste des espèces forestières cibles pour les associations forestières humides

Les tableaux figurant à l'annexe A1 sont basés sur la liste numérique des espèces prioritaires au niveau national (état en 2022) [257]. Il convient de noter que les listes des espèces forestières cibles des types de milieux « Pinèdes thermophiles » et « Forêts de conifères d'altitude » comprennent également des associations forestières qui ne sont pas humides. Ainsi, la seule association forestière humide des pinèdes thermophiles appartient à la sous-catégorie 6.4.2 « Pinède subcontinentale basophile », et toutes les associations forestières humides des forêts de conifères d'altitude appartiennent à la sous-catégorie 6.6.1 « Pessière-sapinière ». Par conséquent, toutes les espèces forestières cibles répertoriées dans les tableaux A1.2 et A1.4 ne sont pas pertinentes pour la restauration des milieux humides.

Tableau A1.1

Espèces forestières cibles pour les associations forestières des forêts inondables (6.1.) selon Delarze et al. 2015 [95]

Groupe d'organisme	Nom scientifique	Nom français	Nom allemand
Amphibiens	<i>Bombina variegata</i> (Linnaeus, 1758)	Sonneur à ventre jaune	Gelbbauchunke
Amphibiens	<i>Lissotriton helveticus</i> (Razoumowsky, 1789)	Triton palmé	Fadenmolch
Amphibiens	<i>Rana dalmatina</i> Bonaparte, 1840	Grenouille agile	Springfrosch
Amphibiens	<i>Rana latastei</i> Boulanger, 1879	Grenouille de Lataste	Italienischer Springfrosch
Amphibiens	<i>Salamandra salamandra</i> (Linnaeus, 1758)	Salamandre tachetée	Feuersalamander
Amphibiens	<i>Triturus carnifex</i> (Laurenti, 1768)	Triton crêté italien	Italienischer Kammmolch
Amphibiens	<i>Triturus cristatus</i> (Laurenti, 1768)	Triton crêté	Nördlicher Kammmolch
Champignons	<i>Amanita friabilis</i> (P. Karst.) Bas		Erlen-Scheidenstreifling
Champignons	<i>Haasiella venustissima</i> (Fr.) Kotl. et Pouzar		Orangeroter Goldnabeling

Champignons	<i>Lyophyllum favrei</i> R.Haller et R.Haller	Lyophylle de Favre	Favres Schwärzling
Champignons	<i>Pluteus aurantiorugosus</i> (Trog.) Sacc.	Plutée orangé	Orangeroter Dachpilz
Champignons	<i>Squamanita schreieri</i> Imbach	Amanite jaune à écailles	Gelber Schuppenwulstling
Coléoptères du bois	<i>Acanthocinus aedilis</i> (Linnaeus, 1758)	Acanthocine édile	Gemeiner Zimmerbock, Zimmermannsbock
Coléoptères du bois	<i>Aegosoma scabricorne</i> (Scopoli, 1763)	Aegosoma scabricorne	Körnerbock
Coléoptères du bois	<i>Anoplodera rufipes rufipes</i> (Schaller, 1783)	Lepture à pattes rousses	Rotbeiniger Halsbock
Coléoptères du bois	<i>Anthaxia manca</i> (Linnaeus, 1767)	Anthaxie mutilée	Kleiner Ulmen-Prachtkäfer
Coléoptères du bois	<i>Chlorophorus sartor</i> (O. F. Müller, 1766)	Clyte sarcleur	Weissbindiger Wespenbock, Weissbindiger Widderbock
Coléoptères du bois	<i>Dicerca alni</i> (Fischer von Waldheim, 1824)	Dicerque de l'aulne	Grosser Erlen-Prachtkäfer
Coléoptères du bois	<i>Lamia textor</i> (Linnaeus, 1758)	Lamie tisserand	Weberbock
Coléoptères du bois	<i>Lucanus cervus cervus</i> (Linnaeus, 1758)	Lucane Cerf-volant	Hirschkäfer
Coléoptères du bois	<i>Osmoderma eremita</i> (Scopoli, 1763)	Pique prune, Barbot	Eremit, Juchtenkäfer
Coléoptères du bois	<i>Poecilontha variolosa</i> (Paykull, 1799)	Poecilontha bigarré	Grosser Pappel-Prachtkäfer
Coléoptères du bois	<i>Rhagium sycophanta</i> (Schränk, 1781)	Rhagie sycophante	Eichen-Zangenbock
Coléoptères du bois	<i>Rhamnusium bicolor bicolor</i> (Schränk, 1781)	Rhamnusie bicolore	Weidenbock, Beulenkopfböck
Coléoptères du bois	<i>Ropalopus ungaricus ungaricus</i> (Herbst, 1784)	Ropalope hongrois	Ungarischer Rindenbock
Coléoptères du bois	<i>Saperda perforata</i> (Pallas, 1773)	Saperde perforée	Gefleckter Pappelbock, Gefleckter Espenbock
Gastéropodes et bivalves	<i>Bulgarica cana</i> (Held, 1836)	Clausilie grise	Graue Schliessmundschnecke
Lépidoptères diurnes et zygènes	<i>Apatura ilia</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)	Petit Mars changeant	Kleiner Schillerfalter
Lépidoptères diurnes et zygènes	<i>Lopinga achine</i> (Scopoli, 1763)	Bacchante	Gelbringfalter
Lichens	<i>Anaptychia crinalis</i> (Schleich.) Vezda	Lichen griffon à crinière	Feine Wimpernflechte
Lichens	<i>Arthrosporum populorum</i> A. Massal.	Lichen ponctuation du peuplier	Pappel-Gliedersporenflechte
Lichens	<i>Biatoreidium delitescens</i> (Arnold) Hafellner	Lichen tête d'ange	Verborgene Rundsporeflechte
Lichens	<i>Caloplaca obscura</i> (Körb.) Th.Fr.	Lichen confettis obscure	Dunkler Schönfleck
Lichens	<i>Candelariella subdeflexa</i> (Nyl.) Lettau	Lichen jaune œuf au plat	Lagerlose Dotterflechte
Lichens	<i>Collema fasciculare</i> (L.) F.H.Wigg.	Cyanolichen fasciculé	Bündel-Leimflechte

Lichens	<i>Gyalecta truncigena</i> (Ach.) Hepp	Lichen ventouse des troncs	Gestutzte Grubenflechte
Lichens	<i>Heterodermia speciosa</i> (Wulfen) Trevis.	Lichen varech gris	Schöne Wimperflechte
Lichens	<i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm.	Lichen poumon officinal	Echte Lungenflechte
Lichens	<i>Nephroma laevigatum</i> Ach.	Lichen rein lisse	Glatte Nierenflechte
Lichens	<i>Pannaria conoplea</i> (Ach.) Bory	Cyanolichen varech	Blaugraue Tuchflechte
Lichens	<i>Physcia vitii</i> Nád.	Lichen dendrite à bonnet	Bandförmige Schwielenflechte
Lichens	<i>Ramalina dilacerata</i> (Hoffm.) Hoffm.	Lichen ramuscule minuscule	Kleine Astflechte
Lichens	<i>Ramalina sinensis</i> Jatta	Lichen ramuscule aile de dragon	Chinesische Astflechte
Lichens	<i>Strangospora ochrophora</i> (Nyl.) R.A.Anderson	Lichen cannelle	Zimtflechte
Lichens	<i>Strigula jamesii</i> (Swinscow) R.C. Harris	Lichen pointe de couteau	James Furchenflechte
Lichens	<i>Usnea wasmuthii</i> Räsänen	Lichen barbe à ulcères	Wasmuths Bartflechte
Macrolépidoptères et sésies	<i>Endromis versicolora</i> (Linnaeus, 1758)	Versicolore	Birkenspinner
Macrolépidoptères et sésies	<i>Gastropacha populifolia</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)	Feuille-Morte du Peuplier	Pappelglucke
Macrolépidoptères et sésies	<i>Orgyia recens</i> (Hübner, 1819)	Soucieuse	Eckfleck-Bürstenspinner, Eckfleck-Bürstenbinder
Mammifères: chauves-souris	<i>Barbastella barbastellus</i> (Schreber, 1774)	Barbastelle d'Europe	Mopsfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Eptesicus nilssonii</i> (Keyserling & Blasius, 1839)	Sérotine boréale	Nordfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Eptesicus serotinus</i> (Schreber, 1774)	Sérotine commune	Breitflügelfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis alcathoe</i> von Helversen & Heller, 2001	Murin d'Alcathoe	Nymphenfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis bechsteinii</i> (Kuhl, 1817)	Murin de Bechstein	Bechsteinfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis brandtii</i> (Eversmann, 1845)	Murin de Brandt	Brandtfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis myotis</i> (Borkhausen, 1797)	Grand murin	Grosses Mausohr
Mammifères: chauves-souris	<i>Plecotus auritus</i> (Linnaeus, 1758)	Oreillard brun	Braunes Langohr
Mammifères: chauves-souris	<i>Plecotus austriacus</i> (Fischer, 1829)	Oreillard gris	Graues Langohr
Mammifères: chauves-souris	<i>Plecotus macrotullaris</i> Kuzjakin, 1965	Oreillard montagnard	Alpenlangohr
Mammifères: chauves-souris	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i> (Schreber, 1774)	Grand rhinolophe	Grosse Hufeisennase
Mammifères: chauves-souris	<i>Rhinolophus hipposideros</i> (Bechstein, 1800)	Petit rhinolophe	Kleine Hufeisennase

Mammifères: chauves-souris	<i>Vespertilio murinus</i> Linnaeus, 1758	Sérotine bicolore	Zweifarbfladermaus
Oiseaux	<i>Actitis hypoleucos</i> (Linnaeus, 1758)	Chevalier guignette	Flussuferläufer
Oiseaux	<i>Picus canus</i> Gmelin, JF, 1788	Pic cendré	Grauspecht
Plantes vascu- laires	<i>Cypripedium calceolus</i> L.	Sabot de Vénus	Frauenschuh
Plantes vascu- laires	<i>Dryopteris cristata</i> (L.) A. Gray	Dryoptéris à crêtes	Kamm-Wurmfarn
Plantes vascu- laires	<i>Epipactis rhodanensis</i> Gévaudan & Robatsch	Epipactis du Rhône	Rhone-Stendelwurz
Plantes vascu- laires	<i>Fragaria moschata</i> Duchesne	Fraisier musqué	Moschus-Erdbeere
Plantes vascu- laires	<i>Orobanché salviae</i> F. W. Schultz	Orobanché de la sauge	Salbei-Würger
Plantes vascu- laires	<i>Poa remota</i> Forselles	Pâturin à épillets espacés	Entferntähriges Rispengras
Plantes vascu- laires	<i>Pseudostellaria europaea</i> Schaeftl.	Pseudostellaire d'Europe	Knollenmiere
Plantes vascu- laires	<i>Rosa majalis</i> Herrm.	Rosier cannelle	Zimt-Rose
Plantes vascu- laires	<i>Vitis sylvestris</i> C. C. Gmel.	Vigne sauvage	Wilde Weinrebe
Reptiles	<i>Natrix natrix</i> (Linnaeus, 1758)	Couleuvre à collier nordique	Nördliche Ringelnatter
Reptiles	<i>Zamenis longissimus</i> (Lau- renti, 1768)	Couleuvre d'Esculape	Aeskulapnatter

Tableau A1.2

Espèces forestières cibles pour les associations forestières des pinèdes thermophiles (6.4.) selon Delarze et al. 2015 [95]

