Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau

Macrophytes – niveau R (région) et niveau C (cours d'eau)
Version pour la mise en consultation

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Impressum

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Auteurs

Barbara Känel	*Service des déchets, de l'eau, de l'énergie et de l'air du canton de Zurich (AWEL ZH)*
Christian Michel	*Eawag : L'Institut de recherche de l'eau du domaine des EPF*
Peter Reichert	*Eawag : L'Institut de recherche de l'eau du domaine des EPF*

Photos

AWEL ZH, Eawag, membres du groupe d'accompagnement

Groupe d'accompagnement

Katrin Guthruf	*Office des eaux et des déchets du canton de Berne*
Daniel Küry	*Life Science AG, Bâle*
Adrian Möhl	*Info Flora, Berne*
Pascal Mulattieri	*Biol'Eau Sàrl*
Niklaus Müller	*Forschungsstelle für Umweltbeobachtung, Rapperswil*
Ernst Roth	*AquaPlus AG, Zoug*
Sabine Zeller	*Office fédéral de l'environnement*

Remerciements

Manuel de cartographie 2009 : Christine Weber, Werner Göggel, Alain Demierre, Fredy Elber, Vinzenz Maurer, Jean Perfetta, Ulrich Sieber, Kurt Wächter, Simone D. Langhans

Problématiques spécifiques : Regula Billeter, Francis Cordillot, Pascale Derleth-Sartori, Stefan Eggenberg, Brigitte Lods-Crozet, Stephan Lussi, Lionel Sager, Emilie Sandoz, Jaqueline Schlosser, Arno Schwarzer

Référence bibliographique

Känel, B., Michel, C., Reichert, P. 2017 : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Macrophytes – niveau R (région) et niveau C (cours d'eau). Projet. Office fédéral de l'environnement, Berne. 118 p.

Valeur juridique

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEV en tant qu'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise les exigences du droit fédéral de l'environnement (notions juridiques indéterminées, portée et exercice du pouvoir d'appréciation) et favorise ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe que leurs décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions sont aussi licites dans la mesure où elles sont conformes au droit en vigueur.

La présente méthode n'est pas définitive. Elle sera testée dans la pratique et adaptée en conséquence.

Photo de couverture

Chriesbach Dübendorf

Téléchargement au format PDF

http://www.modul-stufen-konzept.ch/fg/module/wasserpflanzen/index_FR (il n'est pas possible de commander une version imprimée)

Cette publication est également disponible en allemand. La langue originale est l'allemand.

© OFEV 2018

Table des matières

1	**Introduction**		**9**
	1.1	Le système modulaire gradué	9
	1.2	Bases légales	9
	1.3	Appréciation des cours d'eau à l'aide des macrophytes	10
2	**Degré de menace et écologie des macrophytes**		**15**
	2.1	Degré de menace des macrophytes	15
	2.1.1	Plantes vasculaires menacées	15
	2.1.2	Bryophytes menacées	16
	2.1.3	Algues menacées	17
	2.2	Écologie des macrophytes	17
	2.2.1	Conditions de lumière	18
	2.2.2	Courant	19
	2.2.3	Substrat	19
	2.2.4	Chimie de l'eau	19
	2.2.5	Facteurs biotiques	20
	2.3	Formes de croissance des macrophytes	21
3	**But, champ d'application et exigences de la méthode**		**27**
	3.1	Objectifs généraux	27
	3.2	But et problématique de la méthode aux niveaux R et C	27
	3.3	Champ d'application et limites de la méthode	28
	3.4	Exigences de la méthode	29
4	**Exécution des relevés**		**31**
	4.1	Généralités	31
	4.2	Préparation des relevés de terrain	31
	4.3	Détermination des tronçons d'étude sur le terrain	32
	4.4	Liste des taxons	32
	4.4.1	Étendue de la liste des taxons	32
	4.4.2	Classification des taxons selon leur déterminabilité	33
	4.5	Taxons considérés, niveau de détermination et conservation du matériel végétal	34
	4.5.1	Plantes vasculaires	34
	4.5.2	Bryophytes	35
	4.5.3	Characées	35
	4.5.4	Algues vertes filamenteuses ou en coussinets	35
	4.6	Cartographie de la végétation	36
	4.7	Cartographie des conditions stationnelles	41
	4.8	Rassemblement des données brutes	49
5	**Typification**		**51**
	5.1	Généralités	51
	5.2	But de la typification	51
	5.3	Développement de la typologie	52
	5.4	La typification et ses limites	52
	5.4.1	Produits finaux de la typification et représentation des résultats	55
	5.5	Les types de cours d'eau définis par la végétation	56
	5.5.1	Les types à submergées (PS, MS, GS, TGS)	57
	5.5.2	Les types à hélophytes (PH, MH)	61
	5.5.3	Les types à bryophytes (PB, MB, GB, TGB)	63
	5.5.4	Les types de transition à submergées et hélophytes (PS-PH, MS-MH)	65

5.5.5 Les types de transition à hélophytes et bryophytes (PH-PB, MH-MB) 68
5.5.6 Les types pauvres en végétation (PV) 70
6 Évaluation 73
6.1 Généralités 73
6.2 Principes d'évaluation 73
6.3 Développement de l'évaluation 74
6.4 Hiérarchie des objectifs 74
6.5 Évaluation 78
6.5.1 Mise au net des données sur les taxons 78
6.5.2 Évaluation à l'aide de la hiérarchie d'objectifs et des fonctions de valeur 79
6.5.3 Produits finaux de l'évaluation et représentation des résultats 80
7 Contrôle de vraisemblance 81
7.1 Généralités 81
7.2 Vérification de la vraisemblance 81
7.2.1 Règles fixées pour le contrôle de vraisemblance 82
7.2.2 Justifications d'un changement du type ou de l'évaluation 83
7.2.3 Appréciation finale par le collaborateur de terrain 87
7.3 Produits finaux 88
Anhang 91
A1 Jeu de données Suisse 91
A2 Matériel pour le relevé de terrain 92
A3 Fiche de relevé Macrophytes – page 1 93
A4 Ouvrages de détermination 95
A5 Taxons de macrophytes fréquents : plantes vasculaires 97
A6 Taxons de macrophytes fréquents : bryophytes 98
A7 Comparaison des caractéristiques de la végétation des tronçons de référence avec celles des tronçons les plus perturbés 99
A8 Objectifs d'évaluation et attributs des nœuds terminaux 100
A9 Fonctions de valeur pour les objectifs du niveau inférieur (« nœuds terminaux ») 105
A10 Fonctions d'agrégation pour l'évaluation des objectifs supérieurs 111
A11 Produit final : fiche sur le site 115
Annexes numériques 120
DA1 Liste des taxons 120
DA2 Feuilles de saisie pour le rassemblement des données sur le site et les espèces 120
DA3 Outil informatique pour la typification, l'évaluation et le contrôle de vraisemblance, y compris guide d'utilisation et documentation sur les produits finaux 120
DA4 Explication sur les écarts types et les marges d'erreur des paramètres stationnels et limites de classes utilisées pour la typification 120
DA5 Caractérisation des types de cours d'eau définis par la végétation à l'aide de tronçons de référence et de tronçons perturbés 120
DA6 Comparaison des paramètres stationnels, des caractéristiques de la végétation et des paramètres de nuisance d'origine anthropique entre les tronçons de référence et les tronçons les plus fortement perturbés par les activités humaines 120

Résumé

Mots clés :
système modulaire gradué, niveaux R et C, appréciation des eaux, typification, macrophytes

Le système modulaire gradué (SMG) prévoit la mise au point de méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau dans les domaines « Hydrodynamique et morphologie », « Chimie et écotoxicologie » et « Biologie ». Ces méthodes s'articulent en deux niveaux, qui se différencient par l'intensité et l'échelle spatiale des investigations menées. La présente publication décrit la marche à suivre pour relever et apprécier la végétation aquatique des cours d'eau sur une aire géographique étendue (niveau R) ou, au moyen d'un réseau de mesure à plus haute résolution, dans un hydrosystème choisi (niveau C). La cartographie des tronçons de cours d'eau présentant des conditions stationnelles homogènes consiste à relever l'ensemble des plantes vasculaires, des characées, des bryophytes et des algues vertes filamenteuses ou en coussinets sur le fond du lit. Quant à la végétation riveraine, seules les espèces ayant leur aire de répartition principale dans la zone de rive inondée régulièrement sont prises en considération. Les tronçons de cours d'eau sont attribués sur la base de facteurs stationnels abiotiques (ombrage, pente, débit, profondeur de l'eau et nature du substrat) à un des six types de cours d'eau définis par leur végétation et présentant des classes de débit différentes. La végétation est ensuite évaluée pour le type spécifique de cours d'eau, par comparaison entre l'état actuel et un état de référence, le plus proche possible de l'état naturel. Axée sur les objectifs écologiques fixés dans l'annexe 1 de l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), l'évaluation se fait en cinq classes au moyen de hiérarchies d'objectifs et de fonctions de valeur spécifiques aux types de cours d'eau. Les paramètres considérés sont la diversité (nombre d'espèces et de formes de croissance conformes au type), la composition (proportions des formes de croissance conformes au type et des néophytes ainsi que structure de dominance) et la biomasse (recouvrement absolu des macrophytes supérieurs et des algues). Cette appréciation de l'écologie aquatique est complétée par une évaluation du point de vue de la protection de la nature, fondée sur le niveau de priorité national des espèces présentes, et du point de vue de la contribution de ces espèces à la biodiversité, basée sur les valeurs guides. La typification et l'évaluation, effectuées par un outil électronique, sont suivies d'un contrôle de vraisemblance des résultats. Les produits finaux sont, d'une part, des tables de données contenant toutes les informations sur les tronçons d'étude cartographiés et, d'autre part, une compilation des principales informations par tronçon.

Avant-propos

Le présent projet de méthode indique comment étudier et apprécier l'état des macrophytes dans les cours d'eau suisses, au niveau d'une région (niveau R) ou d'un hydrosystème (niveau C). Le terme de macrophytes désigne l'ensemble des plantes aquatiques visibles à l'œil nu. Étant généralement inféodées à une station et pluriannuelles, ces plantes reflètent sur le long terme la totalité des facteurs ambiants qui les influencent. Alors que de nombreux pays européens utilisent depuis longtemps les macrophytes pour surveiller la qualité de leurs eaux, la Suisse n'en est qu'à ses débuts. On sait donc encore peu de choses sur la répartition des macrophytes, dont plus de la moitié figurent sur la Liste rouge des plantes vasculaires menacées.
Le présent guide pose la première pierre d'une méthode harmonisée d'appréciation des cours d'eau à l'aide de leur végétation aquatique et permet également de suivre leur évolution. En outre, il contribue à faire mieux connaître la répartition d'espèces caractéristiques des cours d'eau, ainsi que d'espèces menacées et prioritaires.
Ce guide est un premier jet, et c'est désormais aux utilisateurs d'en tester l'applicabilité. Après une phase d'essai d'un à deux ans, les réactions seront recueillies, le document sera remanié, puis publié.

1 Introduction

1.1 Le système modulaire gradué

Les multiples fonctions des eaux de surface

Les plans et les cours d'eau de Suisse font partie intégrante d'un paysage voué à des usages variés et intensifs. Entourés de zones habitées, de terres agricoles et de routes, ils servent à produire de l'énergie, ils sont endigués pour assurer la protection contre les crues et ils absorbent les eaux usées traitées par les stations d'épuration. Ces utilisations influent sur les multiples fonctions des cours d'eau, qui servent non seulement d'habitat pour une faune et une flore diversifiées, mais fournissent aussi des prestations écosystémiques importantes pour la population, comme l'approvisionnement en eau potable ou la rétention des crues.

Appréciation globale des eaux

Alors qu'autrefois la protection des eaux consistait avant tout à réduire la pollution chimique, aujourd'hui, c'est le principe global de protection des eaux en tant qu'écosystèmes qui prévaut. Pour assurer une protection intégrale des eaux, il importe de connaître parfaitement leur état : il ne suffit pas d'effectuer une analyse chimique de l'eau, il faut également examiner la structure et les conditions d'écoulement des cours d'eau, ainsi que les communautés d'animaux, de végétaux et de micro-organismes. Le système modulaire gradué (SMG) sert de cadre à cette analyse globale des cours d'eau et à leur appréciation[1].

Structure du système modulaire gradué

Dans le cadre du SMG, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) élabore, en collaboration avec l'Eawag et les services cantonaux, des méthodes permettant d'analyser et d'apprécier de façon harmonisée l'état des cours d'eau en Suisse. Ces méthodes couvrent les aspects physico-chimiques, hydromorphologiques, biologiques et écotoxicologiques de la qualité des eaux. Elles s'articulent en deux niveaux, qui se différencient par l'intensité et l'échelle spatiale des investigations menées :

- *Région (niveau R) :* analyses à grande échelle, peu approfondies, donnant une vue d'ensemble de la répartition des organismes et de l'état des biocénoses sur une aire géographique étendue. Ces analyses visent à faire apparaître les déficits biologiques et la nécessité de procéder à des analyses plus poussées.
- *Cours d'eau (niveau C) :* analyses détaillées d'hydrosystèmes choisis au sein d'un bassin versant et interprétation différenciée des résultats obtenus par comparaison avec un état de référence non perturbé (conditions de référence proches de l'état naturel).

Le projet initial prévoyait également la mise au point de méthodes standardisées permettant de traiter des problèmes spécifiques à certains tronçons de cours d'eau (niveau T – tronçons). Ce niveau a toutefois été laissé de côté, car dans ce type de cas les approches à adopter varient en fonction du projet à étudier.

1.2 Bases légales

La loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux ; RS 814.20) a pour but de protéger les eaux contre toute atteinte nuisible, en particulier, de les sauvegarder en tant que biotopes naturels abritant la faune et la flore indigènes, eaux piscicoles et élément du paysage (art. 1 LEaux). L'ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux ; RS 814.201) définit entre autres des objectifs

[1] Liechti, P. et al. 1998 : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Système modulaire gradué. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. L'environnement pratique, Informations concernant la protection des eaux n° 26 : 41 p. www.modul-stufen-konzept.ch

écologiques pour les eaux superficielles (annexe 1 OEaux) et des exigences relatives à la qualité des eaux (annexe 2 OEaux).

Objectifs écologiques pour les eaux superficielles

Les communautés animales, végétales et de micro-organismes (biocénoses) des eaux superficielles et de l'environnement que celles-ci influencent doivent être d'aspect naturel et typiques de la station, pouvoir se reproduire et se réguler d'elles-mêmes, ainsi que présenter une composition et une diversité d'espèces spécifiques à chaque type d'eau peu ou non polluée (annexe 1, ch. 1, al. 1, OEaux).

Obligation d'analyser et d'apprécier l'état des cours d'eau

La LEaux exige que la Confédération et les cantons informent le public sur la protection des eaux et sur l'état de celles-ci (art. 50 LEaux). Pour ce faire, les autorités doivent disposer de connaissances exhaustives sur les rapports entre l'état des eaux et les facteurs qui le déterminent. L'exécution de la législation sur la protection des eaux requiert elle aussi une analyse détaillée de l'état des eaux. Voilà pourquoi l'art. 57, al. 1, et l'art. 58, al. 1, LEaux obligent respectivement la Confédération et les cantons à effectuer des relevés ciblés, en particulier pour documenter l'état écologique des eaux. La présente publication propose une méthode permettant de contrôler si la végétation aquatique est conforme aux objectifs écologiques visés.

1.3 Appréciation des cours d'eau à l'aide des macrophytes

Macrophytes – définition

Selon la norme européenne EN 14184[2], le terme de « macrophytes » désigne l'ensemble des végétaux aquatiques visibles à l'œil nu, dont les plantes vasculaires, les bryophytes et les algues macroscopiques.

Utilisation des macrophytes comme indicateurs biologiques

Les indicateurs biologiques permettant d'apprécier l'état des eaux sont essentiels au suivi des mesures de protection des eaux. Étant généralement inféodées à une station et pluriannuelles, les plantes aquatiques reflètent sur le long terme la totalité des facteurs ambiants qui les influencent. Cela est vrai non seulement pour la qualité de l'eau, mais aussi pour les conditions morphologiques et hydrologiques ainsi que pour les processus dynamiques dans le cours d'eau. La biocénose qui peuple un cours d'eau offre donc une bonne représentation de l'état général de l'écosystème aquatique et peut servir d'instrument de surveillance intégrée de l'état écologique du cours d'eau[3, 4].

Les indicateurs biologiques intègrent les effets des nuisances les plus diverses

Le point fort des indicateurs biologiques, à savoir la mise en évidence des effets des nuisances *les plus diverses* sur les biocénoses, a toutefois pour revers qu'il est difficile de dégager des conclusions sur chaque facteur pris séparément. Si la végétation aquatique se trouve dans un bon état, c'est signe que les activités humaines ont peu perturbé les conditions stationnelles et les processus importants pour les plantes dans le cours d'eau. Si par contre elle semble détériorée, il est souvent difficile de savoir si c'est en raison de la morphologie, du régime des eaux ou de la qualité de l'eau. Il faut combiner les observations avec les résultats d'autres analyses pour établir les rapports de cause à effet. Une appréciation globale de l'état des eaux associe donc les méthodes d'évaluation directe et les analyses chimiques avec des indicateurs biologiques.

---

2 CEN : EN 14184 2014 : Qualité de l'eau – Guide pour l'étude des macrophytes aquatiques dans les cours d'eau. Bruxelles. https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0::::FSP_PROJECT,FSP_ORG_ID:36147,6211&cs=1F1BAB0D3174537208608E2DE93403B2E

3 Fennessy, S. et al. 2015 : Biological indices based on macrophytes : an overview of methods used in Catalonia and the USA to determine the status of rivers and wetlands, in : Experiences from surface water quality monitoring. Springer International Publishing : 81-99.

4 Schneider, S. et al. 2016 : The "forgotten" ecology behind ecological status evaluation : Reassessing the roles of aquatic plants and benthic algae in ecosystem functioning, in : Progress in Botany, 78. Lüttge, U., Cánovas, F.M. et Matyssek, R. : 285-304.

Méthodes d'analyse des cours d'eau en Europe

De nombreux pays européens font depuis longtemps recours aux macrophytes pour surveiller la qualité de leurs eaux. Dans la Directive-cadre sur l'eau (DCE) de l'Union européenne, les macrophytes sont considérés comme l'un des quatre éléments de qualité biologiques avec les poissons, le macrozoobenthos et le phytobenthos. Dans le cadre du contrôle de surveillance (« surveillance monitoring »), ils sont relevés régulièrement afin de noter l'évolution de l'état des eaux à long terme. La DCE exige une évaluation de chaque élément de qualité biologique, par comparaison de leur état actuel à une communauté de référence proche de l'état naturel et caractéristique du type de cours d'eau.

Il n'existe aucune méthode européenne commune d'évaluation des macrophytes, mais toute une série d'approches conformes à la DCE (pour la Grande-Bretagne[5], l'Allemagne[6] ou l'Autriche[7], p. ex.). Une intercalibration des différentes méthodes d'évaluation permet cependant de comparer les résultats au niveau international. La Suisse a besoin d'une méthode comparable d'évaluation biologique des cours d'eau qui lui permette de replacer la situation de ses cours d'eau dans le cadre européen.

Répartition des macrophytes en Suisse

Jusqu'ici, il n'existait aucune méthode d'analyse et d'évaluation de la végétation aquatique des cours d'eau pour la Suisse. Contrairement à de nombreux pays européens où les macrophytes font partie intégrante d'une multitude de programmes de surveillance[8], les services cantonaux n'ont guère relevé les macrophytes lors des contrôles de routine des cours d'eau effectués jusqu'à aujourd'hui. Seuls les cantons de Zurich[9, 10, 11] et de Genève[12] disposent de grands jeux de données et les mettent en valeur à l'aide de leur propre méthode d'évaluation. Les macrophytes ont également été pris en considération dans les analyses biologiques coordonnées menées sur l'Aar et le haut Rhin[13]. Plus récemment sont venues s'ajouter les analyses de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA)[14]. En dehors de ces travaux, la répartition actuelle et passée des macrophytes dans les cours d'eau suisses est encore mal connue. On manque notamment d'informations sur la population macrophytique

5 UKTAG 2014 : River Assessment Methods : Macrophytes and Phytobenthos – Macrophytes (LEAFPACS v2.0). Water Framework Directive – United Kingdom Technical Advisory Group : 27 p.

6 Van de Weyer, K. 2015 : NRW-Verfahren zur Bewertung von Fließgewässern mit Makrophyten – Fortschreibung und Metrifizierung. LANUV-Arbeitsblatt 30. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf : 141 p. www.lanuv.nrw.de

7 Pall, K. et Maierhofer, V. 2013 : Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente. Teil A4 – Makrophyten. Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) : 65 p.

8 Birk, S. et al. 2012 : Three hundred ways to assess Europe's surface waters : an almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. Ecological Indicators, 18 : 31-41.

9 Egloff, F.G. 1977 : Wasserpflanzen des Kantons Zürich : die heutige Verbreitung und jüngste Geschichte der aquatischen Angiospermen. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 122 : 1-140.

10 AWEL 2006 : Wasserqualität der Seen, Fliessgewässer und des Grundwassers im Kanton Zürich. Statusbericht 2006. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL).

11 AWEL 2012 : Zürcher Gewässer 2012 : Entwicklung – Zustand – Ausblick. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL).

12 GREN 2003 : Étude de la végétation rivulaire des cours d'eau genevois. Mandat du Service de l'écologie de l'eau (DT – Genève).

13 Rey, P. et al. 2016 : Koordinierte biologische Untersuchungen an Hochrhein und Aare 2001 bis 2013. Zusammenfassender Kurzbericht. Office fédéral de l'environnement, Berne. État de l'environnement n° 1619 : 72 p.

14 OFEV 2013 : NAWA – Observation nationale de la qualité des eaux de surface. Cours d'eau. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1327 : 72 p.

des cours d'eau non influencés par les activités humaines, qui pourraient servir de tronçons de référence.

Guide pour le prélèvement et comparaison des méthodes

En 2009, l'OFEV a élaboré en collaboration avec l'Eawag et les services cantonaux un guide pour le prélèvement d'échantillons destiné aux relevés des macrophytes[15]. Ce document constitue une base méthodologique permettant de réaliser les analyses futures en suivant une procédure standardisée. En parallèle, les quatre approches développées respectivement en Allemagne[6], en Autriche[7], en France[16] et dans le canton de Zurich[17] ont été comparées[18]. C'est finalement l'approche du canton de Zurich qui a été retenue pour servir de base à l'élaboration d'une méthode applicable dans tout le pays.

Nouvelle méthode standardisée pour la Suisse

Les instructions pour le prélèvement de 2009[15] et la méthode d'évaluation du canton de Zurich[17] ont été fusionnées, remaniées et complétées. La présente méthode propose désormais une procédure standardisée pour la cartographie et l'évaluation des macrophytes dans les cours d'eau. Elle se décompose en neuf étapes (Figure 1).

15 OFEV 2009 : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Macrophytes : Instructions pour le prélèvement d'échantillons. Office fédéral de l'environnement, Berne : 60 p.

16 AFNOR NF T90-395 2003 : Qualité de l'eau – Détermination de l'indice biologique macrophytes en rivière (IBMR). Association française de normalisation (AFNOR), Paris : 28 p.

17 Känel, B. 2010 : Methode zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässervegetation im Kanton Zürich. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Baudirektion Kanton Zürich : 102 p.

18 GREN 2008 : Auswertung und Bewertung Minimaldatensatz Makrophyten. Rapport interne.

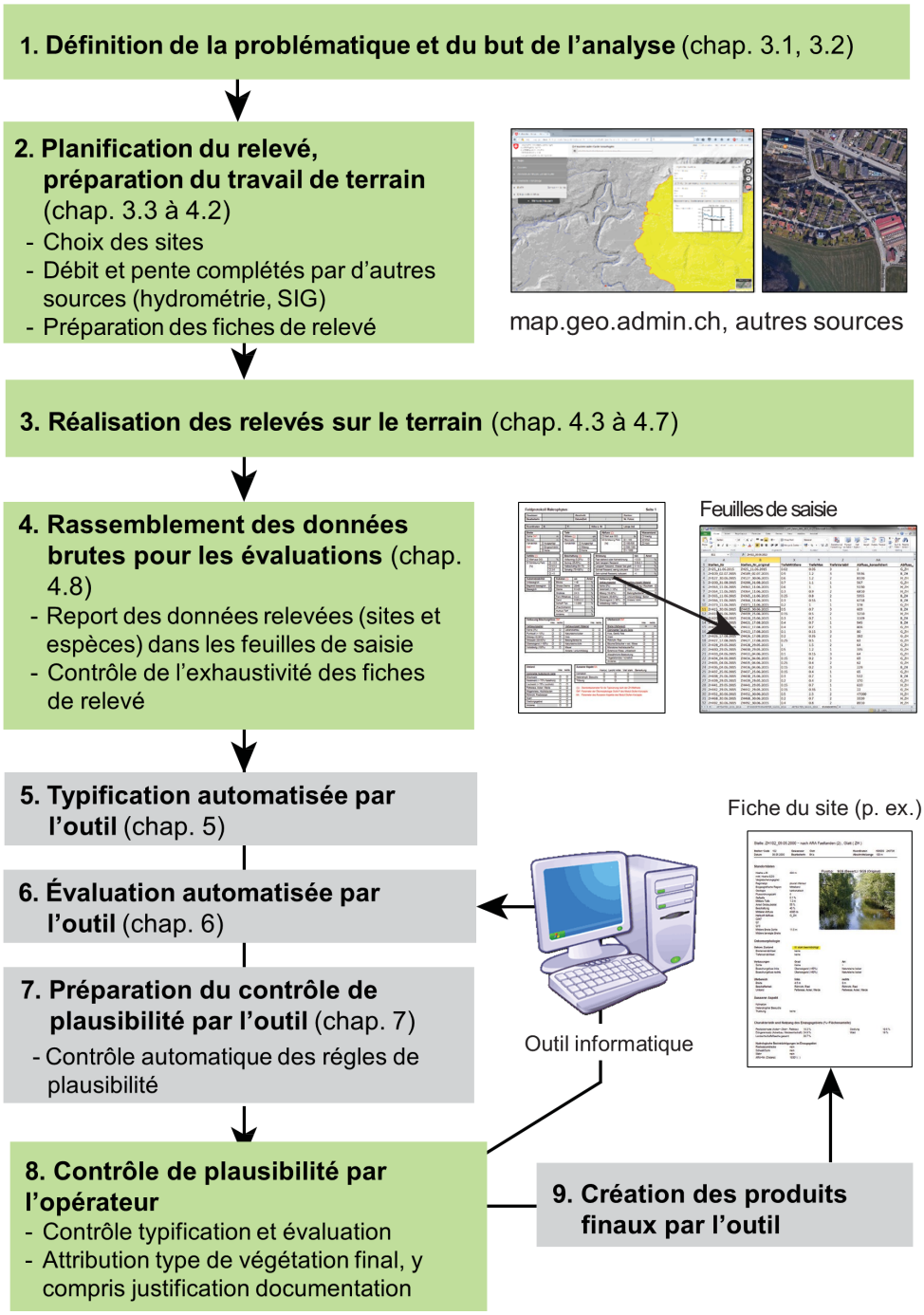


Figure 1 **Vue d'ensemble de la procédure pour l'étude des macrophytes. Les étapes surlignées en vert sont exécutées par des personnes, les étapes surlignées en gris par un outil informatique.**

Annexe numérique au guide méthodologique

Le présent guide méthodologique est complété par une annexe numérique comprenant les éléments suivants :

- DA1 Liste des taxons fixant les taxons considérés et le niveau de détermination requis, et donnant des indications sur la détermination, les exigences écologiques, le degré de menace/la priorité et la contribution des espèces à la biodiversité (valeurs guides) ;
- DA2 Feuilles de saisie pour le rassemblement des données sur le site d'étude et les espèces consignées sur les fiches de relevé. Seules les données ainsi rassemblées pourront ensuite être entrées dans l'outil informatique en vue de la typification et de l'évaluation ;
- DA3 Outil informatique pour la typification automatique, l'évaluation et le contrôle de vraisemblance, comprenant également un guide d'utilisation et de la documentation sur les produits finaux ;
- DA4 Explication sur les écarts types et les marges d'erreur des paramètres stationnels et limites de classes utilisées pour la typification ;
- DA5 Caractérisation des types de cours d'eau définis par la végétation à l'aide d'un choix de tronçons de référence et de tronçons perturbés : table des valeurs statistiques pour les paramètres stationnels, les caractéristiques de la végétation et les paramètres de nuisance d'origine anthropique ;
- DA6 Comparaison des paramètres stationnels, des caractéristiques de la végétation et des paramètres de nuisance d'origine anthropique entre les tronçons de référence et les tronçons fortement perturbés par les activités humaines.

2 Degré de menace et écologie des macrophytes

2.1 Degré de menace des macrophytes

2.1.1 Plantes vasculaires menacées

Proportion élevée d'espèces menacées dans les milieux caractérisés par la présence d'eau

Près de 53 % des plantes vasculaires présentes dans les eaux libres (eaux calmes et courantes, sources et suintements) et 65 % des plantes vasculaires peuplant les rives des eaux calmes et courantes sont menacées et figurent dans la Liste rouge des plantes vasculaires menacées en Suisse[19]. La proportion d'espèces menacées est donc nettement plus élevée dans les milieux naturels caractérisés par la présence d'eau qu'ailleurs (Figure 2).