Groupe d'organisme	Nom scientifique	Nom français	Nom allemand
Champignons	<i>Hygrophorus latitabundus</i> Britzelm.	Hygrophore gluant	Grosser Kiefern-Schneckling
Champignons	<i>Hygrophorus ligatus</i> Fr.		Schleimigberingter Schneckling
Champignons	<i>Inocutis rheades</i> (Pers.) Fiasson & Niemelä		Fuchsroter Schillerporling
Champignons	<i>Tricholoma colossus</i> (Fr.) Quel.	Tricholome colossal	Riesenritterling
Coléoptères du bois	<i>Acanthocinus aedilis</i> (Linnaeus, 1758)	Acanthocine édile	Gemeiner Zimmerbock, Zimmermannsbock
Coléoptères du bois	<i>Chalcophora mariana</i> (Linnaeus, 1758)		Marien-Prachtkäfer
Coléoptères du bois	<i>Chlorophorus sartor</i> (O. F. Müller, 1766)	Clyte sarcleur	Weissbindiger Wespenbock, Weissbindiger Widderbock
Coléoptères du bois	<i>Dicerca moesta</i> (Fabricius, 1792)	Dicerque triste	

Coléoptères du bois	<i>Ergates faber faber</i> (Linnaeus, 1760)	Ergate ouvrier	Mulmbock
Lépidoptères diurnes et zygènes	<i>Hipparchia semele</i> (Linnaeus, 1758)	Agreste	Rostbinde, Ockerbindiger Samtfalter
Lichens	<i>Fulgensia fulgens</i> (Sw.) Elenkin	Lichen soufre foliacé	Gewöhnliche Feuerflechte
Lichens	<i>Solorinella asteriscus</i> Anzi	Lichen étoile des sables	Löss-Sternflechte
Mammifères: chauves-souris	<i>Barbastella barbastellus</i> (Schreber, 1774)	Barbastelle d'Europe	Mopsfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Eptesicus nilssonii</i> (Keyserling & Blasius, 1839)	Sérotine boréale	Nordfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis bechsteinii</i> (Kuhl, 1817)	Murin de Bechstein	Bechsteinfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis myotis</i> (Borkhausen, 1797)	Grand murin	Grosses Mausohr
Mammifères: chauves-souris	<i>Plecotus auritus</i> (Linnaeus, 1758)	Oreillard brun	Braunes Langohr
Mammifères: chauves-souris	<i>Plecotus macrotullaris</i> Kuzjakín, 1965	Oreillard montagnard	Alpenlangohr
Mammifères: chauves-souris	<i>Rhinolophus hipposideros</i> (Bechstein, 1800)	Petit rhinolophe	Kleine Hufeisennase
Oiseaux	<i>Caprimulgus europaeus</i> Linnaeus, 1758	Engoulevent d'Europe	Ziegenmelker
Oiseaux	<i>Jynx torquilla</i> Linnaeus, 1758	Torcol fourmilier	Wendehals
Plantes vasculaires	<i>Chamaecytisus supinus</i> (L.) Link	Petit cytise couché	Niedriger Zwergginster
Plantes vasculaires	<i>Cirsium tuberosum</i> (L.) All.	Cirse tubéreux	Knollige Kratzdistel
Plantes vasculaires	<i>Coronilla minima</i> L.	Petite coronille	Kleine Kronwicke
Plantes vasculaires	<i>Cypripedium calceolus</i> L.	Sabot de Vénus	Frauenschuh
Plantes vasculaires	<i>Daphne cneorum</i> L.	Daphné camélée	Flaumiger Seidelbast
Plantes vasculaires	<i>Dictamnus albus</i> L.	Dictame blanc	Weisser Diptam
Plantes vasculaires	<i>Diphasiastrum complanatum</i> (L.) Holub	Lycopode aplati	Gemeiner Flachbärlapp
Plantes vasculaires	<i>Dorycnium germanicum</i> (Gremli) Rikli	Dorycnium d'Allemagne	Deutscher Backenklee
Plantes vasculaires	<i>Odontites viscosus</i> (L.) Clairv.	Odontites visqueux	Klebriger Zahntrost
Plantes vasculaires	<i>Onosma helvetica</i> (A. DC.) Boiss.	Onosma de Suisse	Schweizer Lotwurz
Plantes vasculaires	<i>Ophrys insectifera</i> L.	Ophrys mouche	Fliegen-Ragwurz
Plantes vasculaires	<i>Potentilla heptaphylla</i> L.	Potentille à sept folioles	Siebenblättriges Fingerkraut
Plantes vasculaires	<i>Pyrola chlorantha</i> Sw.	Pyrole verdâtre	Grünliches Wintergrün

Plantes vasculaires	<i>Rhamnus saxatilis</i> Jacq.	Nerprun des rochers	Felsen-Kreuzdorn
Plantes vasculaires	<i>Thesium rostratum</i> Mert. & W. D. J. Koch	Thésium rostré	Schnabelfrüchtiger Bergflachs
Reptiles	<i>Coronella austriaca</i> Laurenti, 1768	Coronelle lisse	Schlingnatter
Reptiles	<i>Natrix natrix</i> (Linnaeus, 1758)	Couleuvre à collier nordique	Nördliche Ringelnatter
Reptiles	<i>Vipera aspis</i> (Linnaeus, 1758)	Vipère aspic	Aspiviper
Reptiles	<i>Vipera berus</i> (Linnaeus, 1758)	Vipère péliade	Kreuzotter
Reptiles	<i>Zamenis longissimus</i> (Laurenti, 1768)	Couleuvre d'Esculape	Aeskulapnatter

Tableau A1.3

Espèces forestières cibles pour les associations forestières des forêts de tourbières (6.5.) selon Delarze et al. 2015 [95]

Groupe d'organisme	Nom scientifique	Nom français	Nom allemand
Amphibiens	<i>Bombina variegata</i> (Linnaeus, 1758)	Sonneur à ventre jaune	Gelbbauchunke
Amphibiens	<i>Lissotriton helveticus</i> (Razoumowsky, 1789)	Triton palmé	Fadenmolch
Amphibiens	<i>Rana dalmatina</i> Bonaparte, 1840	Grenouille agile	Springfrosch
Amphibiens	<i>Triturus carnifex</i> (Laurenti, 1768)	Triton crête italien	Italienischer Kammolch
Amphibiens	<i>Triturus cristatus</i> (Laurenti, 1768)	Triton crête	Nördlicher Kammolch
Coléoptères du bois	<i>Dicerca moesta</i> (Fabricius, 1792)	Dicerque triste	
Macrolépidoptères et sésies	<i>Endromis versicolora</i> (Linnaeus, 1758)	Versicolore	Birkenspinner
Mammifères: chauves-souris	<i>Barbastella barbastellus</i> (Schreber, 1774)	Barbastelle d'Europe	Mopsfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Eptesicus nilssonii</i> (Keyserling & Blasius, 1839)	Sérotine boréale	Nordfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Eptesicus serotinus</i> (Schreber, 1774)	Sérotine commune	Breitflügelfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis bechsteinii</i> (Kuhl, 1817)	Murin de Bechstein	Bechsteinfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis brandtii</i> (Eversmann, 1845)	Murin de Brandt	Brandtfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis myotis</i> (Borkhausen, 1797)	Grand murin	Grosses Mausohr
Mammifères: chauves-souris	<i>Plecotus auritus</i> (Linnaeus, 1758)	Oreillard brun	Braunes Langohr
Mammifères: chauves-souris	<i>Plecotus austriacus</i> (Fischer, 1829)	Oreillard gris	Graues Langohr

Mammifères: chauves-souris	<i>Plecotus macrobullaris</i> Kuzjakín, 1965	Oreillard montagnard	Alpenlangohr
Mammifères: chauves-souris	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i> (Schreber, 1774)	Grand rhinolophe	Grosse Hufeisennase
Mammifères: chauves-souris	<i>Rhinolophus hipposideros</i> (Bechstein, 1800)	Petit rhinolophe	Kleine Hufeisennase
Mammifères: chauves-souris	<i>Vespertilio murinus</i> Linnaeus, 1758	Sérotine bicolore	Zweifarbfladermaus
Mousses et Hépa- tiques	<i>Kurzia pauciflora</i> (Dicks.) Grolle	Kurzle des tourbières	Wenigblütiges Kleinschup- penzweigmoos
Oiseaux	<i>Lyrurus tetrix</i> (Linnaeus, 1758)	Tétras lyre	Birkhuhn
Oiseaux	<i>Tetrao urogallus</i> Linnaeus, 1758	Grand Tétrás	Auerhuhn
Oiseaux	<i>Tetrastes bonasia</i> (Linnaeus, 1758)	Gélinotte des bois	Haselhuhn
Reptiles	<i>Natrix natrix</i> (Linnaeus, 1758)	Couleuvre à collier nordique	Nördliche Ringelnatter
Reptiles	<i>Vipera berus</i> (Linnaeus, 1758)	Vipère péliade	Kreuzotter

Tableau A1.4

Espèces forestières cibles pour les associations forestières des forêts de conifères d'altitude (6.6.) selon Delarze et al. 2015 [95]

Groupe d'organisme	Nom scientifique	Nom français	Nom allemand
Lichens	<i>Anaptychia crinalis</i> (Schleich.) Vezda	Lichen griffon à crinière	Feine Wimpernflechte
Lichens	<i>Arthonia faginea</i> Müll.Arg.	Lichen tache du hêtre	Buchen-Fleckflechte
Lichens	<i>Arthonia fuliginosa</i> (Turner & Borrer) Flot.	Lichen tache de suie	Russige Fleckflechte
Lichens	<i>Arthonia reniformis</i> (Pers.) Nyl.	Lichen tache en rein	Nierenförmige Fleckflechte
Lichens	<i>Arthonia vinosa</i> Leight.	Lichen tache de vin	Weinrote Fleckflechte
Lichens	<i>Calicium adaequatum</i> Nyl.	Lichen clou de cercueil	Echte Kelchflechte
Lichens	<i>Calicium adspersum</i> Pers.	Lichen clou doré	Sitzende Kelchflechte
Lichens	<i>Caloplaca chrysophthalma</i> Degel.	Lichen confettis à soralies jaunes	Gelbkörniger Schönfleck
Lichens	<i>Caloplaca flavorubescens</i> (Huds.) J.R. Laundon	Lichen confettis jaune rouge	Gelbrötlicher Schönfleck
Lichens	<i>Caloplaca obscurella</i> (Körb.) Th.Fr.	Lichen confettis obscure	Dunkler Schönfleck
Lichens	<i>Catapyrenium daedaleum</i> (Kremp.) Stein	Lichen cuir labyrinthe	Kunstvolle Lederflechte
Lichens	<i>Catillaria alba</i> Coppins & Vezda	Lichen glace citron	Weisse Kesselflechte