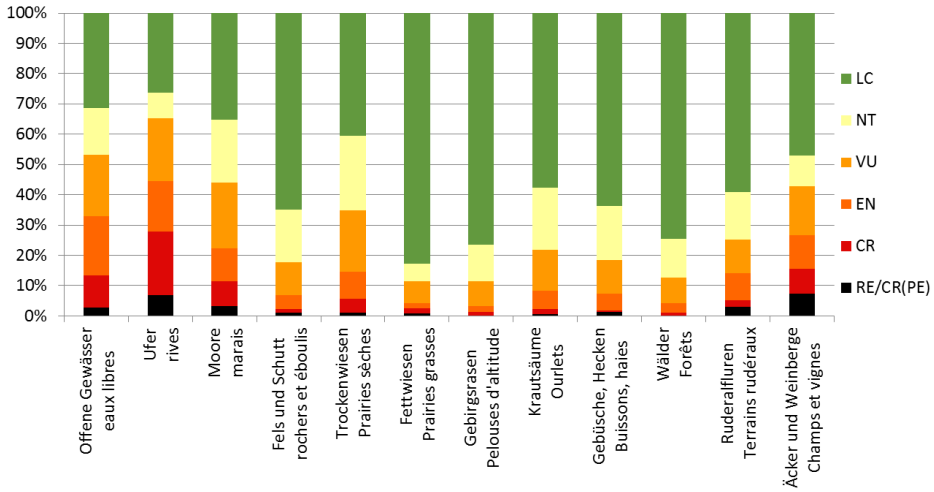


Figure 2 **Pourcentage des catégories de menace par groupe de milieux naturels[19]. Les « pourcentages Liste rouge » correspondent à la somme de RE/CR(PE), CR, EN et VU.**

LC : non menacé (least concern)
NT : potentiellement menacé (near threatened)
VU : vulnérable (vulnerable)
EN : en danger (endangered)
CR : au bord de l'extinction (critically endangered)
RE/CR(PE) : éteint ou disparu en Suisse

Des espèces menacées dans tous les milieux naturels

De nombreuses espèces menacées ont pour habitat des eaux avec végétation immergée vasculaire (Potamion), des eaux avec végétation flottante libre (Lemnion) et des eaux avec végétation flottante fixée (Nymphaeion). Parmi les plantes riveraines, les espèces les plus menacées sont de grandes annuelles nitrophiles (Bidention) et les espèces qui forment la végétation temporaire des grèves (Littorellion). Plus de la moitié des espèces composant les roselières terrestres des fossés et des berges de rivières ou de ruisseaux (Phalaridion) et les roselières lacustres (Phragmition) sont également considérées comme menacées. Seule la végétation des rives d'eau courante (Glycerio-Sparganion) est un peu moins menacée que les végétations riveraines précitées, même si les peuplements riches en espèces se sont raréfiés.

[19] Bornand, C. et al. 2016 : Liste rouge Plantes vasculaires. Espèces menacées en Suisse. Office fédéral de l'environnement, Berne et Info Flora, Genève. L'environnement pratique n° 1621 : 178 p.

Les activités humaines portent atteinte à l'habitat des plantes aquatiques

La forte menace qui pèse sur les plantes vasculaires inféodées au milieu aquatique résulte de la disparition et de la fragmentation de leur habitat au cours des dernières décennies, à mesure de l'aménagement, de la rectification et de la correction des cours d'eau suisses. Les habitats aquatiques comptent ainsi parmi les milieux naturels les plus menacés de Suisse[20]. Par ailleurs, les variations des niveaux d'eau, dont dépend la survie de nombreuses espèces, sont devenues insignifiantes dans les lacs souvent régulés et dans les grandes rivières, ce qui a contribué à la régression des espèces. En outre, les espèces tributaires d'un environnement pauvre en nutriments ont disparu de la quasi-totalité des milieux naturels. Ce constat concerne tout particulièrement les eaux du Plateau, qui représentent la principale aire de répartition de nombreuses plantes aquatiques supérieures.

Transmission des observations à Info Flora

La liste rouge des plantes vasculaires est mise à jour régulièrement. La base de données ad hoc est gérée par le Centre national de données et d'informations sur la flore suisse (Info Flora). Étant donné que les observations de plantes aquatiques sont encore nettement moins nombreuses que celles des autres groupes de végétaux, il importe d'annoncer toutes les occurrences. Un formulaire électronique (carnet en ligne) permet de transmettre directement les observations via Internet[21].

2.1.2 Bryophytes menacées

Bryophytes aquatiques relativement peu menacées

Près de 38 % des 1093 taxons de bryophytes (anthocérotes, hépatiques et mousses) recensés en Suisse sont menacés et figurent dans la Liste rouge des bryophytes menacées en Suisse[22]. Par manque de données, 98 espèces n'ont pas pu être catégorisées. La proportion des espèces menacées varie selon la classe d'habitat (Figure 3) : les pelouses sèches et les sols ouverts tels que les champs affichent les plus forts pourcentages d'espèces menacées (respectivement 71 % et 49 %). En revanche, les zones humides (marais et cours d'eau) abritent une proportion relativement faible d'espèces menacées (33 %). La liste rouge ne fait pas explicitement état des bryophytes aquatiques, mais 30 % des taxons considérés dans le cadre de la présente méthode y sont inscrits.

Transmission des observations à Swissbryophytes

La liste rouge des bryophytes est mise à jour régulièrement. La base de données est gérée par le Centre national de données et d'informations sur les bryophytes de Suisse (Swissbryophytes)[23], qui enregistre toutes les observations. Celles-ci peuvent aussi être transmises directement via Internet à l'aide d'un formulaire électronique[21].

---

20 Delarze, R. et al. 2016 : Liste rouge des milieux de Suisse. Abrégé actualisé du rapport technique 2013 sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, Berne : 33 p. https://www.infoflora.ch/fr/assets/content/documents/download/CH_LR_Milieux_2016.pdf

21 https://obs.infoflora.ch/app/observations/fr/index.html

22 Schnyder, N. et al. 2004 : Liste rouge des bryophytes menacées en Suisse. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne ; Bureau de recherche pour l'observation de l'environnement, Rapperswil ; Inventaire de la flore muscinale de Suisse. L'environnement pratique : 100 p.

23 http://www.swissbryophytes.ch

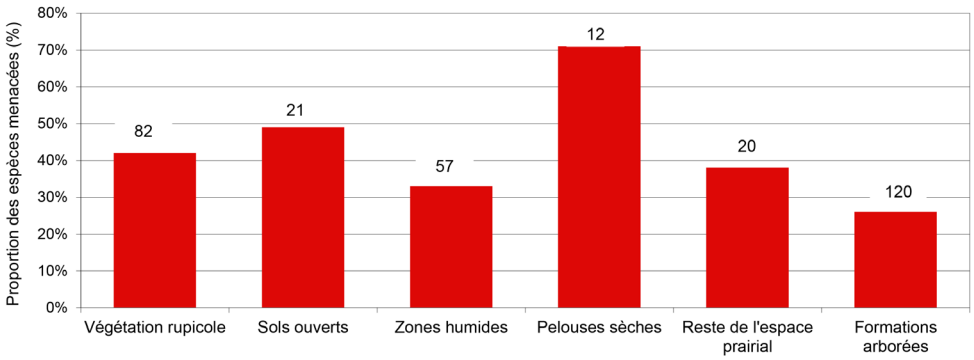


Figure 3 **Pourcentage des espèces menacées de bryophytes par classe d'habitat[22]. Les nombres inscrits sur les barres représentent le nombre d'espèces concernées.**

2.1.3 Algues menacées

Liste rouge des characées

Le degré de menace des algues aquatiques est relativement mal connu en Suisse. Une liste rouge nationale a été publiée en 2012, mais elle est uniquement consacrée aux characées[24] ; 20 des 23 espèces (87 %) qui y figurent sont considérées comme menacées. Ces algues macroscopiques sont présentes dans différents types de milieux aquatiques calmes. Seules quelques espèces poussent dans les cours d'eau de petite à moyenne taille. Tout comme les plantes vasculaires, elles sont victimes de l'eutrophisation des eaux ainsi que de la détérioration des habitats et de la dynamique des eaux induite par les endiguements et régulations.

Transmission des observations à Info Flora

La liste rouge des characées est mise à jour régulièrement. La base de données est gérée par le Centre national de données et d'informations sur la flore suisse (Info Flora), qui enregistre les observations. Celles-ci peuvent aussi être transmises directement via Internet à l'aide d'un formulaire électronique (carnet en ligne)[21].

2.2 Écologie des macrophytes

Interaction entre les macrophytes et leur environnement

Faisant partie intégrante de multiples ruisseaux et rivières, les plantes aquatiques remplissent diverses fonctions dans les écosystèmes fluviaux. La présence et la répartition des macrophytes dépendent des conditions physico-chimiques et morphologiques régnant dans le cours d'eau, du courant et du substrat, des conditions de lumière et de la profondeur de l'eau, de la température et de la disponibilité des nutriments. Les macrophytes influencent à leur tour les conditions abiotiques de leur habitat et les autres biocénoses aquatiques. Les articles généraux cités dans les notes

[24] Auderset, J. D. et Schwarzer A. 2012 : Liste rouge characées. Espèces menacées en Suisse, état 2010. Office fédéral de l'environnement, Berne, et Laboratoire d'écologie et de biologie aquatique de l'Université de Genève. L'environnement pratique n° 1213 : 72 p.

de bas de page fournissent de plus amples informations sur l'écologie des macrophytes[25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34].

2.2.1 Conditions de lumière

L'ombrage, un paramètre clé

La lumière du soleil est une source d'énergie essentielle à la croissance des végétaux. Elle est le principal facteur déterminant la présence et la répartition des macrophytes. Les conditions de lumière d'un cours d'eau dépendent de la végétation riveraine, de la profondeur de l'eau et des substances dissoutes et en suspension dans l'eau. La durée de l'ensoleillement est en outre influencée par l'orientation du cours d'eau par rapport au soleil. Les ruisseaux forestiers fortement ombragés sont principalement peuplés par des bryophytes et des algues et n'abritent pratiquement pas de plantes vasculaires. Dans les rivières profondes, les plantes vasculaires sont cantonnées aux rives et aux hauts-fonds, parce que la lumière diminue fortement avec la profondeur. Dans les cours d'eau peu profonds (parcourables à pied avec des bottes de pêche ou waders) auxquels est dédiée cette méthode, c'est l'ombre projetée par la végétation riveraine ou les constructions le long des berges qui influence le plus les conditions de lumière.

Influence des besoins en lumière des différentes espèces sur la composition floristique

Les besoins en lumière diffèrent selon les espèces et les formes de croissance (point 2.3), ce qui influence fortement la composition des communautés macrophytiques d'une station. Les plantes vasculaires à rosettes radicales ne trouvent une lumière suffisante qu'en eau peu profonde, alors que les plantes à feuilles flottantes ou les plantes émergentes reçoivent encore assez de lumière en eau profonde ou très trouble.

---

25 Butcher, R. W. 1933 : Studies on the ecology of rivers I. On the distribution of macrophytic vegetation in the rivers of Britain. Journal of Ecology 21 : 58-91.

26 Hynes, H. B. 1970 : The ecology of running waters. Liverpool, University of Liverpool Press : 555 p.

27 Haslam, S. M. et Wolseley, P. A. 1987 : River plants of western Europe. The macrophytic vegetation of watercourses of the European Economic Community. Cambridge University Press : 526 p.

28 Dawson, F. H. 1988 : Water flow and the vegetation of running waters, in : Vegetation of inland waters. Handbook.

29 Fox, A. F. 1992 : Macrophytes, in : The river handbook. P. Calow and G. E. Petts Eds. Oxford, Blackwell Scientific Publications : 216-233.

30 Biggs, B. J. F. 1996 : Hydraulic habitat of plants in streams. Regulated Rivers : Research and Management 12 : 131-144.

31 Janauer, G. et Dokulil, M. 2006 : Macrophytes and algae in running waters, in : Biological monitoring of rivers. G. Ziglio, M. Siligardi and G. Flaim. John Wiley & Sons, Ltd. : 89-109.

32 Bornette, G. et Puijalon, S. 2009 : Macrophytes : Ecology of aquatic plants, in : Encyclopedia of life science. Chichester, John Wiley & Sons, Ltd. : 1-9.

33 Caffrey, J. M. et al. (éds) 2009 : Macrophytes in aquatic ecosystems : from biology to management : Proceedings of the 11th International Symposium on Aquatic Weeds, European Weed Research Society (Vol. 190). Springer Science & Business Media : 263 p.

34 Bornette, G., et Puijalon, S. 2011 : Response of aquatic plants to abiotic factors : a review. Aquatic Sciences, 73(1) : 1-14.

2.2.2 Courant

Influence de la vitesse du courant sur la répartition et la composition floristique

La charge mécanique exercée par l'écoulement de l'eau et par les matières solides charriées limite la croissance et la répartition des plantes aquatiques dans les cours d'eau. Les différentes espèces font preuve d'une tolérance variable à la charge mécanique, en fonction de leur forme de croissance (point 2.3). Les conditions d'écoulement influencent par conséquent la composition des communautés macrophytiques d'une station. Lorsque la vitesse du courant dépasse 1 m/s, les plantes vasculaires sont rares. Dans les cours d'eau à écoulement rapide, la présence des macrophytes se limite généralement aux algues et aux bryophytes.

Influence des macrophytes sur les conditions d'écoulement

Les macrophytes modifient à leur tour les conditions d'écoulement d'un cours d'eau : là où les plantes aquatiques forment des peuplements étendus, le courant est ralenti et ces zones plus calmes peuvent favoriser le dépôt des matières solides charriées par l'eau, ce qui entraîne parfois des accumulations de sédiments fins. Entre les peuplements de végétaux, il se forme des canaux dans lesquels le courant est nettement plus rapide, ce qui peut provoquer des phénomènes d'érosion localisée. La prolifération de certains végétaux peut réduire fortement la capacité d'écoulement d'un chenal. Il faut donc éliminer les macrophytes des tronçons particulièrement menacés, surtout pour assurer la protection contre les crues.

2.2.3 Substrat

Influence de la structure et de la stabilité du substrat sur la répartition et la composition des espèces

La nature du substrat influence la diversité des espèces et la répartition des macrophytes dans un cours d'eau. Alors que les plantes aquatiques supérieures se fixent dans les sédiments fins (gravier fin, sable, limon) à l'aide de racines et les characées à l'aide de structures ressemblant à des racines (rhizoïdes), les bryophytes adhèrent généralement à la surface d'un substrat solide, par exemple sur des pierres qui restent en place même lorsque le débit augmente. La granulométrie et la stabilité du substrat dépendent de la géologie du bassin versant, de la pente et du régime d'écoulement. De leur côté, les plantes aquatiques modifient parfois la nature du substrat, car les peuplements macrophytiques denses favorisent l'accumulation des sédiments fins. Ces derniers peuvent se remettre en mouvement à la fin de la période de végétation, une fois que les macrophytes ont disparu.

2.2.4 Chimie de l'eau

Les macrophytes dans le cycle des nutriments

Les macrophytes sont des producteurs primaires importants dans les eaux. En l'espace de quelques mois, ils produisent une grande biomasse et stockent ainsi des quantités considérables de nutriments et de CO_2, dont une grande partie est relâchée en automne lorsque la biomasse végétale se décompose.

Influence des macrophytes sur la teneur en oxygène et le pH de l'eau par le biais de la photosynthèse

Par la photosynthèse et la respiration, les macrophytes produisent et consomment de l'oxygène, ce qui contribue aux fluctuations quotidiennes de l'oxygène dans l'eau. Dans les cours d'eau à très faible courant colonisés par une végétation dense, la respiration des macrophytes combinée à la décomposition microbienne de la matière organique peut entraîner un abaissement critique de la teneur en oxygène pendant la nuit. Par la photosynthèse, du CO_2 et de l'hydrogénocarbonate (HCO_3^-) sont en outre retirés de l'eau, ce qui élève le pH. En été, surtout dans les eaux présentant des peuplements macrophytiques denses, le pH risque de dépasser 10 en cas de rayonnement

solaire intense, de températures élevées et donc de taux de photosynthèse accrus. Dans les eaux polluées à l'ammonium (NH_4^+), l'équilibre ammonium/ammoniac se déplace alors en faveur de l'ammoniac (NH_3), toxique pour les poissons.

Croissance des végétaux généralement non limitée par la disponibilité des nutriments dans les cours d'eau

En règle générale, les cours d'eau contiennent suffisamment de nutriments pour garantir une croissance optimale des végétaux, puisque l'eau courante leur en fournit constamment de nouveaux. En outre, la croissance des végétaux ne semble pas être limitée si les concentrations de nutriments dépassent 1 mg NO_3-N/l (nitrate) ou 30 µg PO_4-P/l (phosphore biodisponible, orthophosphate). Or, ces valeurs sont généralement atteintes dans la plupart des cours d'eau du Plateau suisse colonisés par des macrophytes. Les plantes vasculaires classées dans les macrophytes sont capables de prélever les nutriments dont elles ont besoin aussi bien dans l'eau, par leurs feuilles, que dans le sédiment, par leurs racines. Cela explique pourquoi aucune étude n'a pu établir de lien clair entre la teneur en nutriments de l'eau et la fréquence, ou la composition floristique, des plantes vasculaires. À l'inverse, les characées absorbent uniquement les nutriments présents dans l'eau et sont donc de meilleurs indicateurs des conditions trophiques que les plantes vasculaires.

2.2.5 Facteurs biotiques

Fonctions des macrophytes dans le milieu aquatique

Les macrophytes influencent de diverses façons les processus biotiques dans les cours d'eau et les biocénoses qui s'y développent : en tant que producteurs primaires, ils sont un élément capital de la chaîne alimentaire aquatique. En outre, ils augmentent la diversité structurelle des eaux. Les algues, les bactéries, les champignons et les protozoaires les utilisent comme substrat et source de nutriments. Pour les vertébrés et les invertébrés, les plantes aquatiques sont un substrat (pour la ponte des œufs, p. ex.), une protection contre la force du courant et les prédateurs ou encore un matériel de construction pour les fourreaux. Elles offrent de la nourriture aux invertébrés sous différentes formes : les brouteurs profitent des épiphytes (algues microscopiques poussant sur les macrophytes), les broyeurs se servent des parties de plantes mortes et les collecteurs tirent profit des particules fines contenues dans les tapis végétaux. La consommation directe de macrophytes vivants s'observe également, mais revêt une importance mineure. La fréquence et la diversité des macroinvertébrés sont beaucoup plus élevées dans les tronçons de cours d'eau riches en végétation que dans ceux dépourvus de plantes. Les poissons utilisent la végétation comme abri, zone de refuge contre la force du courant, zone de reproduction ou de ponte et profitent d'une nourriture rendue plus abondante par la densité accrue des invertébrés.

Compétition entre les espèces végétales

Enfin, la présence et la répartition des macrophytes dépendent de la compétition entre les diverses espèces végétales. Non seulement les activités anthropiques modifient les facteurs physico-chimiques et la morphologie des cours d'eau, mais l'introduction de néophytes influe aussi sur la compétition interspécifique, ce qui dans le cas de plantes exotiques envahissantes (élodée de Nuttall, *Elodea nuttallii*, p. ex.) peut contribuer à la régression d'espèces indigènes[35].

[35] http://www.cabi.org/isc/datasheet/20761

2.3 Formes de croissance des macrophytes

Définition « formes de croissance »

Le terme de « formes de croissance » désigne des groupes de plantes aquatiques clairement identifiables par leurs caractères morphologiques. Les conditions de vie en cours d'eau sont marquées par des interactions variées entre les facteurs abiotiques et les facteurs biotiques. Les macrophytes y ont réagi par des adaptations morphologiques. On observe ainsi un lien entre la forme de croissance et les exigences écologiques d'une espèce[36] [37].

Distinction de 25 formes de croissance réparties en 4 groupes

Il existe différentes classifications des formes de croissance[36, 37, 38, 39, 40]. Elles ont servi de base à la mise au point d'un système de classement adapté à la présente méthode (Tableau 1). Les 25 formes de croissance définies sont réunies en quatre groupes.

Groupe des hélophytes

Toutes les formes de croissance hélophytiques appartiennent aux plantes vasculaires. Elles s'enracinent dans le fond du lit et se distinguent par leur port dressé, leur appareil végétatif dépassant de l'eau.

Magnomonocotylédones : *Sparganium erectum*

Herbacées : *Nasturtium officinale*

Figure 4 Exemples des formes de croissance des hélophytes

[36] Den Hartog, C. et Van Der Velde, G. 1988 : Structural aspects of aquatic communities, in : Vegetation of inland waters. Handbook of vegetation science. J.J. Symoens, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht : 113-182.

[37] Wiegleb, G. 1991 : Die Lebens- und Wuchsformen der makrophytischen Wasserpflanzen und deren Beziehungen zur Ökologie. Verbreitung und Vergesellschaftung der Arten. Tuexenia 11 : 135-147.

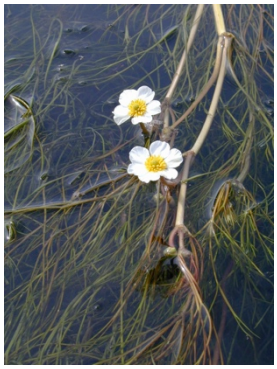
[38] Zander, B. et al. 1992 : Typisierung und Bewertung der Fließgewässervegetation der Bundesrepublik Deutschland. Unveröffentlichtes Gutachten, in : Garniel, A.1999 : Schutzkonzept für gefährdete Wasserpflanzen der Fliessgewässer und Gräben Schleswig-Holsteins, Teil A, Wasserpflanzen. Kieler Institut für Landschaftsökologie : 46-48.

[39] Van de Weyer, K. 2004 : Kartieranleitung zur Erfassung und Bewertung der aquatischen Makrophyten der Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen gemäß den Vorgaben der EU-Wasser-Rahmen-Richtlinie. LUA NRW, Merkblätter 39 : 60 p.

[40] Van de Weyer, K. 2008 : Fortschreiben des Bewertungsverfahren für Makrophyten in Fließgewässern in Nordrhein-Westfalen gemäß den Vorgaben der EG-Wasser-Rahmen-Richtlinie. LANUV-Arbeitsblatt 3, Landesamt für Natur, Umwelt- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen : 77 p.

Groupe des hydrophytes

Le groupe des hydrophytes englobe toutes les formes de croissance présentant un appareil végétatif submergé ou flottant. Quelques formes de croissance sont enracinées dans le fond, alors que d'autres flottent librement à la surface de l'eau. Bien qu'il ne s'agisse pas de plantes vasculaires, les characées ont également été classées dans ce groupe en raison de leur structure.



Myriophyllides : *Ranunculus fluitans*

Parvopotamides : *Groenlandia densa*

Lemnides : *Lemna minor*

Magnonymphéides : *Potamogeton natans*

Figure 5 Exemples des formes de croissance des hydrophytes

Groupe des bryophytes

Les bryophytes des stations aquatiques ne sont pas différenciées en plusieurs formes de croissance. Ce groupe comporte donc une seule forme de croissance.

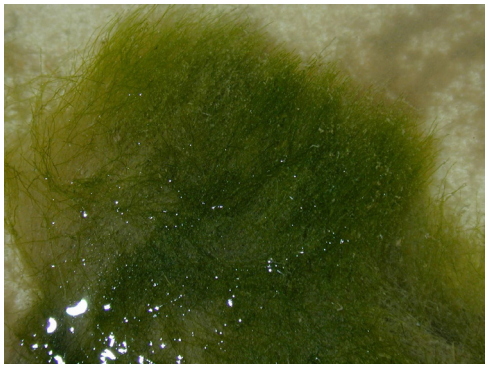
Bryides : *Hygroamblystegium tenax*

Bryides : *Fontinalis antipyretica*

Figure 6 Exemples de la forme de croissance des bryophytes

Groupe des algues

Seules les characées et les algues vertes filamenteuses ou en coussinets (point 4.5.3, 4.5.4) sont prises en considération dans le cadre de la présente méthode. Du fait de leur structure, les characées sont classées dans le groupe des hydrophytes. Les algues filamenteuses telles que *Cladophora* sp. et les algues en coussinets telles que *Vaucheria* sp. sont réunies dans le groupe des algues, qui ne comprend par conséquent qu'une seule forme de croissance.



Cladophorides : *Vaucheria* sp.

Cladophorides : *Cladophora* sp.

Figure 7 Exemples de la forme de croissance des algues

Tableau 1 Formes de croissance des taxons considérés

Forme de croissance	Groupe de formes de croissance	Description
Cladophorides	Algues	Macroalgues vertes filamenteuses ou en coussinets
Bryides	Bryophytes	Bryophytes aquatiques
Batrachiides	Hydrophytes	Macrophytes à feuilles flottantes et feuilles submergées, ces dernières étant composées ou simples
Cératophyllides	Hydrophytes	Macrophytes de grande taille nageant entre deux eaux, à grandes feuilles submergées composées, parfois à rhizoïdes
Charides	Hydrophytes	Macroalgues à rameaux verticillés et rhizoïdes ancrés dans le sédiment
Élodéides	Hydrophytes	Macrophytes submergés à tiges munies de feuilles verticillées, petites et simples
Hydrocharides	Hydrophytes	Macrophytes de grande taille flottant à la surface de l'eau, à grandes feuilles flottantes
Isoétides	Hydrophytes	Macrophytes submergés, peu élevés, à tige courte et rosettes de feuilles courtes et rigides
Lemnides	Hydrophytes	Macrophytes de petite taille flottant à la surface de l'eau, à petites frondes flottantes
Magnonymphéides	Hydrophytes	Macrophytes à larges feuilles flottantes, moyennes à grandes ; feuilles submergées manquantes ou peu développées
Magnopotamides	Hydrophytes	Macrophytes submergés à feuilles simples, larges et entières
Myriophyllides	Hydrophytes	Macrophytes submergés à feuilles composées
Parvopotamides	Hydrophytes	Macrophytes submergés à feuilles simples, linéaires et entières
Péplides	Hydrophytes	Macrophytes submergés à feuilles oblongues ou spatulées, ces dernières formant parfois une rosette terminale
Ricciellides	Hydrophytes	Macrophytes de petite taille nageant sous la surface de l'eau, à thalles flottants
Stratiotides	Hydrophytes	Macrophytes flottant librement, appareil végétatif partiellement dressé au-dessus de la surface de l'eau, parfois enracinés dans le sédiment
Vallisnérides	Hydrophytes	Macrophytes submergés à feuilles radicales submergées, souvent acaules
Equisetides	Hélophytes	Prêles
Herbides	Hélophytes	Dicotylédones, espèces de roselières herbacées
Juncides	Hélophytes	Macrophytes bas à feuilles simples, étroites, entières, cloisonnées (joncacées)
Magnocypérides	Hélophytes	Cypéracées élevées
Magnomonocotylédones	Hélophytes	Monocotylédones à feuilles étroites, formant des roselières élevées
Parvocypérides	Hélophytes	Macrophytes bas à feuilles simples, étroites, entières, cloisonnées (joncacées)
Parvograminoïdes	Hélophytes	Monocotylédones, poacées basses des roselières ou prairies humides
Sagittarides	Hélophytes	Monocotylédones basses à larges feuilles

Taxons pouvant développer plusieurs formes de croissance

Dans les cours d'eau suisses étudiés, la plupart des taxons se présentent sous une seule forme de croissance, facilement classable dans un des quatre groupes (Tableau 1, annexe numérique DA1). Quelques taxons peuvent cependant développer différentes formes de croissance en fonction des conditions stationnelles (Tableau 2).

Tableau 2 Taxons de la liste des taxons pouvant développer plusieurs formes de croissance

- *Butomus umbellatus*
- *Oenanthe aquatica*
- *Oenanthe fistulosa*
- *Oenanthe* sp.
- *Sagittaria* sp.
- *Schoenoplectus* sp.
- *Sium latifolium*
- Tous les taxons de *Sparganium*

Taxons pouvant se présenter sous plusieurs phénotypes

Quelques taxons peuvent en outre se présenter sous l'aspect d'hélophytes ou d'hydrophytes, tout en conservant la même forme de croissance (Tableau 3)[36].

Tableau 3 Taxons de la liste des taxons pouvant se présenter aussi bien sous l'aspect d'hélophytes que d'hydrophytes, tout en conservant la même forme de croissance

- *Alisma lanceolatum* ou *A. plantago-aquatica*
- *Berula erecta*
- *Nasturtium* sp. ou *Cardamine amara*
- *Veronica anagallis-aquatica* ou *catenata*

3 But, champ d'application et exigences de la méthode

3.1 Objectifs généraux

L'étude des macrophytes en cours d'eau vise à :

- décrire la communauté biotique du cours d'eau et évaluer l'état biologique au regard des objectifs écologiques fixés dans l'annexe 1 OEaux ;
- si l'état des eaux est insatisfaisant, donner des indications, en association avec d'autres modules du SMG, sur les origines possibles des atteintes ;
- localiser les stations abritant des espèces prioritaires ou menacées et à protéger et/ou favoriser celles-ci selon leur importance ;
- accroître les connaissances sur la diversité et la répartition des macrophytes aquatiques dans les cours d'eau.

3.2 But et problématique de la méthode aux niveaux R et C

Exigences des niveaux R et C remplies

Les présentes instructions couvrent l'ensemble des paramètres importants pour une description et une évaluation exhaustives des communautés macrophytiques. Elles permettent ainsi de traiter des problématiques à des échelles spatiales ou à des niveaux d'appréciation différents. Selon la répartition spatiale et la densité des tronçons d'étude, les investigations correspondent plutôt à une vue d'ensemble régionale (niveau R, région) ou à une analyse plus détaillée au niveau d'un hydrosystème (niveau C, cours d'eau). L'évaluation se fait par comparaison avec un tronçon de référence proche de l'état naturel, défini pour chaque type de cours d'eau, et remplit ainsi les exigences posées par le SMG Cours d'eau[1] pour une évaluation de niveau C.

Niveau R – Vue d'ensemble régionale

Nécessitant des moyens relativement modestes, les relevés généraux réalisés au niveau R doivent fournir une vue d'ensemble de l'état des macrophytes dans une région donnée. Les objectifs à atteindre sont les suivants :

- le degré de naturalité de la composition des communautés macrophytiques est estimé et noté de 1 à 5. Les atteintes évidentes portées aux biocénoses et les sites nécessitant des analyses plus approfondies sont connus ;
- la diversité et la répartition des macrophytes aquatiques dans une région sont mieux connues, en particulier la présence d'espèces prioritaires et menacées.