Lichens	<i>Cetraria oakesiana</i> Tuck.	Lichen passerelle grise	Gesäumte Tartschenflechte
Lichens	<i>Cetraria sepincola</i> (Ehrh.) Ach.	Lichen à boucliers bruns	Zaun-Tartschenflechte
Lichens	<i>Chaenotheca chlorella</i> (Ach.) Müll.Arg.	Lichen épingle à granules verts	Grüngelbe Stecknadelflechte
Lichens	<i>Chaenotheca hispidula</i> (Ach.) Zahlbr.	Lichen épingle de sorcière	Rauhe Stecknadelflechte
Lichens	<i>Chaenotheca laevigata</i> Nád.	Lichen épingle à collier jaune	Glatte Stecknadelflechte
Lichens	<i>Chaenotheca phaeocephala</i> (Turner) Th.Fr.	Lichen épingle vert olive	Dunkelköpfige Stecknadelflechte
Lichens	<i>Cladonia acuminata</i> (Ach.) Norrl.	Lichen paratonnerre	Zugespitzte Säulenflechte
Lichens	<i>Cliostomum pallens</i> (Kullh.) S.Ekman		Blasse Kesselflechte
Lichens	<i>Cyphelium karelicum</i> (Vain.) Räsänen	Lichen caviar de Karélie	Karelische Staubfruchtflechte
Lichens	<i>Cyphelium lucidum</i> (Th.Fr.) Th.Fr.	Lichen caviar luisant	Leuchtende Staubfruchtflechte
Lichens	<i>Dimerella lutea</i> (Dicks.) Trevis.	Lichen ventouse jaune orangé	Gelbe Krügleinflechte
Lichens	<i>Fuscidea arboricola</i> Coppins & Tønsberg		Winzige Schwarznapfflechte
Lichens	<i>Graphis elegans</i> (Sm.) Ach.	Lichen manuscrit élégant	Zierliche Schriftflechte
Lichens	<i>Gyalecta truncigena</i> (Ach.) Hepp	Lichen ventouse des troncs	Gestutzte Grubenflechte
Lichens	<i>Heppia adglutinata</i> (Kremp.) A. Massal.	Lichen cuves de tannerie agglutinées	Anliegende Heppflechte
Lichens	<i>Heterodermia obscurata</i> (Nyl.) Trevis.	Lichen varech obscure	Dunkle Wimperflechte
Lichens	<i>Hypocenomyce friesii</i> (Ach.) P.James & Gotth.Schneid.	Lichen peau de léopard	Fries' Schuppenflechte
Lichens	<i>Lecanactis abietina</i> (Ach.) Körb.	Lichen cratères de lune	Tannen-Strahlflechte
Lichens	<i>Lecania fuscella</i> (Schaer.) Körb.	Lichen domino petit brun	Bräunliche Küchleinflechte, Bräunliche Lecanie
Lichens	<i>Leptogium teretiusculum</i> (Wallr.) Arnold	Cyanolichen petit corail	Walzige Gallertflechte
Lichens	<i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm.	Lichen poumon officinal	Echte Lungenflechte
Lichens	<i>Lobaria scrobiculata</i> (Scop.) DC.	Lichen poumon de mineur	Grubige Lungenflechte
Lichens	<i>Mycoblastus affinis</i> (Schaer.) T.Schauer	Lichen truffe noire	Verwandte Blutstropfenflechte
Lichens	<i>Mycoblastus caesius</i> (Coppins & P.James) Tønsberg	Lichen étoiles sur ciel d'or	Blaugraue Blutstropfenflechte
Lichens	<i>Nephroma laevigatum</i> Ach.	Lichen rein lisse	Glatte Nierenflechte
Lichens	<i>Ochrolechia pallescens</i> (L.) A. Massal.	Lichen donut sugar ice	Bleiche Bleiflechte

Lichens	<i>Ochrolechia subviridis</i> (Høeg) Erichsen	Lichen naperon croché	Grünliche Bleiflechte
Lichens	<i>Pannaria conoplea</i> (Ach.) Bory	Cyanolichen varech	Blaugraue Tuchflechte
Lichens	<i>Parmelia laevigata</i> (Sm.) Ach.	Lichen puzzle pustuleux	Glatte Schüsselflechte
Lichens	<i>Parmelia taylorensis</i> Mitch.	Lichen puzzle uni	Taylors Schüsselflechte
Lichens	<i>Parmotrema arnoldii</i> (Du Rietz) Hale	Lichen berceau argenté	Arnolds Schüsselflechte
Lichens	<i>Parmotrema crinitum</i> (Ach.) M.Choisy	Lichen berceau crénelé	Behaarte Schüsselflechte
Lichens	<i>Pertusaria borealis</i> Erichsen	Lichen nappe boréal	Nördliche Porenflechte
Lichens	<i>Pertusaria hemisphaerica</i> (Flörke) Erichsen	Lichen nappe à demi-sphères	Halbkugelige Porenflechte
Lichens	<i>Pertusaria multipuncta</i> (Turner) Nyl.	Lichen pseudostérile croché	Vielpunktige Porenflechte
Lichens	<i>Pertusaria oculata</i> (Dicks.) Th.Fr.	Lichen tapis à poils courts	Auffällige Porenflechte
Lichens	<i>Pertusaria pertusa</i> (Weigel) Tuck.	Lichen pore globuleux	Gewöhnliche Porenflechte
Lichens	<i>Ramalina fastigiata</i> (Pers.) Ach.	Lichen ramuscule condensé	Buschige Astflechte
Lichens	<i>Ramalina roesleri</i> (Schaer.) Hue	Lichen ramuscule en dentelle	Röslers Astflechte
Lichens	<i>Rinodina sheardii</i> Tønsberg	Lichen petit bouclier jaune poudreux	Sheards Braunsporflechte
Lichens	<i>Schismatomma decolorans</i> (Sm.) Clauzade & Vezda	Lichen poudre lilas	Verfärbte Spaltaugenflechte
Lichens	<i>Sphaerophorus globosus</i> (Huds.) Vain.	Lichen corail des forêts	Korallen-Kugelträger
Lichens	<i>Sphaerophorus melanocarpus</i> (Sw.) DC.	Lichen corail à poudre noire	Schwarzfrüchtiger Kugelträger
Lichens	<i>Sticta sylvatica</i> (Huds.) Ach.	Lichen tacheté des forêts	Wald-Grübchenflechte
Lichens	<i>Strangospora ochrophora</i> (Nyl.) R.A.Anderson	Lichen cannelle	Zimtflechte
Lichens	<i>Usnea ceratina</i> Ach.	Lichen barbe en arêtes de poisson	Horn-Bartflechte
Lichens	<i>Usnea cornuta</i> Körb.	Lichen barbichette	Gehörnte Bartflechte
Lichens	<i>Usnea longissima</i> Ach.	Lichen cheveux d'ange	Engelshaar
Lichens	<i>Usnea madeirensis</i> Motyka	Lichen barbe à papa	Madeira-Bartflechte
Mammifères: chauves-souris	<i>Barbastella barbastellus</i> (Schreber, 1774)	Barbastelle d'Europe	Mopsfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Eptesicus nilssonii</i> (Keyserling & Blasius, 1839)	Sérotine boréale	Nordfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis bechsteinii</i> (Kuhl, 1817)	Murin de Bechstein	Bechsteinfledermaus

Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis myotis</i> (Borkhausen, 1797)	Grand murin	Grosses Mausohr
Mammifères: chauves-souris	<i>Plecotus auritus</i> (Linnaeus, 1758)	Oreillard brun	Braunes Langohr
Mammifères: chauves-souris	<i>Rhinolophus hipposideros</i> (Bechstein, 1800)	Petit rhinolophe	Kleine Hufeisennase
Plantes vasculaires	<i>Diphasiastrum complanatum</i> (L.) Holub	Lycopode aplati	Gemeiner Flachbärlapp
Plantes vasculaires	<i>Stellaria longifolia</i> Willd.	Stellaire à longues feuilles	Langblättrige Sternmiere
Plantes vasculaires	<i>Trientalis europaea</i> L.	Trientalis d'Europe	Siebenstern
Coléoptères du bois	<i>Ceruchus chrysomelinus</i> (Hochenwarth, 1785)		Rindenschröter
Coléoptères du bois	<i>Tragosoma depsarium</i> (Linnaeus, 1767)	Tragosome broyeur	Zottenbock
Mousses et Hépatiques	<i>Dichelyma falcatum</i> (Hedw.) Myrin	Fontinale faucille	Sichelblättriges Klauenmoos
Mousses et Hépatiques	<i>Frullania parvistipula</i> Steph.	Frullanie à petits ampigastres	Kleinstipeliges Wassersackmoos
Mousses et Hépatiques	<i>Tayloria rudolphiana</i> (Garov.) Bruch & Schimp.	Taylorie de Rudolphi	Rudolphis Trompetenmoos
Champignons	<i>Hygrophorus ligatus</i> Fr.		Schleimigberingter Schneckling
Champignons	<i>Tricholoma caligatum</i> (Viv.) Ricken	Tricholome chaussé	Krokodil-Ritterling
Reptiles	<i>Coronella austriaca</i> Laurenti, 1768	Coronelle lisse	Schlingnatter
Reptiles	<i>Vipera aspis</i> (Linnaeus, 1758)	Vipère aspic	Aspiviper
Reptiles	<i>Vipera berus</i> (Linnaeus, 1758)	Vipère péliade	Kreuzotter
Gastéropodes et bivalves	<i>Charpentieria dyodon studeri</i> (Pini, 1884)	Perlée de Studer	Studers Schliessmundschnecke
Gastéropodes et bivalves	<i>Zoogenetes harpa</i> (Say, 1824)	Escargotin d'harpe	Harfenschnecke
Oiseaux	<i>Lyrurus tetrix</i> (Linnaeus, 1758)	Tétras lyre	Birkhuhn
Oiseaux	<i>Tetrao urogallus</i> Linnaeus, 1758	Grand Tétras	Auerhuhn
Oiseaux	<i>Tetrastes bonasia</i> (Linnaeus, 1758)	Gélinotte des bois	Haselhuhn

Tableau A1.5

Espèces forestières cibles pour le type de milieu « Eaux libres » (1.) selon Delarze et al. 2015 [95]

Groupe d'organisme	Nom scientifique	Nom français	Nom allemand
Amphibiens	<i>Bombina variegata</i> (Linnaeus, 1758)	Sonneur à ventre jaune	Gelbbauchunke
Amphibiens	<i>Lissotriton helveticus</i> (Razoumowsky, 1789)	Triton palmé	Fadenmolch
Amphibiens	<i>Rana dalmatina</i> Bonaparte, 1840	Grenouille agile	Springfrosch
Amphibiens	<i>Rana latastei</i> Boulanger, 1879	Grenouille de Lataste	Italienischer Springfrosch
Amphibiens	<i>Salamandra salamandra</i> (Linnaeus, 1758)	Salamandre tachetée	Feuersalamander
Amphibiens	<i>Triturus carnifex</i> (Laurenti, 1768)	Triton crête italien	Italienischer Kammolch
Amphibiens	<i>Triturus cristatus</i> (Laurenti, 1768)	Triton crête	Nördlicher Kammolch
Libellules	<i>Lestes dryas</i> Kirby, 1890	Leste des bois (Leste dryade)	Glänzende Binsenjungfer
Lichens	<i>Chaenotheca phaeocephala</i> (Turner) Th.Fr.	Lichen épingle vert olive	Dunkelköpfige Stecknadel-flechte
Mammifères: chauves-souris	<i>Eptesicus nilssonii</i> (Keyserling & Blasius, 1839)	Sérotine boréale	Nordfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Eptesicus serotinus</i> (Schreber, 1774)	Sérotine commune	Breitflügelfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis alcathoe</i> von Helversen & Heller, 2001	Murin d'Alcathoe	Nymphenfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Myotis brandtii</i> (Eversmann, 1845)	Murin de Brandt	Brandtfledermaus
Mammifères: chauves-souris	<i>Vespertilio murinus</i> Linnaeus, 1758	Sérotine bicolore	Zweifarbflfledermaus
Oiseaux	<i>Actitis hypoleucos</i> (Linnaeus, 1758)	Chevalier guignette	Flussuferläufer
Reptiles	<i>Natrix natrix</i> (Linnaeus, 1758)	Couleuvre à collier nordique	Nördliche Ringelnatter

7. Bibliographie

1. N. Imesch, B. Stadler, M. Bolliger et O. Schneider, «Biodiversité en forêt: objectifs et mesures. Aide à la mise en œuvre pour la conservation et la promotion de la diversité biologique dans les forêts suisses», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, Environnement-Mise en œuvre n° 1503, 2015.
2. OFEV, «Stratégie Biodiversité Suisse et plan d'action». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.bafu.admin.ch/fr/strategie-et-plan-daction-biodiversite>. [Consulté le 25 juill. 2024]
3. «Methods», *Eclipse*, 19 novembre 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://eclipse.eu/methods/>. [Consulté le 13 août 2024].
4. H. Lee und J. Romero (éd.), «Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change» IPCC, Genève, p. 184, 2023.
5. G. E. Grant, C. L. Tague et C. D. Allen, «Watering the forest for the trees: an emerging priority for managing water in forest landscapes», *Front. Ecol. Environ.*, vol. 11, n° 6, p. 314-321, août 2013.
6. A. Kahmen et al., «Root water uptake depth determines the hydraulic vulnerability of temperate European tree species during the extreme 2018 drought », *Plant Biol.*, vol. 24, n° 7, p. 1224-1239, déc. 2022.
7. N. Brinkmann, W. Eugster, N. Buchmann et A. Kahmen, «Species-specific differences in water uptake depth of mature temperate trees vary with water availability in the soil », *Plant Biol.*, vol. 21, n° 1, p. 71-81, janv. 2019.
8. K. Meusburger et al., «Soil-plant interactions modulated water availability of Swiss forests during the 2015 and 2018 droughts», *Glob. Chang. Biol.*, vol. 28, n° 20, p. 5928-5944, oct. 2022.
9. M. Arend, R. M. Link, R. Patthey, G. Hoch, B. Schuldt et A. Kahmen, «Rapid hydraulic collapse as cause of drought-induced mortality in conifers», *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 118, n° 16, avr. 2021.
10. A. Gauthey et al., «Twenty years of irrigation acclimation is driven by denser canopies and not by plasticity in twig- and needle-level hydraulics in a *Pinus sylvestris* forest», *J. Exp. Bot.*, vol. 75, n° 10, p. 3141-3152, mai 2024.
11. X. Chen et Q. Hu, «Groundwater influences on soil moisture and surface evaporation», *J. Hydrol.*, vol. 297, n° 1, p. 285-300, sept. 2004.
12. A. Martínez-de la Torre et G. Miguez-Macho, «Groundwater influence on soil moisture memory and land-atmosphere fluxes in the Iberian Peninsula», *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 23, n° 12, p. 4909-4932, déc. 2019.
13. M. S. Malik, J. P. Shukla et S. Mishra, «Effect of Groundwater Level on Soil Moisture, Soil Temperature and Surface Temperature», *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol. 49, n° 9, p. 2143-2161, sept. 2021.
14. E. R. Frei et al., «European beech dieback after premature leaf senescence during the 2018 drought in northern Switzerland», *Plant Biol.*, vol. 24, n° 7, p. 1132-1145, déc. 2022.
15. H. J. Fowler et H. Ali, «Analysis of extreme rainfall events under the climatic change», dans *Rainfall*, Elsevier, 2022, p. 307-326.
16. X. Zhang, H. Wan, F. W. Zwiers, G. C. Hegerl et S.-K. Min, «Attributing intensification of precipitation extremes to human influence: Human Influence on extreme precipitation», *Geophys. Res. Lett.*, vol. 40, n° 19, p. 5252-5257, oct. 2013.
17. E. M. Fischer et R. Knutti, «Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes», *Nat. Clim. Chang.*, vol. 5, n° 6, p. 560-564, juin 2015.
18. F. C. Pavesi et M. Pezzagno, «From sponge cities to sponge landscapes with nature-based solutions: A multidimensional approach to map suitable rural areas for flood mitigation and landscaping», dans *The Handbook of Environmental Chemistry*, Cham: Springer International Publishing, 2021, p. 355-376.
19. C. Soulsby, J. Dick, B. Scheliga et D. Tetzlaff, «Taming the flood-How far can we go with trees?», *Hydrol. Process.*, vol. 31, n° 17, p. 3122-3126, août 2017.
20. M. R. Marshall et al., «The impact of rural land management changes on soil hydraulic properties and runoff processes: results from experimental plots in upland UK», *Hydrol. Process.*, vol. 28, n° 4, p. 2617-2629, 2014.

21. D. Brogna, C. Vincke, Y. Brostaux, H. Soyeurt, M. Dufrêne et N. Dendoncker, «How does forest cover impact water flows and ecosystem services? Insights from “real-life” catchments in Wallonia (Belgium)», *Ecol. Indic.*, vol. 72, p. 675-685, janv. 2017.
22. K. Bhattacharjee et B. Behera, «Does forest cover help prevent flood damage? Empirical evidence from India», *Glob. Environ. Change*, vol. 53, p. 78-89, nov. 2018.
23. G. Schüler, «Identification of flood-generating forest areas and forestry measures for water retention», *For. Snow Landsc. Res.*, vol. 80, n° 1, p. 99-114, 2006.
24. E. Apsite et al., «Impact of climate variability, drainage and land-cover changes on hemiboreal streamflow», *Hydrol. Sci. J.*, vol. 62, n° 15, p. 2558-2570, nov. 2017.
25. V. Černohous, V. Švihla, F. Šach et D. Kacalek, «Influence of Drainage System Maintenance on Storm Runoff from a Reforested, Waterlogged Mountain Catchment », *Soil and Water Research*, vol. 9, n° 2, p. 90-96, juin 2014.
26. M. W. Menberu, A. T. Haghighi, A. Ronkanen, H. Marttila et B. Kløve, «Effects of Drainage and Subsequent Restoration on Peatland Hydrological Processes at Catchment Scale », *Water Resour. Res.*, vol. 54, n° 7, p. 4479-4497, juill. 2018.
27. S. Ahmad, H. Liu, A. Günther, J. Couwenberg et B. Lennartz, «Long-term rewetting of degraded peatlands restores hydrological buffer function», *Sci. Total Environ.*, vol. 749, p. 141571, déc. 2020.
28. C. S. Word et al., «Peatland drainage alters soil structure and water retention properties: Implications for ecosystem function and management», *Hydrol. Process.*, vol. 36, n° 3, p. e14533, mars 2022.
29. M. Scholz, «Ecological effects of water retention in the River Rhine valley: a review assisting future retention basin classification», *International Journal of Environmental Studies*, vol. 64, n° 2, p. 171-187, avr. 2007.
30. M. M. D. Cooper, S. D. Patil, T. R. Nisbet, H. Thomas, A. R. Smith et M. A. McDonald, «Role of forested land for natural flood management in the UK: A review», *WIREs Water*, vol. 8, n° 5, p. e1541, sept. 2021.
31. W. S. Keeton, E. M. Copeland, S. M. P. Sullivan et M. C. Watzin, «Riparian forest structure and stream geomorphic condition: implications for flood resilience», *Can. J. For. Res.*, vol. 47, n° 4, p. 476-487, avr. 2017.
32. A. M. Milner et al., «The forgotten forests: Incorporating temperate peat forming wet woodlands as nature based solutions into policy and practice», *Ecol Sol and Evidence*, vol. 5, n° 2, p. e12346, avr. 2024.
33. P. De Frenne et al., «Global buffering of temperatures under forest canopies», *Nat. Ecol. Evol.*, vol. 3, n° 5, p. 744-749, mai 2019.
34. C. Greiser, L. Hederová, G. Vico, J. Wild, M. Macek et M. Kopecký, «Higher soil moisture increases microclimate temperature buffering in temperate broadleaf forests», *Agric. For. Meteorol.*, vol. 345, p. 109828, févr. 2024.
35. S. F. Stickley et J. M. Fraterrigo, «Understory vegetation contributes to microclimatic buffering of near-surface temperatures in temperate deciduous forests», *Landsc. Ecol.*, vol. 36, n° 4, p. 1197-1213, avr. 2021.
36. K. T. Davis, S. Z. Dobrowski, Z. A. Holden, P. E. Higuera et J. T. Abatzoglou, «Microclimatic buffering in forests of the future: the role of local water balance», *Ecography*, vol. 42, n° 1, p. 1-11, janv. 2019.
37. J. Jiang, L. Zhao, Y. Zeng et Z. Zhai, «Experimental study of the effect of shallow groundwater table on soil thermal properties», *Front. Earth Sci.*, vol. 10, n° 1, p. 29-37, mars 2016.
38. C. Meeussen et al., «Microclimatic edge-to-interior gradients of European deciduous forests», *Agric. For. Meteorol.*, vol. 311, p. 108699, déc. 2021.
39. T. Riutta et al., «Experimental evidence for the interacting effects of forest edge, moisture and soil macrofauna on leaf litter decomposition», *Soil Biol. Biochem.*, vol. 49, p. 124-131, juin 2012.
40. J. Rathmann, C. Beck, S. Flutura, A. Seiderer, I. Aslan et E. André, «Towards quantifying forest recreation: Exploring outdoor thermal physiology and human well-being along exemplary pathways in a central European urban forest (Augsburg, SE-Germany)», *Urban For. Urban Greening*, vol. 49, n° 126622, p. 126622, mars 2020.
41. M. Jestaedt, «Experiences in the management of urban recreational forests in Germany», dans *Ecology, Planning, and Management of Urban Forests*, New York, NY : Springer New York, 2007, p. 301-311.