Pour obtenir une vue d'ensemble à l'échelle d'une région (d'un canton, p. ex.), il suffit d'un nombre limité de tronçons d'étude par unité de surface ou par cours d'eau. Ces tronçons doivent couvrir de manière représentative la totalité des types de cours d'eau importants pour les macrophytes et, si possible, être répartis régulièrement sur tout le territoire. Il ne doit pas s'agir uniquement de tronçons perturbés du point de vue morphologique, chimique ou hydrologique, mais aussi de tronçons aussi peu influencés que possible par les activités humaines (« tronçons de référence »).

Niveau C – Analyse d'hydrosystèmes choisis

Des relevés approfondis sont réalisés au niveau C afin d'analyser l'état des macrophytes dans des hydrosystèmes choisis et d'évaluer les résultats obtenus de manière plus différenciée. Ils nécessitent un plus grand nombre de tronçons d'étude le long du cours d'eau que les relevés effectués au niveau R. Tous les tronçons caractéristiques de l'hydrosystème et importants pour les macrophytes doivent être échantillonnés de manière représentative. Pour garantir un relevé systématique, la végétation aquatique des principaux affluents doit aussi être relevée.

Une stratégie d'échantillonnage ciblée fait mieux apparaître les causes des atteintes qu'une vue d'ensemble régionale. L'analyse des hydrosystèmes fournit également davantage d'informations sur la distribution des macrophytes dans les cours d'eau.

Étude des macrophytes pour certaines problématiques

Selon la problématique, un relevé continu des macrophytes sur un long tronçon peut s'avérer utile, par exemple lorsqu'il s'agit d'enregistrer de manière ciblée des espèces végétales menacées ou des néophytes dans un hydrosystème ou, si des mesures d'aménagement des eaux (revitalisations, p. ex.) sont prévues, d'utiliser les plantes aquatiques pour en contrôler l'efficacité.

3.3 Champ d'application et limites de la méthode

Applicabilité de la méthode limitée par la pente, le débit et l'altitude

Contrairement aux macroinvertébrés, les macrophytes ne sont pas présents dans tous les cours d'eau. En effet, leur répartition dépend de différents facteurs stationnels (point 2.2). Le jeu de données Suisse, qui a servi de base pour le développement de la méthode, contient 839 enregistrements, provenant majoritairement du Plateau suisse et du Jura (annexe A1). La plupart des tronçons d'étude se trouvent dans des bassins versants calcaires des étages collinéen et submontagnard. Plus de deux tiers des tronçons d'étude sont situés dans des cours d'eau de petite à moyenne taille, avec une pente de 0-2 %. Cependant, sur la base d'observations dans d'autres régions du pays et de considérations écologiques, on part du principe que la méthode est applicable à l'ensemble des cours d'eau des étages collinéen et submontagnard affichant un débit inférieur à 10 000 l/s. Dans les tronçons sans ombrage, la méthode peut être utilisée jusqu'à une pente de 2 % ; pour les tronçons ombragés, aucune limite de pente n'a été fixée.

Présélection de tronçons d'étude basée sur des estimations SIG

Le jeu de données SIG de la Typologie des cours d'eau suisse[41] comprend des estimations couvrant l'ensemble du pays pour les paramètres pente, débit moyen et altitude, qui jouent, en combinaison avec l'ombrage, un grand rôle dans la répartition des macrophytes. Il est aussi possible de consulter ces données en ligne, sur le portail cartographique de la Confédération, en cliquant sur un tronçon de cours d'eau[42]. Des photos aériennes prises pendant la période de végétation[43] font en outre ressortir les surfaces boisées et permettent ainsi d'estimer l'ombrage. Ces données servent aussi à localiser les tronçons de cours d'eau susceptibles d'abriter des macrophytes[44]. Les tronçons d'étude peuvent donc être présélectionnés en fonction des facteurs stationnels et de la problématique, ce qui fait gagner du temps et réduit les coûts.

Accent sur les cours d'eau parcourables à pied

La méthode est conçue pour les cours d'eau de petite à moyenne taille. Les sites d'étude doivent pouvoir être parcourus sans risque avec des cuissardes. Les tronçons non parcourables à pied (en totalité ou en partie) peuvent être examinés depuis les berges, à condition que le fond du lit soit à portée de vue et que des échantillons de plantes puissent être prélevés si nécessaire, par exemple à l'aide d'un râteau télescopique ou d'une canne à pêche.

Applicabilité à des sites aquatiques particuliers

Ces instructions s'appliquent également aux eaux qui s'écoulent lentement ou stagnent, telles que les bras morts de rivière, les émissaires de lacs, les tronçons de retenue ou les fossés ouverts. En revanche, elles ne conviennent pas pour inventorier et évaluer la végétation des plans d'eau tels que les lacs, les étangs ou les mares, ni celle

41 https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/etat/cartes/typologie-des-cours-deau-suisses.html

42 http://map.geo.admin.ch : Eaux, typologie des cours d'eau https://s.geo.admin.ch/7996a991ab

43 http://map.geo.admin.ch : Photos aériennes

44 Rumpf, L. M. 2015 : Charakterisierung des naturnahen Referenzzustandes ausgewählter Fliessgewässer der kollinen und submontanen Stufe anhand aquatischer Makrophyten. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW), Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen (IUNR), Wädenswil : 80 p.

des sites humides terrestres comme les sources, les suintements, les marécages ou les marais.

3.4 Exigences de la méthode

Fréquence des relevés

La fréquence des relevés dépend de la problématique traitée. Pour déterminer la répartition des macrophytes dans une région, il suffit d'effectuer un relevé par année. Par contre, s'il s'agit de documenter un repeuplement suite à une revitalisation, il faut au moins effectuer un inventaire avant le début des travaux, un autre immédiatement après la fin de ceux-ci, puis un à plusieurs autres à quelques années d'intervalle.

Période de relevé

Le moment idéal pour procéder au relevé des macrophytes se situe entre juin et septembre. Il est parfois nécessaire de s'y prendre plus tôt dans la période de végétation, notamment si les macrophytes sont éliminés dans le cadre de l'entretien du cours d'eau. Cependant, si les relevés ont lieu au début de la période de végétation, de nombreuses espèces sont difficiles à observer et à déterminer, car elles ne sont pas encore bien développées. Une consultation préalable des services chargés de l'entretien du cours d'eau permet souvent d'optimiser le moment du relevé.

Développement de la végétation variant selon les espèces et les saisons

Les diverses espèces de macrophytes se différencient par leur développement saisonnier. De plus, celui-ci dépend de facteurs comme les conditions climatiques, la température de l'eau et les conditions d'écoulement. Le stade de développement de chaque espèce peut donc varier d'une région et d'une année à l'autre. Le recouvrement des macrophytes et les proportions des différentes espèces surtout sont soumis à des fluctuations saisonnières considérables. C'est pourquoi lors de toute analyse il convient de tenir compte du stade de développement de la végétation et de la saisonnalité des espèces présentes. Cela vaut tout particulièrement pour les relevés réalisés plusieurs années de suite sur des tronçons d'étude identiques en vue de procéder à des comparaisons pluriannuelles. S'il s'agit d'effectuer des analyses comparatives au sein d'un hydrosystème, il faudrait si possible traiter plusieurs tronçons en même temps.

Exigences liées aux conditions d'écoulement

Les relevés doivent être exécutés par niveau d'eau moyen à bas et eau claire. En cas de crue ou de mauvaise visibilité, les taxons à faible recouvrement risquent de passer inaperçus et les paramètres permettant de caractériser le site et les communautés végétales d'être inventoriés de manière trop imprécise.

Temps nécessaire et consignes de sécurité

Le temps à consacrer au relevé cartographique dépend de l'accessibilité du tronçon, de la diversité des espèces présentes et de l'expérience des personnes chargées de l'opération. Il faut compter entre 20 minutes et une heure par tronçon. Le relevé peut être effectué par une personne seule, mais, pour des raisons de sécurité, l'assistance d'une deuxième personne s'impose lorsque les eaux sont profondes ou rapides. Le port d'un gilet de sauvetage est indispensable lorsque la hauteur de l'eau dépasse les genoux. Les relevés sont à effectuer avec précaution et ménagement, de manière à ne pas porter atteinte aux macrophytes ou aux autres organismes aquatiques. Il importe de vérifier au préalable si l'accès au cours d'eau est autorisé.

Combinaison de diverses méthodes

Si la problématique l'exige, le relevé des macrophytes peut être exécuté en même temps que d'autres analyses du SMG. La période de relevé prévue par la présente méthode permet une combinaison avec les relevés de l'état écomorphologique et de

l'aspect général. L'ensemble des paramètres utilisés pour apprécier l'état écomorphologique[45] selon le niveau R du SMG ainsi que l'évaluation de certains paramètres de l'aspect général[46] font partie intégrante de la cartographie des macrophytes et doivent aussi être répertoriés lors de chaque relevé.

[45] OFEFP 1998 : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse : Écomorphologie – Niveau R (région). Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. L'environnement pratique, Informations concernant la protection des eaux n° 27 : 49 p. http://www.modul-stufen-konzept.chs

[46] OFEFP 2007 : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Aspect général. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 0701 : 43 p. http://www.modul-stufen-konzept.ch

4 Exécution des relevés

4.1 Généralités

Afin de pouvoir comparer les différentes analyses, il est indispensable de respecter un protocole de relevé standardisé. La méthode proposée ici pour les cours d'eau de faible profondeur s'inspire de la norme européenne pour l'étude des macrophytes dans les cours d'eau (EN 14184: 2003)[2].

Préparation des relevés de terrain

Avant le relevé de terrain, il faut préparer le matériel correspondant (annexe A2) et présélectionner les tronçons d'étude en fonction de la problématique de l'étude. Des valeurs ou des mesures doivent en outre être calculées à l'aide d'un SIG pour différents paramètres stationnels (point 4.2).

Détermination des tronçons d'étude sur le terrain

Sur le terrain, la première étape consiste à localiser et délimiter le tronçon d'étude, en tenant compte des exigences relatives aux tronçons d'étude (point 4.3) et de la liste des taxons (point 4.4).

Relevé de la végétation macrophytique

Le relevé des macrophytes se déroule conformément aux chapitres 4.5 et 4.6 et au protocole de relevé (annexe A3). Pour commencer, l'ensemble des macrophytes présents dans le tronçon d'étude sont inventoriés et divers paramètres permettant de décrire la communauté végétale sont relevés, dont le recouvrement absolu de tous les macrophytes additionnés (recouvrement total) et le recouvrement absolu de chaque taxon pris séparément.

Relevé des paramètres stationnels abiotiques

Après le relevé de la végétation, divers paramètres stationnels sont recensés (point 4.7) afin de caractériser le tronçon d'étude, dont l'ombrage, la profondeur de l'eau, le débit, la pente et la nature du substrat. S'il existe des données SIG pour certains paramètres, elles sont vérifiées sur le terrain. Tant les valeurs extraites du SIG que les valeurs estimées sur le terrain doivent être documentées dans la fiche de relevé.

Rassemblement des données brutes

En vue de la mise en valeur ultérieure, les données brutes consignées sur les fiches de relevé sont rassemblées selon les indications du chapitre 4.8 et l'annexe numérique « DA2 Feuilles de saisie pour le rassemblement des données sur le site et les espèces ». Leur exhaustivité est également contrôlée.

4.2 Préparation des relevés de terrain

Du matériel cartographique à une échelle suffisamment détaillée (1:5000, 1:10 000) doit être préparé afin de définir l'emplacement des tronçons d'étude. En outre, différentes informations sur le site sont collectées.

Recherche de stations hydrométriques dans la région étudiée

Pour pouvoir estimer les débits s'écoulant le jour de la cartographie, les emplacements des stations hydrométriques de la région d'étude doivent avoir été préalablement vérifiés. Si l'emplacement exact des tronçons d'étude est déjà connu, le nom de la station hydrométrique la plus proche, le débit pluriannuel moyen et le débit le jour du relevé cartographique sont reportés dans la fiche de relevé pour chaque tronçon d'étude. Si la station hydrométrique se trouve directement dans le tronçon d'étude ou à proximité immédiate (ce qui signifie qu'aucun affluent important ne doit se jeter dans le cours d'eau entre le tronçon d'étude et la station hydrométrique), ces valeurs peuvent en outre être saisies dans la fiche de relevé sous « mesure hydrologique dans le tronçon d'étude ».

Recherche d'informations sur les sites à l'aide du SIG

L'altitude de l'extrémité aval du tronçon, la pente et, s'il n'y a aucune station hydrométrique dans le tronçon d'étude, le débit moyen sont calculés à partir des estimations fournies par le SIG[42]. Comme ces estimations ne sont pas toujours fiables, les valeurs modélisées doivent être vérifiées sur le terrain.

Si le choix des sites ne se fait que sur le terrain, les informations sur le site fournies par le SIG (altitude, débit moyen et pente) doivent être rassemblées immédiatement après le relevé de terrain, puis reportées sur la fiche de relevé et vérifiées sur la base des données consignées ou gardées en mémoire.

4.3 Détermination des tronçons d'étude sur le terrain

Morphologie homogène

Les conditions stationnelles pour les macrophytes doivent être aussi homogènes que possible le long d'un tronçon d'étude. Un tronçon s'arrête à chaque changement de la structure du fond ou des berges, de la profondeur de l'eau, de la pente, de la nature du substrat, de la vitesse du courant ou de l'ombrage. Il en va de même dès qu'un déversement provoque une modification de la végétation aquatique et à chaque confluent.

Longueur des tronçons d'étude

Les tronçons d'étude doivent être suffisamment longs pour permettre un relevé complet de la diversité et de la composition de la communauté macrophytique typique de la station. Dans les petits cours d'eau, la longueur minimale d'un tronçon est de 30 m. Dans les plus grands, la longueur des tronçons doit être égale à au moins 20 fois la largeur du lit (Tableau 4). Il n'est pas nécessaire que les tronçons aient tous la même longueur.

Tableau 4 Longueurs minimales des tronçons d'étude en fonction de la largeur du lit mouillé

Largeur du lit mouillé	Longueur minimale des tronçons d'étude
Jusqu'à 1 m	30 m
1 – 10 m	30 – 200 m
> 10 m	200 m

Délimitation des tronçons d'étude

La délimitation du tronçon d'étude du côté de la rive se fait sur la base du niveau moyen de l'eau et ne pose généralement aucune difficulté lorsque les cours d'eau sont aménagés. En revanche, lorsque les rives sont naturelles, la limite eau-terre est plus difficile à distinguer. La zone de transition est exclusivement peuplée d'hélophytes et de bryophytes. On peut y observer des espèces ayant des exigences diverses en matière de conditions d'humidité. Dans ce type de cas, la limite eau-terre doit donc être fixée de façon pragmatique. La liste des taxons (point 4.4, annexe numérique DA1) s'avère alors très utile, car elle répertorie les espèces fréquentes dans la zone riveraine inondée. Les espèces qui n'y sont pas inscrites se retrouvent dans l'eau uniquement quand le niveau de l'eau est élevé et indiquent la position approximative de la ligne de rivage. Tous les taxons se trouvant dans le tronçon ainsi délimité sont inventoriés, mais seuls ceux qui figurent sur la liste sont pris en considération pour l'évaluation ultérieure.