42. S. J. Davidson et al., «The unrecognized importance of carbon stocks and fluxes from swamps in Canada and the USA», *Environ. Res. Lett.*, vol. 17, n° 5, p. 053003, mai 2022.
43. J. Beaulne, M. Garneau, G. Magnan et É. Boucher, «Peat deposits store more carbon than trees in forested peatlands of the boreal biome», *Sci. Rep.*, vol. 11, n° 1, p. 2657, janv. 2021.
44. M. Peacock, G. Granath, M. B. Wallin, L. Högbom et M. N. Futter, «Significant emissions from forest drainage ditches—an unaccounted term in anthropogenic greenhouse gas inventories?», *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, vol. 126, n° 10, oct. 2021.
45. D. Köhn, C. Welpelo, A. Günther et G. Jurasinski, « Drainage Ditches Contribute Considerably to the CH₄ Budget of a Drained and a Rewetted Temperate Fen », *Wetlands*, vol. 41, n° 6, p. 71, juin 2021.
46. S. Kareksela, T. Haapalehto, R. Juutinen, R. Matilainen, T. Tahvanainen et J. S. Kotiaho, «Fighting carbon loss of degraded peatlands by jump-starting ecosystem functioning with ecological restoration», *Sci. Total Environ.*, vol. 537, p. 268-276, déc. 2015.
47. D. Escobar, S. Belyazid et S. Manzoni, «Back to the Future: Restoring Northern Drained Forested Peatlands for Climate Change Mitigation», *Front. Environ. Sci. Eng. China*, vol. 10, 2022.
48. J. Zou et al., «Rewetting global wetlands effectively reduces major greenhouse gas emissions», *Nat. Geosci.*, vol. 15, n° 8, p. 627-632, août 2022.
49. A. L. Creevy, R. J. Payne, R. Andersen et J. G. Rowson, «Annual gaseous carbon budgets of forest-to-bog restoration sites are strongly determined by vegetation composition», *Sci. Total Environ.*, vol. 705, p. 135863, févr. 2020.
50. N. Liu et al., «Elevating water table reduces net ecosystem carbon losses from global drained wetlands», *Glob. Chang. Biol.*, vol. 30, n° 9, p. e17495, sept. 2024.
51. S. Dubra et al., «Effects of Drainage on Carbon Stock in Hemiboreal Forests: Insights from a 54-Year Study», *Sustain. Sci. Pract. Policy*, vol. 15, n° 24, p. 16622, déc. 2023.
52. P. Ojanen, K. Minkkinen et T. Penttilä, «The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands», *For. Ecol. Manage.*, vol. 289, p. 201-208, févr. 2013.
53. J. P. Krüger, C. Alewell, K. Minkkinen, S. Szidat et J. Leifeld, «Calculating carbon changes in peat soils drained for forestry with four different profile-based methods», *For. Ecol. Manage.*, vol. 381, p. 29-36, déc. 2016.
54. A. Schindlbacher, J. Heinzle, G. Gollobich, W. Wanek, K. Michel et B. Kitzler, «Soil greenhouse gas fluxes in floodplain forests of the Danube National Park: effects of flooding and soil microclimate», *Biogeochemistry*, vol. 159, n° 2, p. 193-213, juin 2022.
55. T. Riis et al., «Global overview of ecosystem services provided by riparian vegetation», *Bioscience*, vol. 70, n° 6, p. 501-514, juin 2020.
56. S. Schindler et al., «Multifunctional floodplain management and biodiversity effects: a knowledge synthesis for six European countries», *Biodivers. Conserv.*, vol. 25, n° 7, p. 1349-1382, juin 2016.
57. T. Erős, L. Kuehne, A. Dolezsai, N. Sommerwerk et C. Wolter, «A systematic review of assessment and conservation management in large floodplain rivers – Actions postponed», *Ecol. Indic.*, vol. 98, p. 453-461, mars 2019.
58. A. Havrdová, J. Douda et J. Doudová, «Threats, biodiversity drivers and restoration in temperate floodplain forests related to spatial scales», *Sci. Total Environ.*, vol. 854, n° 158743, p. 158743, janv. 2023.
59. J. Liang et al., «Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests», *Science*, vol. 354, n° 6309, p. aaf8957-aaf8957, oct. 2016.
60. B. B. N. Strassburg et al., «Global congruence of carbon storage and biodiversity in terrestrial ecosystems», *Conservation Letters*, vol. 3, n° 2, p. 98-105, avr. 2010.
61. H. A. Shupe, T. Hartmann, M. Scholz, K. Jensen et K. Ludewig, «Carbon stocks of hardwood floodplain forests along the middle Elbe: The influence of forest age, structure, species, and hydrological conditions», *Water*, vol. 13, n° 5, p. 670, mars 2021.

62. M. Nieminen, M. Palviainen, S. Sarkkola, A. Laurén, H. Marttila et L. Finér, «A synthesis of the impacts of ditch network maintenance on the quantity and quality of runoff from drained boreal peatland forests», *Ambio*, vol. 47, n° 5, p. 523-534, sept. 2018.
63. M. Nieminen et al., «Ditch network maintenance in peat-dominated boreal forests: Review and analysis of water quality management options », *Ambio*, vol. 47, n° 5, p. 535-545, sept. 2018.
64. N. W. Shah, B. R. Baillie, K. Bishop, S. Ferraz, L. Högbom et J. Nettles, «The effects of forest management on water quality», *For. Ecol. Manage.*, vol. 522, p. 120397, oct. 2022.
65. M. Nieminen, T. Sallantausta, L. Ukonmaanaho, T. M. Nieminen et S. Sarkkola, «Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing», *Sci. Total Environ.*, vol. 609, p. 974-981, déc. 2017.
66. S. Holopainen et A. Lehtikainen, «Role of forest ditching and agriculture on water quality: Connecting the long-term physico-chemical subsurface state of lakes with landscape and habitat structure information», *Sci. Total Environ.*, vol. 806, n° Pt 4, p. 151477, févr. 2022.
67. C. R. Walton et al., «Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention: Impacts of soil type, hydrology and vegetation», *Sci. Total Environ.*, vol. 727, n° 138709, p. 138709, juill. 2020.
68. R. Lowrance, R. Todd, J. Fail Jr, O. Hendrickson Jr, R. Leonard et L. Asmussen, «Riparian forests as nutrient filters in agricultural watersheds», *Bioscience*, vol. 34, n° 6, p. 374-377, juin 1984.
69. OFEV (éd.), «La forêt vue par la population suisse. Résultats de la troisième enquête socioculturelle sur la forêt (WaMos 3)», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, Connaissance de l'environnement n° 2212, 2022.
70. M. Giergiczny, M. Czajkowski, T. Żylicz et P. Angelstam, «Choice experiment assessment of public preferences for forest structural attributes», *Ecological Economics*, vol. 119, p. 8-23, nov. 2015.
71. J. Abildtrup, S. Garcia, S. B. Olsen et A. Stenger, «Spatial preference heterogeneity in forest recreation», *Ecol. Econ.*, vol. 92, p. 67-77, août 2013.
72. A. Filyushkina, F. Agimass, T. Lundhede, N. Strange et J. B. Jacobsen, «Preferences for variation in forest characteristics: Does diversity between stands matter?», *Ecol. Econ.*, vol. 140, p. 22-29, oct. 2017.
73. F. Agimass, T. Lundhede, T. E. Panduro et J. B. Jacobsen, «The choice of forest site for recreation: A revealed preference analysis using spatial data», *Ecosystem Services*, vol. 31, p. 445-454, juin 2018.
74. M. Termansen, C. J. McClean et H. Skov-Petersen, «Recreational Site Choice Modelling Using High-Resolution Spatial Data», *Environ. Plan. A*, vol. 36, n° 6, p. 1085-1099, juin 2004.
75. U. Sikström et H. Hökkä, «Interactions between soil water conditions and forest stands in boreal forests with implications for ditch network maintenance», *Silva Fenn.*, vol. 50, n° 1, 2016.
76. «Forêt de Suisse protection». [En ligne]. Disponible sur : <https://www.schutzwald-schweiz.ch/fr/home.html>. [Consulté le 16 août 2024].
77. M. Frehner, B. Wasser et R. Schwitter, «Gestion durable des forêts de protection. Soins sylvicoles et contrôle des résultats: instructions pratiques», Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP, Berne, VU-7005-F, 2005.
78. B. Lange, S. Losey et Z. S., «Neues NAI-Anforderungsprofil für Gerinneschutzwälder», *Wald und Holz*, vol. 104, n° 6, p. 24-27, 2022.
79. L. Gerra-Inohosa, Z. L. Biete et I. Matisone, «Vegetation response to forest ditch reconstruction: Promoting a potential habitat for insect-pollinated plant species?», *For. Stud. China*, vol. 79, n° 1, p. 135-150, déc. 2023.
80. L. Remm et al., «Restoration dilemmas between future ecosystem and current species values: The concept and a practical approach in Estonian mires», *J. Environ. Manage.*, vol. 250, n° 109439, p. 109439, nov. 2019.
81. S. Müller-Kroehling, «Biodiversitätskriterien für Nachhaltigkeit im Wald», *LWF Wissen*, vol. 72, p. 59-71, janv. 2013.
82. H. Moor et al., «Biodiversité bleue et verte, élément essentiel en forêt». *La Forêt*, p. 30-33, mai 2022.

83. H. Moor et al., «Besserer Biodiversitätsschutz in Blau-Grünen Ökosystemen. Des écosystèmes bleus-verts pour mieux protéger la biodiversité», *Nature et Paysage. Natur und Landschaft : Inside*, n° 1, p. 25-29, 2022.
84. Pluspunkt, «Grundlagen für die Wiedervernässung von Wäldern im Kanton Aargau», 2025.
85. C. Wüst-Galley, A. Grünig et J. Leifeld, «Locating organic soils for the Swiss greenhouse gas inventory», *Agroscience*, vol. 26, p. 1-100, 2015.
86. OFEV, «Infrastructure écologique». [En ligne]. Disponible sur : <https://www.bafu.admin.ch/fr/infrastructure-ecol>. [Consulté le 13 août 2024].
87. Lidberg William et al., «Mapping Drainage Ditches in Forested Landscapes Using Deep Learning and Aerial Laser Scanning», *J. Irrig. Drain. Eng.*, vol. 149, n° 3, p. 04022051, mars 2023.
88. S. Tian, M. A. Youssef, R. W. Skaggs, D. M. Amatya et G. M. Chescheir, «DRAINMOD-FOREST: Integrated modeling of hydrology, soil carbon and nitrogen dynamics, and plant growth for drained forests», *J. Environ. Qual.*, vol. 41, n° 3, p. 764-782, mai 2012.
89. OFEV (éd.), «Inventorier, conserver et valoriser les milieux fontinaux», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, *Connaissance de l'environnement*, n° 2122, 2022.
90. D. Kury, V. Lubini-Ferlin et P. Stucki, «Guide pour le recensement systématique et la détermination du degré d'importance pour la protection de la nature», rapport d'expert. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, 2019.
91. OFEV, «Manuel des conventions-programmes dans le domaine de l'environnement 2025-2028», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, 2023.
92. OFEV, «Liste des espèces et des milieux prioritaires au niveau national», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, Environnement-Exécution n° 1709, 2019.
93. OFEV (éd.), «Plan de conservation des espèces en Suisse», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, 2012.
94. N. Imesch, R. Spaar et B. Stöckli, «Plan d'action pour la conservation des espèces cibles dans les forêts claires. Guide pour coordonner la conservation des espèces cibles et celle des milieux naturels», InfoSpecies et Groupe de travail Biodiversité en forêt de la SFS, 2020.
95. R. Delarze, Y. Gonseth, S. Eggenberg et M. Vust, «Guide des milieux naturels de Suisse. Ecologie, menaces, espèces caractéristiques», *Librairie Rossolis*, 2015.
96. J. Douda, J. Doudová-Kochánková, K. Boublík et A. Drašnarová, «Plant species coexistence at local scale in temperate swamp forest: test of habitat heterogeneity hypothesis», *Oecologia*, vol. 169, n° 2, p. 523-534, juin 2012.
97. R. Pielech et M. Malicki, «Changes in species composition in alder swamp forest following forest dieback», *Forests*, vol. 9, n° 6, p. 316, juin 2018.
98. L. Remm, P. Lohmus, M. Leis et A. Lohmus, «Long-term impacts of forest ditching on non-aquatic biodiversity: conservation perspectives for a novel ecosystem», *PLoS One*, vol. 8, n° 4, p. e63086, avr. 2013.
99. H. Ellenberg et F. Klötzli, «Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz», Institut fédéral de recherches WSL, 1972.
100. R. Delarze et al., «Liste rouge des milieux de Suisse. Abrégé actualisé du rapport technique 2013», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, 2016.
101. P. Lüscher, M. Frehner, G. Carraro et U. Rutishauser, «Attribution des profils de sols de la base de données WSL aux types de stations forestières selon Nais», Centre de sylviculture de montagne CSM, sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement OFEV, Division Forêts, avr. 2016.
102. I. Bufková, «Report on the restoration of wetlands, springs and streams in a mountain landscape», *Eur. J. Environ. Sci.*, vol. 14, n° 2, p. 105-119, déc. 2024.
103. La Convention sur les zones humides, «Réhumidification et restauration des tourbières: lignes directrices mondiales. Rapport technique Ramsar n° 11», Le Secrétariat de la Convention sur les zones humides, Gland, Suisse, 2021.