4.4 Liste des taxons

4.4.1 Étendue de la liste des taxons

La liste des taxons contient toutes les espèces potentiellement présentes dans les cours d'eau suisses. De nombreuses espèces très rares y sont donc également inscrites. Par contre, aucune espèce éteinte depuis longtemps et n'apparaissant plus non plus dans les pays voisins n'y figure.

Liste taxonomique des plantes vasculaires et characées

La liste des plantes vasculaires et des characées comprend toutes les espèces poussant dans des milieux purement aquatiques (indice d'humidité 5[47], milieux naturels[48] : 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.2.1, 1.2.2, 2.1.1, 2.1.3 et 2.1.4). Elle n'est pas limitée aux espèces des cours d'eau, car de nombreuses espèces s'observent aussi bien dans les eaux calmes (stagnantes) que dans les eaux courantes. Quant à la végétation riveraine, seules les espèces ayant leur aire de répartition principale dans la zone de rive régulièrement inondée sont prises en considération (milieux naturels : 2.1.2.1, 2.1.2.2 et 2.2.1.1). Les espèces colonisant uniquement les rives des eaux calmes ou des stations à humidité variable, comme dans les marais, sont laissées de côté. En outre, quelques espèces qui n'ont pas encore été observées en Suisse, mais dont la présence est déjà attestée dans les pays voisins et pourrait donc s'étendre à la Suisse prochainement, ont été ajoutées. La liste a été établie par des spécialistes qui ont sélectionné 223 espèces et 54 agrégats en s'appuyant sur le jeu de données Macrophytes Suisse et sur les listes de taxons des méthodes d'évaluation appliquées dans les pays voisins[7, 16, 49].

Liste des taxons bryophytes

Les bryophytes apparaissent dans divers milieux aquatiques et dans la zone riveraine des eaux calmes et courantes. La liste obtenue en appliquant le même procédé de sélection que pour les macrophytes supérieurs comportait à l'origine plus de 400 espèces de bryophytes. Afin de la réduire, un groupe de spécialistes a retenu les taxons ayant un lien étroit avec les cours d'eau et issus des milieux suivants : 1.1.3, 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.2.4, 2.1.1, 1.3.2, 1.3.3 et 2.2.1.1. La liste définitive des taxons établie pour les bryophytes se compose ainsi de 93 espèces et de 15 agrégats.

Liste des taxons à la base de l'évaluation

Seuls les taxons figurant sur la liste sont pris en considération pour l'évaluation ultérieure des communautés macrophytiques.

4.4.2 Classification des taxons selon leur déterminabilité

La variabilité morphologique complique la détermination des espèces

La grande variabilité morphologique des macrophytes aquatiques en complique la détermination. Certains taxons développent des feuilles de forme, voire de type, variant selon les conditions stationnelles. Quelques autres produisent des feuilles qui changent au cours de leur développement (hétérophyllie). De plus, des formes terrestres particulières peuvent se développer en cas de sécheresse[37, 38]. Souvent, les taxons se propagent uniquement de façon végétative, sans qu'aucun organe sexuel de reproduction ne se forme. Les ouvrages de détermination les plus récents (annexe A4) tiennent compte de ce phénomène et s'appuient donc autant que possible sur des caractères de détermination végétatifs.

Classification des taxons selon leur déterminabilité

Tous les taxons de la liste des taxons (annexe numérique DA1) sont répartis en quatre classes en fonction de leur déterminabilité. Les taxons des classes 1 et 2 peuvent en principe être déterminés sur des critères végétatifs, même si les caractères de détermination végétatifs de certains d'entre eux ne sont pas toujours clairement identifiables. Pour ce type d'espèces, des agrégats ont été ajoutés. Les plantes vasculaires de la classe 3 ne peuvent pas être traitées de manière sûre sur la base de leurs caractères végétatifs. Des agrégats ont donc également été indiqués pour ces taxons. Les

47 Landolt, E. et al. 2010 : Flora indicativa : Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und Alpen. 2., völlig neu bearb. Auflage. Haupt, Berne : 378 p.

48 Delarze, R. et al. 2015 : Guide des milieux naturels de Suisse. 3e édition entièrement révisée et augmentée. Éditions Rossolis, Bussigny : 440 p.

49 Schaumburg, J. et al. 2005 : Bewertungsverfahren Makrophyten & Phytobenthos. Fließgewässer- und Seen-Bewertung in Deutschland nach EG-WRRL. Informationsberichte Heft 1/05. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Munich : 245 p.

bryophytes faisant partie de la classe 3 peuvent uniquement être déterminées par des spécialistes au moyen d'ouvrages spécialisés. Les taxons de la classe 4 sont soit des taxons dont il suffit de déterminer le genre (espèces rares, néophytes ou characées), soit des sous-espèces qu'il est inutile de différencier dans le cadre de la présente méthode, puisque l'espèce constitue le niveau taxonomique inférieur considéré pour l'évaluation.

Agrégats pour les espèces difficiles à déterminer

Un agrégat regroupe ainsi différentes espèces qui peuplent une même station (c'est-à-dire toutes les espèces aquatiques et riveraines inondées en cas de niveau d'eau moyen), mais qui ne peuvent pas être identifiées sur des critères végétatifs, ou dont les caractères de détermination ne sont pas clairement formés. Toutes les espèces d'un agrégat sont énumérées une à une dans la liste des taxons.

Aides supplémentaires à la détermination

La liste des taxons est complétée par des clés de détermination précisant quelles parties de plante doivent être visibles pour une détermination incontestable. En fonction des caractères de détermination disponibles, le niveau taxonomique le plus bas possible est noté. La liste des taxons signale les espèces semblables et énumère les espèces pouvant développer différentes formes de croissance (Tableau 2) ou se présenter sous plusieurs aspects (Tableau 3) selon les conditions stationnelles. Des ouvrages et des outils de détermination (loupe, binoculaire, microscope) y sont également recommandés. Enfin, la liste indique s'il est nécessaire de récolter du matériel végétal en vue de la vérification par des spécialistes.

Informations spécifiques aux espèces

La liste des taxons contient par ailleurs des informations sur les exigences écologiques des espèces[47], le milieu auquel elles appartiennent[48], leur degré de priorité[50] et de menace[19, 22, 24].

4.5 Taxons considérés, niveau de détermination et conservation du matériel végétal

Lors de la cartographie, l'ensemble des plantes vasculaires, des bryophytes et des characées se trouvant dans le tronçon d'étude sont inventoriés. La présence d'algues vertes filamenteuses (*Cladophora* sp., *Spirogyra* sp., p. ex.) ou en coussinets (*Vaucheria* sp., p. ex.) est saisie en complément. Une prolifération de ces taxons signale souvent une pollution d'origine anthropique. Toutes les autres algues (diatomées incrustantes, bancs d'algues rouges, brunes, bleues, etc.) ne sont pas prises en considération.

Niveau de détermination

Tous les taxons sont déterminés au niveau taxonomique le plus bas possible. Les espèces présentant une déterminabilité de 1 ou 2 pour lesquelles la liste des taxons ne prévoit aucun agrégat doivent être traitées à l'aide de critères végétatifs.

4.5.1 Plantes vasculaires

Détermination et recouvrement absolu au niveau de l'espèce

En règle générale, les plantes vasculaires sont déterminées au niveau de l'espèce, plus rarement au niveau du genre (selon la liste des taxons). Leur recouvrement absolu est également recensé (point 4.6). Du matériel végétal doit être récolté si la détermination est à vérifier au binoculaire ou au microscope, ou à valider par un spécialiste. À cette fin, les plantes et toutes les parties nécessaires à la détermination sont mises individuellement dans des sachets en plastique, sans eau. L'échantillon est identifié

[50] OFEV 2011 : Liste des espèces prioritaires au niveau national. Espèces prioritaires pour la conservation au niveau national, état 2010. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1103 : 132 p.

par un numéro de référence inscrit au crayon sur un bout de papier. Les échantillons sont stockés au frais et déterminés dans les meilleurs délais. Des herbiers peuvent être constitués pour conserver les plantes durablement. Il est aussi possible de conserver les taxons submergés tels que *Potamogeton* sp., *Ranunculus* sp. ou *Callitriche* sp. dans une solution d'éthanol à 80 %. L'annexe A5 donne une vue d'ensemble des macrophytes supérieurs les plus fréquemment observés lors des études préparatoires.

4.5.2 Bryophytes

Recouvrement absolu de la forme de croissance et détermination au niveau de l'espèce

Sur le Plateau, les bryophytes colonisent surtout les cours d'eau très ombragés, mais elles n'apparaissent qu'avec un très faible recouvrement dans de nombreux types de cours d'eau. Onze taxons de la liste des taxons peuvent être déterminés à la loupe par des biologistes formés en bryologie et 79 taxons nécessitent des analyses microscopiques. Pour 18 taxons, il faut faire appel à un spécialiste. Seul le recouvrement absolu de la forme de croissance « bryides » est estimé sur le terrain (point 4.6). Il n'est pas absolument nécessaire de déterminer l'espèce sur place ; en vue de la détermination ultérieure, il faut cependant prélever du matériel végétal de tous les taxons, si possible avec les capsules contenant les spores, et le presser légèrement. Chaque échantillon est conservé séparément dans une enveloppe en papier portant un numéro d'identification. Les échantillons peuvent être séchés dans leur enveloppe, puis réhumidifiés pour être déterminés. En règle générale, les bryophytes rapportées au laboratoire sont déterminées au niveau de l'espèce, plus rarement au niveau du genre (selon la liste des taxons). L'annexe A6 donne une vue d'ensemble des taxons de bryophytes les plus fréquemment observés lors des études préparatoires.

4.5.3 Characées

Recouvrement absolu de la forme de croissance et détermination au niveau des agrégats

Les characées ont leur aire de répartition principale dans les eaux stagnantes, mais apparaissent aussi dans les cours d'eau de façon éparse. Quelques characées peuvent être différenciées et déterminées par des non-spécialistes formés. Il faut en revanche recourir à des spécialistes pour déterminer la plupart des taxons au niveau de l'espèce. Seul le recouvrement absolu de la forme de croissance « charides » est estimé sur le terrain (point 4.6). En vue de l'examen microscopique ultérieur au niveau des agrégats, du matériel végétal est récolté et conservé, en suivant le même procédé que pour les plantes vasculaires (point 4.5.1). De manière générale, il est recommandé de récolter des spécimens et de constituer des herbiers.

4.5.4 Algues vertes filamenteuses ou en coussinets

Algues : réunies en un groupe de formes de croissance

Le relevé est limité aux algues vertes filamenteuses (*Ulothrix*, *Cladophora*, *Stigeoclonium,* p. ex.) et aux algues formant des coussinets (*Vaucheria*, p. ex.). Ces deux formes de croissance sont réunies en un seul groupe et traitées comme tel. Il n'est pas nécessaire de déterminer l'espèce. Seul le recouvrement absolu du taxon « algue verte filamenteuse » est enregistré.
Les algues incrustantes (algues bleues, algues rouges, p. ex.), les algues membraneuses (colonies d'algues bleues *Phormidium* sp., p. ex.) ainsi que les algues filamenteuses non vertes comme les chrysophytes (*Hydrurus foetidus*), les diatomées (colonies de *Melosira, Diatoma)* ou les algues rouges (*Batrachospermum*, *Lemanea,*

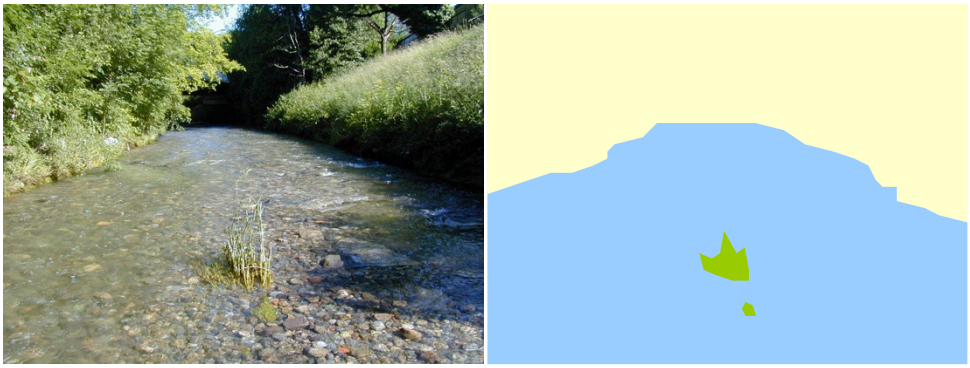
p. ex.) ne sont pas prises en compte lors de l'évaluation. Leur présence peut toutefois être indiquée sous les remarques.

4.6 Cartographie de la végétation

Différents paramètres sont répertoriés sur le terrain pour permettre de décrire la végétation. À cet effet, le tronçon d'étude est prospecté en zigzag en remontant le courant.

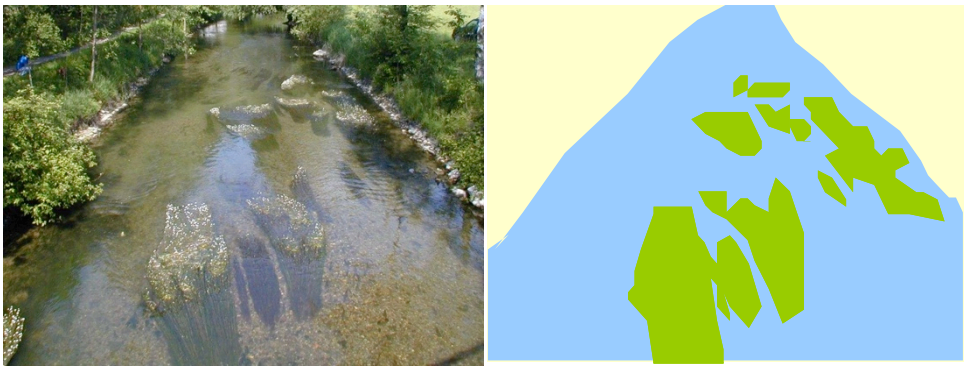
Paramètre	Description
Recouvrement total	Le recouvrement absolu de l'ensemble des plantes vasculaires, bryophytes, characées et algues vertes filamenteuses ou en coussinets est estimé de façon continue en pourcentage de la surface du tronçon. La Figure 8 constitue une aide visuelle pour l'estimation du recouvrement total.
Pourcentage du substrat non recouvert	Le pourcentage du substrat non recouvert dans le tronçon est estimé de façon continue en complément au recouvrement total.

Additionnés, le recouvrement total et le pourcentage du substrat non recouvert donnent 100 %.



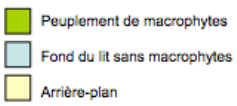
Recouvrement total : environ 1 %

Recouvrement total : environ 3 %



Recouvrement total : environ 15 %

Figure 8 Estimation du recouvrement total

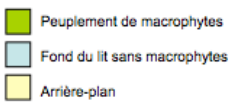


Recouvrement total : environ 45 %

Recouvrement total : environ 80 %

Recouvrement total : environ 97 %

Figure 8 Estimation du recouvrement total (suite)



Recouvrement absolu de chaque taxon par forme de croissance et aspect	Le recouvrement absolu de chaque taxon est estimé de façon continue en pourcentage absolu de la surface du tronçon (Figure 9) : Plantes vasculaires : pour chaque taxon par forme de croissance et aspect Bryophytes : pour toutes les bryophytes réunies Characées : pour toutes les characées réunies Algues vertes filamenteuses ou en coussinets : pour toutes les algues réunies Additionnés, les recouvrements absolus de tous les taxons donnent le taux de recouvrement total.
Saisie de la forme de croissance et de l'aspect	Pour les taxons pouvant développer différentes formes de croissance (Tableau 2) ou se présenter sous l'aspect d'hélophytes ou d'hydrophytes (Tableau 3), il faut estimer séparément le recouvrement absolu de chaque forme de croissance et aspect. Dans les cours d'eau suisses, les taxons du tableau 3 sont généralement présents sous leur aspect hélophytique, et atteignent donc la surface de l'eau au cours de leur développement. Dans les eaux profondes, il leur arrive cependant aussi de former uniquement des peuplements purement hydrophytiques, qui demeurent submergés pendant toute la période de végétation. Au moment de la cartographie, il est parfois difficile de prévoir la forme de croissance à la fin de la période de végétation. Par conséquent, seuls les peuplements étendus d'herbides poussant sous l'eau (*Nasturtium* sp., *Veronica* sp., *Berula* sp.) et des individus bien développés des sagittarides (*Alisma* sp.), qui ne se trouvent pas uniquement dans la zone riveraine des cours d'eau dont la profondeur moyenne dépasse 60 cm, doivent être traités comme des hydrophytes. En cas de doute, les taxons sont à classer dans les hélophytes.

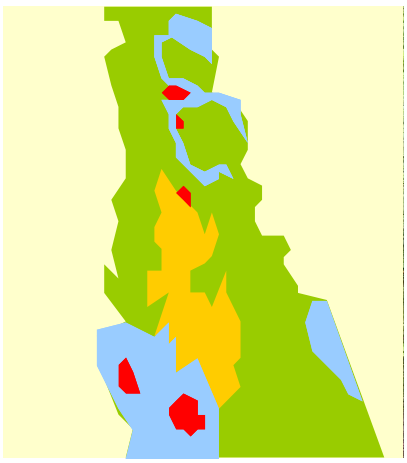


Figure 9 Estimation du recouvrement absolu par taxon

Recouvrement absolu espèce 1 :	environ 2 %
Recouvrement absolu espèce 2 :	environ 10 %
Recouvrement absolu espèce 3 :	environ 70 %
Recouvrement total :	85 %

Espèce 1: *Callitriche* sp.
Espèce 2: *Phalaris arundinaceae*
Espèce 3: *Ranunculus trichophyllus*
Fond du lit sans macrophytes
Arrière-plan

Pourcentage de bryophytes et d'algues sur substrat artificiel	La nature du substrat influe sur la composition macrophytique. Le substrat artificiel est principalement colonisé par des bryophytes et des algues. Le pourcentage des agrégats « algues vertes filamenteuses » et « bryophytes » colonisant un substrat artificiel est estimé de façon continue. Sont considérés comme substrat artificiel les aménagements des rives ou du fond du lit (même s'ils sont réalisés avec des matériaux naturels) ou d'autres structures introduites comme les pierres bétonnées.
Niveau de détermination et fiabilité de la détermination	Sur le terrain, le niveau taxonomique le plus bas possible est noté pour chaque taxon. La personne en charge du relevé donne en outre des indications sur la fiabilité de la détermination par taxon, à l'aide de quatre catégories : 1 : Détermination fiable : la détermination est considérée fiable lorsque la personne en charge du relevé peut déterminer le taxon sans ambiguïté grâce à la présence des caractères de détermination pertinents. 2 : Détermination par des spécialistes : la détermination n'est pas effectuée par la personne en charge du relevé mais par un spécialiste. 3 : Détermination moyennement fiable, mais vraisemblable : la détermination est considérée moyennement fiable, mais vraisemblable lorsque la personne en charge du relevé ne peut pas déterminer le taxon avec une sûreté de 100 %, parce que les caractères de détermination pertinents ne sont pas suffisamment développés ou manquent en partie. Différents caractères laissent cependant supposer qu'il s'agit du taxon, ou lors d'un précédent relevé le taxon a présenté au même endroit les caractères de détermination pertinents. 4 : Détermination non fiable : une détermination est considérée non fiable lorsque les caractères de détermination ne sont pas suffisamment développés ou manquent. Différents caractères font en outre penser à plusieurs taxons et/ou la personne en charge du relevé ne connaît pas bien le taxon, par exemple parce qu'elle n'a pas encore eu souvent l'occasion de le déterminer, ou parce que le taxon est très rare. L'outil informatique d'évaluation automatisée compare ultérieurement le niveau de détermination avec les instructions de la liste des taxons. Afin d'assurer la qualité et d'améliorer la comparabilité des relevés réalisés par des personnes différentes, il contrôle si les parties de plantes indispensables pour le niveau taxonomique donné étaient présentes conformément à la liste des taxons et procède si nécessaire à l'attribution d'un agrégat.

État phénologique et habitus	Les divers taxons se distinguent par leur développement saisonnier et présentent des stades de développement différents lors de la cartographie. Comme tous les stades de développement observés doivent être notés, les mentions multiples sont possibles. Ces informations servent à vérifier le niveau de détermination conformément aux instructions de la liste des taxons (à l'aide de l'outil informatique d'évaluation automatisée). 1 : En germination : plantes isolées avec quelques feuilles submergées 2 : Submergées : plantes isolées bien développées jusqu'à des peuplements étendus de plantes sous l'eau ou jusqu'en surface 3 : Émergées : plantes isolées bien développées jusqu'à des peuplements étendus de plantes s'élevant aussi au-dessus de l'eau 4 : Bourgeons : bourgeons visibles au-dessous ou au-dessus de la surface de l'eau 5 : Fleurs : fleurs visibles au-dessous ou au-dessus de la surface de l'eau 6 : Fruits : fruits visibles au-dessous ou au-dessus de la surface de l'eau 7 : En sénescence : le corps de la plante commence à se décomposer ou la croissance de la plante est faible
Remarques espèces	Remarques concernant certaines espèces

4.7 Cartographie des conditions stationnelles

Influence des conditions abiotiques sur le type de cours d'eau défini par la végétation

Les conditions abiotiques déterminent la composition et la diversité floristiques d'une station. Les tronçons d'étude sont attribués à un type de cours d'eau défini par la végétation en fonction d'un choix de conditions stationnelles, puis évalués de façon conforme au type. Les paramètres abiotiques utilisés pour la typification sont signalés par un symbole (T) dans la liste ci-dessous et doivent être relevés avec un soin particulier.

Les paramètres abiotiques pertinents ainsi que les informations générales relatives au tronçon d'étude sont relevés sur le terrain et/ou déterminés à l'aide d'un SIG. Le relevé est effectué conformément à la liste qui suit et à la fiche de relevé de l'annexe A3. L'estimation des valeurs moyennes doit tenir compte de la totalité du tronçon d'étude et une valeur moyenne sur l'ensemble de la longueur et de la largeur du tronçon doit être donnée. Les paramètres également enregistrés dans le cadre des modules Écomorphologie – Niveau R (SMG ÉcR)[45] ou Aspect général (SMG AG)[46] sont relevés conformément à ces méthodes.

Paramètre	Description
Situation / coordonnées	La situation du tronçon d'étude est reportée sur une carte à l'échelle appropriée. Les coordonnées de l'extrémité aval du tronçon sont déterminées à l'aide d'un GPS ou d'un SIG.
Altitude	Altitude déterminée à l'aide d'un SIG[42] [m.s.m]
Longueur	Longueur du tronçon d'étude estimée sur le terrain ou déterminée à l'aide d'un SIG [m]
Largeur	
Largeur du lit ÉcR	Largeur moyenne estimée du lit du cours d'eau [m] → SMG ÉcR, p. 10
Largeur du lit mouillé	Largeur moyenne estimée du lit recouvert d'eau lors de la cartographie [m]
Variabilité de la largeur ÉcR	Variabilité de la largeur du lit mouillé en 3 classes → SMG ÉcR, p. 10 – 12 : 1 : Prononcée : changement important de la largeur du lit mouillé ou largeur du lit mouillé naturellement restreinte (exutoires des lacs, ruisseaux de tourbières) 2 : Limitée : changement rare de la largeur du lit mouillé 3 : Nulle : changement très faible de la largeur du lit mouillé
Pente T	La pente est déterminée sur toute la longueur du tronçon d'étude, c'est-à-dire de l'extrémité aval à l'extrémité amont : a. Estimation de la pente à l'aide d'un SIG [%][42] : idéalement réalisée avant le relevé de terrain (point 4.2), doit être vérifiée par une estimation sur le terrain. L'origine des données doit être mentionnée sur la fiche de relevé. b. Estimation de la pente sur le terrain [%] : doit être réalisée pour chaque tronçon d'étude, et sert à vérifier l'estimation du SIG directement sur le terrain ou immédiatement après le relevé de terrain.

Débit T

Différents débits sont déterminés pour chaque tronçon d'étude, certains idéalement avant même la cartographie (point 4.2) :

a. Mesure hydrologique [l/s] : une station hydrométrique est attribuée à chaque tronçon d'étude. Le numéro de la station de mesure (CH-2419, p. ex.), la moyenne pluriannuelle et la moyenne journalière (débit le jour de la cartographie) sont notés sur la fiche de relevé. Il faut aussi indiquer si les conditions d'écoulement (débit) à la station de mesure correspondent aux conditions d'écoulement dans le tronçon d'étude (dans le tronçon = station de mesure située dans le tronçon d'étude, ou aucun apport d'un affluent entre le tronçon d'étude et la station de mesure) ou si elles servent uniquement de grandeur indicative pour les conditions d'écoulement le jour du relevé (à proximité). Si la station de mesure se trouve dans le tronçon d'étude, il n'est pas nécessaire de procéder aux autres estimations (b-c).
b. Estimation du débit à l'aide d'un SIG[42] [l/s] : une valeur de débit est calculée à l'aide d'un SIG pour tous les tronçons d'étude sans station hydrométrique et doit être vérifiée au moyen de l'estimation du débit sur le terrain. L'origine des données doit être mentionnée sur la fiche de relevé.
c. Estimation du débit sur le terrain [l/s] : le débit est estimé sur le terrain pour tous les tronçons d'étude sans station hydrométrique. Cette estimation sert à vérifier l'estimation du débit fournie par le SIG directement sur le terrain ou immédiatement après le relevé de terrain.

La Figure 10 facilite l'estimation du débit sur le terrain.

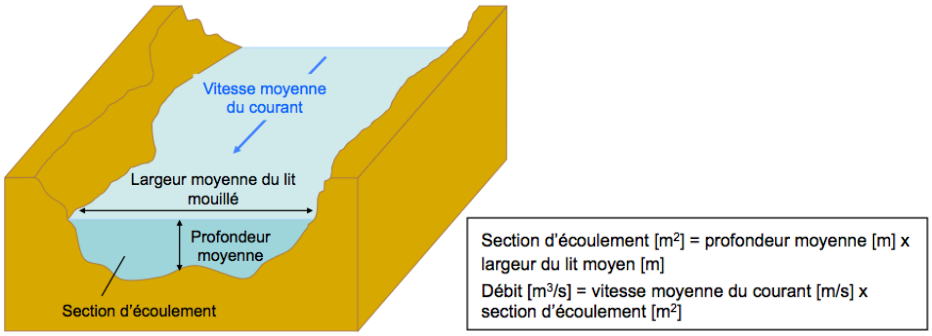


Figure 10 Grandeurs permettant d'illustrer une estimation du débit sur le terrain

Ombrage T

L'ombrage indique l'intensité à laquelle et la durée pendant laquelle un tronçon d'étude est ombragé par jour. L'ombrage est estimé de manière continue en pourcentage à l'aide de la taille et de la densité du boisement riverain et de son orientation par rapport au soleil. L'ombre projetée par des plantes herbacées (roselière, mégaphorbiée, p. ex.) n'est pas prise en considération. Les descriptions ci-dessous facilitent l'estimation de l'ombrage :

a. Très ensoleillé : au soleil de l'aube au crépuscule (ombrage : 0 – 20 %)
b. Ensoleillé : en plein soleil la majeure partie du temps entre l'aube et le crépuscule, mais toujours pendant les heures les plus chaudes de la journée (ombrage : 20 – 40 %)
c. Légèrement ombragé : au soleil la majeure partie du temps, mais à l'ombre pendant les heures les plus chaudes de la journée (ombrage : 40 – 60 %)
d. Mi-ombragé : à l'ombre plus de la moitié de la journée, et toujours à midi (ombrage : 60 - 80 %)
e. Ombragé : entièrement à l'ombre sous les arbres (ombrage : > 80 %)

Très ensoleillé : ombrage environ 10 %

Ensoleillé : ombrage environ 30 %

Mi-ombragé : ombrage environ 60 %

Ombragé : ombrage environ 85 %

Figure 11 Exemples de niveaux d'ombrage (orientation identique des ruisseaux par rapport au soleil)

Profondeur [T]	
Profondeur moyenne	Profondeur moyenne du cours d'eau estimée le jour du relevé [m]
Profondeur maximale	Profondeur maximale du cours d'eau estimée le jour du relevé [m]
Profondeur moyenne par niveau d'eau moyen [T]	Profondeur moyenne du cours d'eau estimée par niveau d'eau moyen [m]. Les débits actuels doivent être déterminés avant le relevé de terrain à l'aide de la station hydrométrique la plus proche (point 4.2) et reportés sur le protocole de relevé (voir débit, b). Le rapport entre le débit actuel et le débit moyen aide à déterminer le niveau d'eau moyen et ainsi à estimer la profondeur moyenne. La position de la ligne des eaux moyennes se reconnaît souvent grâce à la morphologie des rives et/ou à la végétation riveraine.
Variabilité de la profondeur	Variabilité de la profondeur du cours d'eau (profil en long et en travers) en 3 classes : 1 : Prononcée : variabilité importante, mouilles et radiers prononcés et/ou différences de profondeur en profil longitudinal ou transversal (zone de transition naturelle eau-terre) 2 : Modérée : variabilité limitée, peu de mouilles ou de radiers prononcés et/ou différences de profondeur en profil longitudinal ou transversal (zone de transition naturelle eau-terres) 3 : Nulle : aucune différence de profondeur dans le cours d'eau, ou alors très faible (canal)
Courant	La vitesse moyenne du courant dans le tronçon d'étude est estimée de façon continue [m/s]. En outre, la fréquence de 5 classes de vitesse[51] sur l'ensemble du tronçon est indiquée en pourcentage. Le total des classes de vitesse relevées donne 100 %. 1 : Presque pas d'écoulement, ou courant inversé [< 0,03 m/s] 2 : Écoulement très lent [0,03 – 0,1 m/s] 3 : Écoulement lent, eau presque lisse [0,1 – 0,3 m/s] 4 : Écoulement rapide, peu turbulent [0,3 – 1 m/s] 5 : Écoulement très rapide, turbulent [> 1 m/s]
Substrat	
Stabilité du substrat	La stabilité du substrat par débit élevé influence la colonisation par les macrophytes ainsi que la composition de la communauté. La végétation ne peut s'installer durablement que dans les stations où elle reste solidement ancrée, même en cas de débit élevé, et où elle n'est pas trop endommagée mécaniquement (par le charriage, p. ex.). La mobilité du substrat dépend notamment de la granulométrie du fond du lit, du régime d'écoulement et de la pente. Elle s'estime en 3 catégories : 1 : Très stable : substrat restant en place même en cas de débit élevé ; pas ou très peu de matériaux solides mobiles dans le cours d'eau 2 : Stable : substrat restant en place même en cas de débit élevé, mais quantités importantes de matériaux solides en mouvement dans le cours d'eau 3 : Instable : substrat mis en mouvement en cas de débit élevé

[51] Wörlein, F. 1992 : Pflanzen für Garten, Stadt und Landschaft. Taschenkatalog. Diessen am Ammersee.