104. V. Rowinsky, «Quellmoorrenaturierung Beesenberg (Uckermark, Brandenburg)», *TELMA*, vol. 44, p. 83-114, 2014
105. P. Mollet, «Mesures d'urgence en faveur du Grand Tétrás. Fiche Info Grand Tétrás», Station ornithologique suisse de Sempach, 2002.
106. A. Bring et al., «Effects on groundwater storage of restoring, constructing or draining wetlands in temperate and boreal climates: a systematic review», *Environ. Evid.*, vol. 11, n° 1, p. 1-30, déc. 2022.
107. A. Mazziotta, J. Heilmann-Clausen, H. H. Bruun, Ö. Fritz, E. Aude et A. P. Tøttrup, «Restoring hydrology and old-growth structures in a former production forest: Modelling the long-term effects on biodiversity», *For. Ecol. Manage.*, vol. 381, p. 125-133, déc. 2016.
108. J. Douda, A. Čejková, K. Douda et J. Kochánková, «Development of alder carr after the abandonment of wet grasslands during the last 70 years», *Ann. For. Sci.*, vol. 66, n° 7, p. 712-712, janv. 2009.
109. A. Bönsel, «Schnelle und individuenreiche Besiedlung eines revitalisierten Waldmoores durch *Leucorrhinia pectoralis* (Odonata: Libellulidae)», *Libellula*, Bd. 25, Nr. 3/4, S. 151-157, 2006.
110. S. Dunger, K. Dunger, C. Oertel et N. Wellbrock, «Handlungsempfehlungen und Baumarteneignung auf organischen Böden Ergebnisse aus dem Projekt MoorWald», sept. 2023.
111. A. Anadon-Rosell et al., «Growth and wood trait relationships of *Alnus glutinosa* in peatland forest stands with contrasting water regimes», *Front. Plant Sci.*, vol. 12, p. 788106, 2021.
112. A. Barthelmes et al., «Erlenaufforstung auf wiedervernässten Niedermooren», *ALNUS Leitfaden*. Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Institut für Landschaftsökologie und Botanik, 2005.
113. P. Ammann, «Waldbau auf Nassstandorten», *Zürcher Wald*, vol. 1, p. 4-8, 2021.
114. M. Tulik, A. Grochowina, J. Jura-Morawiec et S. Bijak, «Groundwater level fluctuations affect the mortality of black alder (*Alnus glutinosa* Gaertn.) », *Forests*, vol. 11, n° 2, p. 134, janv. 2020.
115. J. Laganis, A. Pečkov et M. Debeljak, «Modeling radial growth increment of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) tree», *Ecol. Modell.*, vol. 215, n° 1-3, p. 180-189, juill. 2008.
116. Klaus, G. (éd.), «État et évolution des marais en Suisse. Résultats du suivi de la protection des marais», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, État de l'environnement n° 0730, 2007.
117. M. Küchler et al., «Moore der Schweiz: Zustand, Entwicklung, Regeneration», *Haupt Verlag*, 2022.
118. OFEV, «Manuel conservation des marais en Suisse», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, VU-8809-F, 2002.
119. A. Ssymank et al., «Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000. BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitatrichtlinie und der Vogelschutzrichtlinie. Band 2.2: Lebensraumtypen des Grünlandes, der Moore, Sümpfe und Quellen, der Felsen und Schutthalden, der Gletscher sowie der Wälder», 2023.
120. OFEV, «Marais». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.bafu.admin.ch/fr/marais>. [Consulté le 30 août 2024].
121. A. Bergamini et al., «Wirkungskontrolle Biotopschutz Schweiz (WBS): Zustand und Veränderungen in den Biotopen von nationaler Bedeutung nach zwei Erhebungsperioden», *WSL*, 174, 2025.
122. B. Hasch, J. Zeitz, H. Lotsch, V. Luthardt et R. Meier, «A decision support system for management of mires in the forest», dans *Proceedings of the 13th International Peat Congress*, 2008.
123. A. Bergamini et al., «État et évolution des biotopes d'importance nationale : résultats 2011-2017 du contrôle de l'efficacité de la protection des biotopes en Suisse », *Rapports WSL*, vol. 85, p. 104, 2019.
124. J. Hammerich, V. Luthardt et J. Zeitz, «Moorschutz in den Wäldern Brandenburgs», Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, nov. 2022.
125. J. Karaśkiewicz et R. Wójcik, «Modélisation de la rétention d'eau optimale dans les habitats hydrogéniques à l'aide de données laser LIDAR », *Sci. Total Environ.*, vol. 912, n° 168983, p. 168983, févr. 2024.
126. I. Urzainki et al., «Canal blocking optimization in restoration of drained peatlands», *Biogeosciences*, vol. 17, n° 19, p. 4769-4784, oct. 2020.

127. E. Calvar, S. Moncorge, L. Bettinelli, P. Durllet et G. Magnon, «Program LIFE+“Bogs of the Jura”: 60 bogs to restore in six years», Inventory, value and restoration of peatlands and mires: recent contributions, p. 105, 2018.
128. M. J. Mazerolle, M. Poulin, C. Lavoie, L. Rochefort, A. Desrochers et B. Drolet, «Animal and vegetation patterns in natural and man made bog pools: implications for restoration», *Freshw. Biol.*, vol. 51, n° 2, p. 333-350, févr. 2006.
129. M. Vaikre, M. Voode et E. Soomets-Alver, «From shady ditches to artificial pools – Does mire restoration benefit aquatic invertebrates?», *Limnologica*, vol. 104, n° 126141, p. 126141, janv. 2024.
130. P. Tomingas, R. Kont, A. Löhmus et M. Vaikre, «Diversity of small waterbodies sustains aquatic biodiversity in drained forest landscapes», *Hydrobiologia*, p. 1-16, déc. 2024.
131. M. Bernrieder, «Renaturierung von land und forstwirtschaftlich genutzten Hoch und Übergangsmoorflächen», *Laufener Seminarbeiträge*, vol. 1, n° 03, p. 121, 2003.
132. D. Zak et al., «Topsoil removal to minimize internal eutrophication in rewetted peatlands and to protect downstream systems against phosphorus pollution: A case study from NE Germany», *Ecol. Eng.*, vol. 103, p. 488-496, juin 2017.
133. «Biotopes marécageux». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.marais.ch/fr/index.html>. [Consulté le 30 août 2024].
134. K. Marti, B. O. Krüsi, J. Heeb et E. Theis, «Clé de détermination des zones-tampon. Guide pour déterminer des zones-tampon suffisantes du point de vue écologique pour les marais», Office fédéral de l'environnement, des forêts et, du paysage OFEFP, Série L'environnement pratique, 1997.
135. «Ordonnance sur la protection des hauts-marais et des marais de transition d'importance nationale (Ordonnance sur les hauts-marais)», RS 451.32, 21 janv. 1991.
136. Ph. Grosvernier et P. Staubli (éd.), «Régénération des hauts-marais. Bases et mesures techniques», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, L'environnement pratique n° 0918, 2009.
137. C. Schulz, «DSS-WAMOS. Ein Entscheidungsunterstützungssystem für das Management von Waldmooren», Deutsche Bundesstiftung Umwelt en collaboration avec l'Université Humboldt de Berlin et la HNE Eberswalde, DBU23634, 2010.
138. T. Sperle et H. Bruehlheide, «Climate change aggravates bog species extinctions in the Black Forest (Germany)», *Divers. Distrib.*, vol. 27, n° 2, p. 282-295, févr. 2021.
139. F. Essl, S. Dullinger, D. Moser, W. Rabitsch et I. Kleinbauer, «Vulnérabilité des tourbières face au changement climatique : implications pour la conservation de la nature et l'adaptation au changement climatique », *Biodivers. Conserv.*, vol. 21, n° 3, p. 655-669, mars 2012.
140. M. J. Carroll, P. Dennis, J. W. Pearce-higgins et C. D. Thomas, «Maintaining northern peatland ecosystems in a changing climate: effects of soil moisture, drainage and drain blocking on craneflies: MOISTURE AND CRANEFLIES IN PEATLANDS», *Glob. Chang. Biol.*, vol. 17, n° 9, p. 2991-3001, sept. 2011.
141. P. Hedberg, W. Kotowski, P. Saetre, K. Mälson, H. Rydin et S. Sundberg, «Vegetation recovery after multiple-site experimental fen restorations», *Biol. Conserv.*, vol. 147, n° 1, p. 60-67, mars 2012.
142. G. Bertrand et al., «Statistical hydrology for evaluating peatland water table sensitivity to simple environmental variables and climate changes application to the mid-latitude/altitude Frasné peatland (Jura Mountains, France)», *Sci. Total Environ.*, vol. 754, n° 141931, p. 141931, févr. 2021.
143. OFEV, «Zones alluviales». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.bafu.admin.ch/fr/biodiversite>. [Consulté le 24 févr. 2025].
144. OFEV (éd.), «Inventaire des zones alluviales d'importance nationale – État et besoin d'action», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, 2020.

145. I. Ambord et G. Thoms, «Revitalisation des cours d'eau : Planification stratégique Un module de l'aide à l'exécution «Renaturation des eaux». Etat 2023», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, L'environnement pratique, UV-1208-F, 2023.
146. CE, «Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau», *J. offic. Communautés eur.*, L 327, p. 1-72, déc. 2000.
147. Commission européenne, «Direction Règlement sur la restauration de la nature : pour les citoyens, le climat et la planète», Office des publications de l'Union européenne, 2022.
148. «Ordonnance sur la protection des zones alluviales d'importance nationale (Ordonnance sur les zones alluviales)», RS 451.31, 28 oct. 1992.
149. OFEV, «Revitalisation». [En ligne]. Disponible sur : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/valorisation-et-protection-des-eaux/mesures-de-revitalisation.html>. [Consulté le 29 août 2024].
150. OFEV (éd), «Milieux fluviaux – dynamique sédimentaire et connectivité. Recherche axée sur la pratique en matière d'aménagement et d'écologie des cours d'eau», Office fédéral de l'environnement OFEV, Connaissance de l'environnement, Berne, 2023.
151. Plateforme Renaturation, «Revitalisations – de quoi s'agit-il?». [En ligne]. Disponible sur : <https://plattform-renaturierung.ch/fr/revitalisation/revitalisation/revitalisation-de-quoi-sagit-il/>. [Consulté le 15 août 2024].
152. Programme de recherche Aménagement et écologie des cours d'eau, «Programme de recherche Aménagement et écologie des cours d'eau», Rivermanagement. [En ligne]. Disponible sur : <https://rivermanagement.ch/fr/home> [Consulté le 29 août 2024].
153. M. Döring, D. Tonolla et C. T. Robinson, «Künstliches Hochwasser an der Saane: eine Massnahme zum nachhaltigen Auenmanagement», vol. 110, n° 2, p. 119-127, 2018.
154. B. Arheimer, N. Hjerdt et G. Lindström, «Artificially induced floods to manage forest habitats under climate change», *Front. Environ. Sci.*, vol. 6, p. 370007, sept. 2018.
155. C. T. Robinson, G. Consoli et J. Ortlepp, «Importance of artificial high flows in maintaining the ecological integrity of a regulated river», *Sci. Total Environ.*, vol. 882, n° 163569, p. 163569, juill. 2023.
156. E. Mosner, S. Schneider, B. Lehmann et I. Leyer, «Hydrological prerequisites for optimum habitats of riparian Salix communities - identifying suitable reforestation sites », *Appl. Veg. Sci.*, vol. 14, n° 3, p. 367-377, août 2011.
157. R. A. Francis, A. M. Gurnell, G. E. Petts et P. J. Edwards, «Survival and growth responses of *Populus nigra*, *Salix elaeagnos* and *Alnus incana* cuttings to varying levels of hydric stress», *For. Ecol. Manage.*, vol. 210, n° 1-3, p. 291-301, mai 2005.
158. S. Müller-Kroehling et O. Schmidt, «Eschentriebsterben und Naturschutz: 7 Fragen, 7 Antworten», *Anliegen Natur*, vol. 41, n° 1, p. 145-156, 2019.
159. M. M. Gossner et al., «A glimmer of hope - ash genotypes with increased resistance to ash dieback pathogen show cross-resistance to emerald ash borer», *New Phytol.*, vol. 240, n° 3, p. 1219-1232, nov. 2023.
160. S. Henkel et al., «Floodplain forests under stress: how ash dieback and hydrology affect tree growth patterns under climate change», août 2024.
161. I. Machar, M. Schlossarek, V. Pechanec, L. Uradnicek, L. Praus et A. Sivacio lu, «Retention forestry supports bird diversity in managed, temperate hardwood floodplain forests», *Forests*, vol. 10, n° 4, p. 300, avr. 2019.
162. S. Fink et al., «Dynamique et biodiversité des zones alluviales. Dans: Dynamique du charriage et des habitats», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, fiche 5, 2017.
163. G. L. Mackenthun, «The role of *Ulmus laevis* in German floodplain landscapes», *For. Syst.*, vol. 13, n° 1, p. 55-63, avr. 2004.
164. B. Mettendorf, «Die Flatterulme trotz dem Ulmensterben», *FVA-einblick*, vol. 1, p. 30-31, 2019.
165. G. Janssen, «Flatterulmen in Schleswig-Holstein: von der Auenrenaturierung bis zur Umweltbildung», *LWF Wissen*, vol. 83, p. 102-116, 2019.

166. S. Müller-Kroehling, «Die Flatterulme in Bayern–ein Überblick über ihr Vorkommen und Erfahrungen zu Eignung und Verwendung», *LWF Wissen*, vol. 83, p. 19-30, 2019.
167. OFEV (éd.), «Espèces exotiques en Suisse. Aperçu des espèces exotiques et de leurs conséquences. 1re édition actualisée 2022. 1re parution 2006», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, Connaissance de l'environnement n° 2220, 2022.
168. F. Cuny, «Thurauen: Die Entwicklung des Auenwaldes nach der Revitalisierung», *Zürcher Wald*, vol. 1, p. 14-17, 2021.
169. Y. Fragnière et al., «Relict of riparian floodplain forests: Natural distribution and ecology of *Ulmus laevis* in Switzerland», *J. Nat. Conserv.*, vol. 78, n° 126574, p. 126574, mars 2024.
170. M. Li et al., «Greater resistance to flooding of seedlings of *Ulmus laevis* than *Ulmus minor* is related to the maintenance of a more positive carbon balance», *Trees (Berl. West)*, vol. 29, n° 3, p. 835-848, juin 2015.
171. S. Müller-Kroehling, «Krankheiten, Schädlinge und Schäden an der Flatterulme», *LWF Wissen*, vol. 83, p. 19-30, 2019.
172. E. A. Thurm, W. Falk et S. Müller-Kroehling, Die Flatterulme als Alternative bei der Baumarten wahl: Standorts- und Leistungspotenzial», *LWF Wissen*, vol. 83, p. 31-41, 2019.
173. O. Koch, A. L. de Avila, H. Heinen et A. T. Albrecht, «Retreat of major European tree species distribution under climate change–minor natives to the rescue?», *Sustainability*, vol. 14, n° 9, p. 5213, avr. 2022.
174. S. Müller-Kroehling, «Biodiversität an Ulmen, unter besonderer Berücksichtigung der Flatterulme», *LWF Wissen*, vol. 83, p. 49-64, 2019.
175. A. Lenk, S. Waha et C. Wirth, «Elevated tree mortality as a regeneration niche for oak? Testing different management approaches in a meliorated floodplain forest», *For. Ecol. Manage.*, vol. 586, n° 122678, p. 122678, juin 2025.
176. OFEV (éd.), «Biotopes d'importance nationale Vue d'ensemble des cinq inventaires de biotopes: hauts-marais, bas-marais, zones alluviales, sites de reproduction de batraciens ainsi que prairies et pâturages secs», Office fédéral de l'environnement OFEV, UZ-2404-F, 2024.
177. C. Roulier, F. Teuscher et Weber B., «Concept de gestion des forêts alluviales. L'environnement pratique - Recommandations», Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP, Berne, VU-8806-F, 1999.
178. S. C. Jähnig et al., «A comparative analysis of restoration measures and their effects on hydromorphology and benthic invertebrates in 26 central and southern European rivers: Comparative analysis of river restoration measures», *J. Appl. Ecol.*, vol. 47, n° 3, p. 671-680, avr. 2010.
179. A. W. Lorenz, P. Haase, K. Januschke, A. Sundermann et D. Hering, «Revisiting restored river reaches Assessing change of aquatic and riparian communities after five years», *Sci. Total Environ.*, vol. 613-614, p. 1185-1195, févr. 2018.
180. P. Lang et J. Ewald, «Predictive modelling and monitoring of Ellenberg moisture value validates restoration success in floodplain forests», *Appl. Veg. Sci.*, vol. 17, n° 3, p. 543-555, juill. 2014.
181. K. Januschke et al., «Biozönotische Erfolgskontrolle von Renaturierungsmaßnahmen an Gewässerufeln und in Auen», *BfN-Schriften*, vol. 655, 2023.
182. K. Januschke, S. Brunzel, P. Haase et D. Hering, «Effects of stream restorations on riparian mesohabitats, vegetation and carabid beetles», *Biodivers. Conserv.*, vol. 20, n° 13, p. 3147-3164, déc. 2011.
183. K. Januschke, S. C. Jähnig, A. W. Lorenz et D. Hering, «Mountain river restoration measures and their success(ion): Effects on river morphology, local species pool, and functional composition of three organism groups», *Ecol. Indic.*, vol. 38, p. 243-255, mars 2014.
184. W. Rehklau et al., «Synergien bei der Umsetzung von Wasserrahmenrichtlinie und Natura 2000 in Bayern - Lebensräume der Gewässer und Auen gemeinsam aufwerten», *Auenmagazin*, vol. 23, p. 4-12, 2023.

185. M. Roeder et al., «Auwaldbewirtschaftung in unsicheren Zeiten – die Suche nach Baumarten für den Auwald der Zukunft», *Auenmagazin*, vol. 23, p. 43-50, 2023.
186. S. J. Dixon, D. A. Sear et K. H. Nislow, «A conceptual model of riparian forest restoration for natural flood management: Riparian Forest Restoration for NFM», *Water Environ. J.*, vol. 33, n° 3, p. 329-341, août 2019.
187. S. Fink et C. Scheidegger, «Changing climate requires shift from refugia to sanctuaries for floodplain forests», *Landsc. Ecol.*, vol. 36, n° 5, p. 1423-1439, mai 2021.
188. P. Meli, J. M. Rey Benayas, P. Balvanera et M. Martínez Ramos, «Restoration enhances wetland biodiversity and ecosystem service supply, but results are context-dependent: a meta-analysis», *PLoS One*, vol. 9, n° 4, p. e93507, avr. 2014.
189. V. Matzek, S. Warren et C. Fisher, «Incomplete recovery of ecosystem processes after two decades of riparian forest restoration», *Restor. Ecol.*, vol. 24, n° 5, p. 637-645, sept. 2016.
190. K. E. Dybala, K. Steger, R. G. Walsh, D. R. Smart, T. Gardali et N. E. Seavy, «Optimizing carbon storage and biodiversity co benefits in reforested riparian zones», *J. Appl. Ecol.*, vol. 56, n° 2, p. 343-353, févr. 2019.
191. M. Roeder, R. Unseld, A. Reif et G. Egger, «Leitfaden zur Auwaldbewirtschaftung – Eigenschaften der Baumarten, Anbaueignung und Beispiele von Oberrhein und Donau», Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2021.
192. G. Klaus, F. Cordillot, I. Künzle, «Espèces et milieux menacés en Suisse. Synthèse des listes rouges», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, État de l'environnement, UZ-2305-F, 2023.
193. R. Hotzy und J. Römheld, «Aktionsprogramm Quellen in Bayern - Teil 3: Massnahmenkatalog für den Quellschutz», Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2008.
194. P. Stucki, «Protection et revitalisation des sources – Projets et premières expériences», *Aqua viva*, vol. Dossier Sources n° 3, p. 31-34, 2015.
195. E. Contesse et D. Küry, «Les milieux fontinaux en forêt (notice pratique)», Conseil milieux fontinaux, sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement OFEV, 2022.
196. «Conseil milieux fontinaux». [En ligne]. Disponible sur: <https://quell-lebensräume.ch/index.php/fr/> [Consulté le 10 févr. 2025].
197. C. Imesch et D. Küry, «Recommandations pour la conservation des milieux fontinaux (notice pratique)», Conseil milieux fontinaux, sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement OFEV, 2023.
198. J. Biggs, S. Von Fumetti et M. Kelly-Quinn, «The importance of small waterbodies for biodiversity and ecosystem services: implications for policy makers», *Hydrobiologia*, vol. 793, n° 1, p. 3-39, juin 2017.
199. P. H. Zedler, «Vernal pools and the concept of “isolated wetlands”», *Wetlands*, vol. 23, n° 3, p. 597-607, sept. 2003.
200. J. Pellet, «Réaliser des plans d'eau temporaires pour les amphibiens menacés. Guide pratique», Pro Natura, Bâle, Contribution à la protection de la nature en Suisse n° 36., p. 24, 2013.
201. K. Proios, D.-E. Michailidou, M. Lazarina, M. A. Tsianou et A. S. Kallimanis, «Climate and land use changes impact the future of European amphibian functional diversity», *Land*, vol. 13, n° 8, p. 1206, août 2024.
202. E. Soomets, A. Lõhmus et R. Rannap, «Restoring functional forested peatlands by combining ditch-blocking and partial cutting: An amphibian perspective», *Ecol. Eng.*, vol. 192, p. 106968, juill. 2023.
203. J. M. Beadle, L. E. Brown et J. Holden, «Biodiversity and ecosystem functioning in natural bog pools and those created by rewetting schemes: Biodiversity and ecosystem functioning», *WIREs Water*, vol. 2, n° 2, p. 65-84, mars 2015.
204. B. Vági, T. Kovács, R. Bincilí, T. Hartel et B. P. Anthony, «A landscape-level study on the breeding site characteristics of ten amphibian species in Central Europe», *Amphib-reptil.*, vol. 34, n° 1, p. 63-73, janv. 2013.
205. H. Moor et al., «Building pondscapes for amphibian metapopulations», *Conserv. Biol.*, vol. 38, n° 6, p. e14165, déc. 2024.

206. C. Imesch et D. Küry, «Synergie entre la conservation des milieux fontinaux et la promotion des amphibiens (notice pratique)», Conseil milieux fontinaux, sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement OFEV et info fauna karch, 2022.
207. C. Schmid et P. Dermond, «Petits cours d'eau. Rôle écologique et importance pour les poissons», brochure de bureau suisse de conseil pour la pêche FIBER, 2019.
208. S. Durrer, G. Masé et U. Chrétien, « So befreien wir die kleinen Gewässer! Ein Leitfaden zur Ausdolung und Revitalisierung von Kleingewässern in der Gemeinde», Pro Natura Baselland, 2008.
209. F. Witschi, S. Zumbach, M. Mermod et I. Bregenzer, «Drainage respectueux des amphibiens. Fiche pratique sur la protection des espèces», info fauna - karch, août 2024.
210. A.-M. Hekkala, M. Jönsson, S. Kärvmö, J. Strengbom et J. Sjögren, «Habitat heterogeneity is a good predictor of boreal forest biodiversity», *Ecol. Indic.*, vol. 148, n° 110069, p. 110069, avr. 2023.
211. J. Tews et al., «Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures: Animal species diversity driven by habitat heterogeneity», *J. Biogeogr.*, vol. 31, n° 1, p. 79-92, janv. 2004.
212. M. Pabijan et al., « Amphibian decline in a Central European forest and the importance of woody debris for population persistence », *Ecol. Indic.*, vol. 148, n° 110036, p. 110036, avr. 2023.
213. N. J. Rappa, M. Staab, J. Frey, N. Winiger et A.-M. Klein, «Multiple forest structural elements are needed to promote beetle biomass, diversity and abundance», *For. Ecosyst.*, vol. 9, n° 100056, p. 100056, janv. 2022.
214. D. B. Lindenmayer, J. F. Franklin et J. Fischer, «General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation», *Biol. Conserv.*, vol. 131, n° 3, p. 433-445, août 2006.
215. M. G. Floriancic, S. T. Allen, R. Meier, L. Truniger, J. W. Kirchner et P. Molnar, «Potential for significant precipitation cycling by forest floor litter and deadwood», *Ecohydrology*, vol. 16, n° 2, p. e2493, nov. 2022.
216. T. Lachat et al., «Bois mort en forêt. Formation, importance et conservation», Birmensdorf : Institut fédéral de recherches WSL, Notice pour le praticien 52, 2019.
217. Pro Natura, «Du bois «bostryché» qui profite à tous les coléoptères», juill. 2021. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.pronatura.ch/fr/2021/du-bois-bostryche-qui-profite-tous-les-coleopteres>. [Consulté le 21 mars 2025].
218. C. Angst, C. Auberson et C. Nienhuis, «Recensement 2022 du castor en Suisse et au Liechtenstein», info fauna - service conseil castor et Fornat AG, p. 136, 2023.
219. S. Capt, «Liste rouge des mammifères (hors chauves-souris). Espèces menacées en Suisse», Office fédéral de l'environnement OFEV; info fauna - CSCF, L'environnement pratique n° 2202, p. 42, 2022.
220. R. S. Sommer, V. Zahner, et V. Z. & Messlinger, «Der Einfluss des Bibers auf die Artenvielfalt semiaquatischer Lebensräume: Sachstand und Metaanalyse für Europa und Nordamerika», *Naturschutz Landschaftsplan.*, vol. 51, n° 3, p. 108-115, mars 2019.
221. A. Larsen, J. R. Larsen et S. N. Lane, «Dam builders and their works: Beaver influences on the structure and function of river corridor hydrology, geomorphology, biogeochemistry and ecosystems», *Earth Sci. Rev.*, vol. 218, n° 103623, p. 103623, juill. 2021.
222. M. M. Pollock, N. Weber et G. Lewallen, «Chapter 6–Beaver Dam Analogues (BDAs)», dans: *The beaver restoration guidebook. Working with Beaver to Restore Streams, Wetlands, and Floodplains*, Version 2.02., Portland, Oregon: United States Fish and Wildlife Service, 2023, p. 85-99.
223. OFEV, «De l'ordre dans le réseau hydrographique suisse? L'ordre des cours d'eau selon Strahler pour le réseau hydrographique numérique au 1:25'000 de la Suisse», Office fédéral de l'environnement OFEV, 2015.
224. S. Minnig, N. Werdenberg, T. Polli, A. Widmer et C. Angst, «Der Natur abgeschaut: «Beaver Dam Analogs» - Innovative und kostengünstige Revitalisierungsmethode für natürlichere Fließgewässer», *Aqua & Gas*, vol. 4, p. 38-45, 2022.
225. N. Werdenberg et A. Widmer, «Beaver Dam Analogs - Klimaresilienz und Biodiversität für unsere Bäche - facts & figures », *Petit cours d'eau en point de mire*, 3e Forum revitalisation des eaux, Lucerne, nov. 2022.

226. M. Dennis, C. Angst, J. R. Larsen, E. Rey et A. Larsen, «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», *Glob. Ecol. Conserv.*, vol. 56, n° e03304, p. e03304, déc. 2024.
227. L. Remm, M. Vaikre, R. Rannap et M. Kohv, «Amphibians in drained forest landscapes: Conservation opportunities for commercial forests and protected sites», *For. Ecol. Manage.*, vol. 428, p. 87-92, nov. 2018.
228. A. Ulevicius, M. Jasiulionis, N. Jakstiene et V. Zilys, «Morphological alteration of land reclamation canals by beavers (*Castor fiber*) in Lithuania», *Estonian Journal of Ecology*, vol. 58, n° 2, p. 126-141, 2009.
229. R. Rakowska et A. Stachurska-Swakoń, «Consequences of the activities of Eurasian beaver on local plants and vegetation cover – an overview», *Environ. Socio-econ. Stud.*, vol. 11, n° 3, p. 33-42, sept. 2023.
230. A. Zwolicki, «Can beavers canopy alterations affect managed forests more than natural forests?», *For. Ecol. Manage.*, vol. 577, n° 122407, p. 122407, févr. 2025.
231. R. Gawrys, M. Wróbel, O. Hrynyk et K. A. Gabrysiak, «Regeneration of woody plants in beaver inhabited river valleys», Sylwan, 2024.
232. M. J. O Connell, S. R. Atkinson, K. Gamez, S. P. Pickering et J. S. Dutton, «Forage Preferences of the European Beaver *Castor fiber*: Implications for Re-introduction», *Conserv. Soc.*, vol. 6, n° 2, p. 190, 2008.
233. K. Jones, D. Gilvear, N. Willby et M. Gaywood, «Willow (*Salix spp.*) and aspen (*Populus tremula*) regrowth after felling by the Eurasian beaver (*Castor fiber*) : implications for riparian woodland conservation in Scotland», *Aquat. Conserv.*, vol. 19, n° 1, p. 75-87, janv. 2009.
234. K. A. Wilson, A. Law, A. J. Hester, M. J. Gaywood et N. J. Willby, «Tree felling by beaver promotes regeneration in riparian woodlands whilst increasing resource availability for deer», *For. Ecol. Manage.*, vol. 562, n° 121910, p. 121910, juin 2024.
235. E. Juhász, K. Katona, Z. Molnár, I. Hahn et M. Biró, «reintroduced ecosystem engineer species may exacerbate ongoing biological invasion: Selective foraging of the Eurasian beaver in floodplains», *Glob. Ecol. Conserv.*, vol. 24, n° e01383, p. e01383, déc. 2020.
236. E. Juhász, Á. Bede-Fazekas, K. Katona, Z. Molnár et M. Biró, «Foraging decisions with conservation consequences: Interaction between beavers and invasive tree species», *Ecol. Evol.*, vol. 12, n° 5, p. e8899, mai 2022.
237. L. Dalbeck, M. Hachtel et R. Campbell Palmer, «A review of the influence of beaver *Castor fiber* on amphibian assemblages in the floodplains of European temperate streams and rivers», *Herpetological Journal*, vol. 30, p. 135-146, juill. 2020.
238. S. Washko, N. Willby et A. Law, «How beavers affect riverine aquatic macroinvertebrates: a review», *PeerJ*, vol. 10, p. e13180, avr. 2022.
239. S. Minnig et al., «Expert:innenbericht: Einfluss des Bibers auf die Biodiversität – eine Meta-Analyse», Genossenschaft umweltbildner.ch, Berne, 2024.
240. info fauna, «Impact du castor sur la biodiversité», 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.infofauna.ch/fr/conservation/2024_castor-et-biodiversite#gsc.tab=0. [Consulté le 30 janvier 2025].
241. Moser V, Capitani L, Zehnder L, Hürbin A, Obrist M, Ecker K, Boch S, Minnig S, Angst, Ch, Pomati F, Risch A, «Habitat heterogeneity and food availability in beaver-engineered streams foster bat richness, activity and feeding», *J. Anim. Ecol.*, 00, 1-18, sept. 2025.
242. OFEV (éd.), «Plan Castor Suisse. Aide à l'exécution de l'OFEV relative à la gestion du castor en Suisse», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, Environnement-Exécution n° 1612, 2016.
243. K. Prach, G. Durigan, S. Fennessy, G. E. Overbeck, J. M. Torezan et S. D. Murphy, «A primer on choosing goals and indicators to evaluate ecological restoration success», *Restor. Ecol.*, vol. 27, n° 5, p. 917-923, sept. 2019.
244. A. Cupertino, S. Dufour et P. M. Rodríguez-González, «Chasing success: A review of vegetation indicators used in riparian ecosystem restoration monitoring», *Ecol. Indic.*, vol. 166, n° 112371, p. 112371, sept. 2024.

245. C. Fischer et B. Traub, éd., «Swiss national forest inventory – methods and models of the fourth assessment», Cham, Suisse: Springer Nature, 2019.
246. U.-B. Brändli, M. Abegg, C. Duggelin et B. Traub, «Baummikrohabitate im Schweizer Wald und im Buchenurwald Uholka-Schyrokyj Luh», *Schweiz. Z. Forstwes.*, vol. 172, n° 5, p. 286-299, sept. 2021.
247. A. Acloque, L. Larrieu, N. Goux et F. Revers, «Recording tree-related microhabitats to assess riparian forest contribution to biodiversity in landscapes dominated by conifer plantations», *Biol. Conserv.*, vol. 286, n° 110261, p. 110261, oct. 2023.
248. Bütler, F. Krumm et D. Kraus, «Guide de poche des dendromicrohabitats. Description et seuils de grandeur pour leur inventaire dans les forêts tempérées et méditerranéennes. 2e éd.». Birmensdorf: Institut fédéral de recherches WSL, p. 64, 2024.
249. J. Portier et al., «Plot size matters: Toward comparable species richness estimates across plot-based inventories», *Ecol. Evol.*, vol. 12, n° 6, p. e8965, juill. 2022.
250. B. Rohner, R. Wüest Karpati, M. Abegg et J. Portier, «Web-App zur erwarteten Baumartenvielfalt in Abhängigkeit der Waldfläche», *Schweiz. Z. Forstwes.*, vol. 175, n° 5, p. 268-269, août 2024.
251. OFEV (éd.), «Concept pour l'analyse des effets sur la biodiversité en forêt», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, p. 24, 2024.
252. «Ordonnance sur la protection des sites marécageux d'une beauté particulière et d'importance nationale (Ordonnance sur les sites marécageux)» RS 451.35, 1 mai 1966. [En ligne].
253. «Ordonnance sur la protection des bas-marais d'importance nationale (Ordonnance sur les bas-marais)», RS 451.33, 7 sep. 1994.
254. «Ordonnance sur la protection des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale (Ordonnance sur les batraciens, OBat)», RS 451.34, 15 juin 2001.
255. D. Weigerstorfer, «Wälder nasser Standorte - Waldmoore und Auwälder in der Gesamtkonzeption Waldnaturschutz», FVA-einblick, n° 2, p. 14-16, 2016.
256. R. Jöhl, M. Martin, L. Bonnard et C. Huber, «Des solutions adéquates pour la biodiversité dans des situations complexes. Guide», Infohabitat sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement OFEV, 2020.
257. 257. OFEV, «Liste des espèces suisses prioritaires au niveau national. Espèces prioritaires pour la conservation en Suisse (État 2022)», Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, L'environnement pratique n° 2558, 2025.



Promouvoir la biodiversité en restaurant les forêts humides

Centre de Synthèse sur la Biodiversité

Adresse

Institut fédéral de recherche WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
044 739 28 97
info@wsl.ch
www.synthesebiodiv.ch

ETH zürich



eawag
aquatic research