Catégorie 1 : très stable | Catégorie 2 : stable | Catégorie 3 : instable

Figure 12 Les trois catégories de stabilité du substrat

Nature du substrat T

La nature (composition) du substrat minéral est estimée selon les 7 classes granulométriques usuelles[52]. Les substrats organiques sont également relevés. Pour chaque catégorie le pourcentage du lit qu'elle recouvre est indiqué. Le total des catégories de substrat relevé correspond ainsi à 100 % du fond du lit.

1 : Blocs/rochers (> 40 cm)
2 : Grosses pierres (20 – 40 cm)
3 : Galets (6,3 – 20 cm)
4 : Gravier grossier (2 – 6,3 cm)
5 : Gravier fin à moyen (0,2 – 2 cm)
6 : Sable (0,0063 – 0,2 cm)
7 : Limon/argile (< 0,0063 cm) (sédiment fin inorganique)
8 : Vase (sédiment fin organique)
9 : Humus/tourbe
10 : Substrats artificiels

Il arrive que le fond aménagé d'un cours d'eau soit partiellement ou entièrement recouvert par un substrat naturel. Dans ce type de cas, il faut indiquer pour la nature du substrat la fréquence en pourcentage des classes de substrat visibles, qui additionnées correspondent à 100 %.

En complément à la nature du substrat, le degré et le type d'aménagement du fond du lit doivent être relevés le mieux possible et reportés sous les paramètres « Aménagement du fond du lit » et « Type d'aménagement du fond du lit ». Il faut aussi noter dans le champ réservé aux remarques quelle proportion du fond du lit aménagé est recouverte de substrat naturel.

Il est difficile de distinguer le substrat naturel d'un remblai. Un pied de berge fortement aménagé et un fond de lit composé d'un matériel étonnamment grossier et homogène peuvent signaler un remblai. En cas de doute, les remblais sont saisis comme substrat naturel, avec un commentaire dans le champ réservé aux remarques.

[52] Schachtschabel, P. et al. 1992 : Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart : 491 p.

Aménagement du fond du lit ÉcR	Les aménagements du fond du lit exercent une influence décisive sur les macrophytes et sont donc relevés → SMG ÉcR, pp. 13 – 14
Degré d'aménagement	Estimation du degré d'aménagement [%] en 6 classes : 1 : Fond totalement naturel (0 %) 2 : Aménagements localisés/ponctuels, seuils, chutes (< 10 %) 3 : Aménagements modérés (10 – 30 %) 4 : Aménagements importants (30 – 60 %) 5 : Aménagements prépondérants (> 60 %) 6 : Fond totalement aménagé (100 %) Lors de l'estimation du degré d'aménagement, il faut veiller à ce que les classes estimées correspondent à la catégorie définie pour la nature du substrat (10 : Substrat artificiel).
Type d'aménagement	Relevé du matériau dominant en termes de surface en 5 classes : 1 : Pierres naturelles (empierrement/enrochement) 2 : Bois 3 : Briques perforées en béton 4 : Imperméable/béton 5 : Autres/étanches
Renforcement du pied de berge ÉcR	Les renforcements du pied de berge exercent une influence décisive sur les macrophytes et sont donc relevés → SMG ÉcR, p. 14 – 17
Degré de renforcement	Estimation du degré d'aménagement du pied de berge [%] en 6 classes et séparément pour chaque rive : 1 : Pied de berge largement non renforcé (0 %) 2 : Renforcements ponctuels (< 10 %) 3 : Renforcements moyens (10 – 30 %) 4 : Renforcements importants (30 – 60 %) 5 : Renforcements prépondérants (> 60 %) 6 : Pied de berge totalement renforcé (100 %)
Type de renforcement	Relevé du matériau dominant en termes de surface en 7 classes et séparément pour chaque rive : 1 : Matériau végétal 2 : Pierres naturelles lâches 3 : Bois 4 : Briques perforées en béton 5 : Pierres naturelles, étanches 6 : Mur 7 : Autres/imperméables
Rive ÉcR	La végétation poussant dans la zone riveraine influence les communautés macrophytiques, notamment par l'ombre qu'elle projette, et est donc relevée SMG ÉcR, pp. 17 – 23.
Largeur	Largeur moyenne des rives, estimée séparément pour chaque rive [m]

Nature	Relevé de la nature dominante des rives en termes de surface en 9 classes et séparément pour chaque rive : 1 : Roselière, marais 2 : Forêt 3 : Arbres/buissons avec prairie extensive ou mégaphorbiée 4 : Mégaphorbiée uniforme 5 : Prairie extensive non boisée 6 : Plantation linéaire de ligneux 7 : Sans végétation/artificielle 8 : Gravier, galets, rochers 9 : Autre
Milieu environnant	Pour caractériser le tronçon d'étude, l'occupation dominante du milieu environnant est relevée en 9 classes et séparément pour chaque rive : 1 : Forêt mixte 2 : Forêt de résineux (> 75 % de résineux) 3 : Forêt de feuillus (> 75 % de feuillus) 4 : Prairie grasse, champ, pâturage 5 : Prairie maigre, mégaphorbiée 6 : Roselière, marais 7 : Zones alluviales 8 : Zone habitée 9 : Autre
Aspect général	
Colmatage AG	Relevé du colmatage en 3 classes → SMG AG, pp. 22 – 23 : 1 : Aucun : les pierres peuvent être détachées à la main du fond du lit, sans effort 2 : Faible à moyen : les pierres ne peuvent être détachées que difficilement du fond du lit3 : Fort : les pierres ne peuvent pas être détachées du fond du lit sans outil
Turbidité AG	Relevé de la turbidité en 3 classes → SMG AG, pp. 14 – 15, sans flacon de verre : 1 : Nulle 2 : Faible à moyenne 3 : Forte
Photos	Le tronçon d'étude est photographié de son extrémité aval vers l'amont (up) et de son extrémité amont vers l'aval (down) et les photos sont enregistrées comme suit : Stations NAWA : CH_ID_KT_yyyymmdd_MP_UP p. ex. CH_011_ZH_20170605_UP_1. L'ID (numéro d'identification) se compose toujours de trois chiffres pour les stations NAWA. Stations du projet : KT_ID_yyyymmdd_MP_DOWN p. ex. AG_011_20170712_DOWN_1.
Remarques	Informations diverses relatives au tronçon d'étude, portant p. ex. sur l'accessibilité, les fauchages effectués ou les néophytes terrestres.
Cours d'eau parcourable à pied	Il faut noter si le cours d'eau est parcourable avec des cuissardes dans le tronçon d'étude (oui = 1 ; non = 2). Si ce n'est pas le cas, il faut préciser si le relevé est effectué depuis chaque rive (oui = 1 ; non = 2). Si le relevé n'est pas effectué depuis chaque rive, il faut noter depuis laquelle il est effectué (gauche = 1; droite = 2, dans le sens du courant).

Désherbage du fond du lit et de la berge	Il faut noter si des indices laissent supposer que le fond du lit a été curé (ou faucardé) ou la berge fauchée récemment (oui = 1 ; non = 2).
Néophytes terrestres	La présence ou l'absence de néophytes terrestres est notée séparément pour chaque rive (oui = 1 ; non = 2). Si des néophytes sont observées, leur fréquence est estimée en trois catégories (sporadiques = 3 ; fréquentes = 4 ; en masse = 5) et notée dans le champ réservé aux remarques.
Commentaires	Commentaires sur des irrégularités lors du relevé et des particularités observées dans le tronçon d'étude, p. ex. en cas de déversements marquants, de développement d'organismes hétérotrophes ou d'espèces d'algues étranges (algues rouges, p. ex.), de tronçons de retenue ou de tronçons à débit résiduel présumés, etc.

4.8 Rassemblement des données brutes

En vue de la mise en valeur ultérieure, les données brutes consignées sur les fiches de relevé sont rassemblées selon les indications de l'annexe numérique « DA2 Feuilles de saisie pour le rassemblement des données sur le site et les espèces ». Leur exhaustivité est également contrôlée.

5 Typification

5.1 Généralités

Transfert des données dans l'outil d'analyse

Les données brutes rassemblées conformément aux feuilles de saisie (DA2) sont transférées dans un outil d'analyse informatique. Cet outil et un guide d'utilisation détaillé font partie intégrante de l'annexe numérique DA3.

Contrôle de l'exhaustivité et de la cohérence des données par l'outil d'analyse

L'outil d'analyse vérifie si les données sur les stations et sur la végétation, indispensables à la typification et à l'évaluation, sont exhaustives et cohérentes, puis rassemble les données contrôlées selon DA3. Les vérifications à effectuer sont documentées dans le guide d'utilisation de l'outil informatique. Les relevés contenant des données manquantes, erronées ou incohérentes sont listés.

Données manquantes complétées et données incohérentes corrigées par le collaborateur de terrain

Les tronçons d'étude présentant des données incohérentes ou manquantes doivent être autant que possible corrigés par le collaborateur de terrain ou supprimés du jeu de données si les paramètres indispensables à la typification et à l'évaluation ne peuvent pas être complétés ultérieurement.

Typification et rassemblement des grandeurs de typification par l'outil d'analyse

L'outil d'analyse classe ensuite les tronçons d'étude selon le schéma de typification (Figure 13) et génère pour chaque tronçon d'étude une liste de différentes grandeurs de typification (point 5.4). Cette liste contient le type de cours d'eau et indique le degré de concordance d'un tronçon d'étude avec les autres types de cours d'eau.

5.2 But de la typification

Pourquoi une typification ?

Les macrophytes ne trouvent pas dans tous les cours d'eau. Là où ils sont présents, leur composition peut en outre varier fortement selon le type de cours d'eau. L'évaluation de la végétation aquatique nécessite ainsi de bonnes connaissances sur la végétation naturelle des divers cours d'eau, et donc une typologie de ces derniers.

Lien entre facteurs stationnels et composition des formes de croissance

Les conditions abiotiques qui règnent dans un cours d'eau déterminent la composition, la diversité et la biomasse de la végétation aquatique d'une station. Seules les espèces pour lesquelles les exigences écologiques sont remplies peuvent coloniser une station. Les plantes aquatiques réagissent aux conditions environnementales dominantes par des adaptations morphologiques. Les exigences écologiques[36, 37] et la forme de croissance d'une espèce sont liées (point 2.3). L'éventail des formes de croissance renseigne donc sur les conditions stationnelles qui dominent dans un cours d'eau.

Sur la base de quelques facteurs stationnels, la typification vise à classer les cours d'eau en différents types présentant une végétation prévisible, qui soit la plus homogène possible.

Typification à la base de l'évaluation

La végétation des différents types de cours d'eau ainsi définis est déterminée à l'aide de caractéristiques floristiques spécifiques qui reflètent les aspects de la communauté végétale importants d'un point de vue écologique, tels que le nombre d'espèces ou le taux de recouvrement absolu (=biomasse). Ces caractéristiques devraient être aussi constantes que possible au sein d'un type, c'est-à-dire indépendantes des gradients environnementaux naturels. C'est à cette seule condition que les modifications des caractéristiques floristiques spécifiques induites par les activités humaines pourront être utilisées pour l'évaluation de la végétation.

Difficultés

Plus le nombre de types de cours d'eau créés est élevé, c'est-à-dire plus la subdivision des facteurs stationnels est fine, plus la végétation est homogène au sein d'un type. En même temps, seul un très grand nombre de types permet de couvrir l'intégralité des facteurs stationnels et des combinaisons de critères. La difficulté a consisté à créer le juste nombre de types de cours d'eau (autant que nécessaire et aussi peu que possible).

5.3 Développement de la typologie

Les méthodes statistiques donnent 5 à 9 types de cours d'eau

Les travaux de Van de Weyer[39, 40, 53] ont démontré que la composition des formes de croissance peut être utilisée pour la caractérisation des relevés de la végétation. Le jeu de données Macrophytes Suisse (point 3.3) a donc été classé par similarité au moyen d'analyses cluster multivariées[54] sur la base 1.) de la composition des formes de croissance et 2.) des données sur les stations. Ces deux analyses ont montré indépendamment l'une de l'autre qu'une subdivision en 5 à 9 types est judicieuse. Parmi ceux-ci, 3 ou 4 types sont riches en macrophytes supérieurs, présentent une composition caractéristique de formes de croissance et peuvent aussi pour la plupart être déterminés clairement sur le terrain. Les types de cours d'eau dominés par les bryophytes sont également bien délimitables. Par contre, il est plus difficile de caractériser et de définir les limites des types présentant une composition hétérogène des formes de croissance, ainsi que les types pauvres en végétation. Comme on pouvait s'y attendre, les analyses ont aussi confirmé que des transitions fluides existent entre les groupes.

Grandeurs clés de la typification

L'analyse des liens entre la composition des formes de croissance et les différents facteurs stationnels a montré que la **pente**, le **débit moyen** et la **profondeur moyenne de l'eau**, l'**ombrage** et la **nature du substrat** permettaient très bien de différencier les types de cours d'eau.

Définition des limites de classes

Les limites de classes utilisées pour les facteurs stationnels des différents types de cours d'eau ont été fixées dans le cadre d'un processus itératif, en veillant à ce que la composition des formes de croissance au sein des différents types soit la plus homogène possible et que le minimum de liens apparaissent entre les caractéristiques floristiques spécifiques et les facteurs stationnels.

Vérification de la typification par des spécialistes

La présente typologie a été développée en collaboration avec un groupe de spécialistes. Celui-ci s'est penché sur tous les types de cours d'eau, en particulier sur les types pour lesquels peu de données étaient disponibles, et en a contrôlé la vraisemblance.

Lien avec la Typologie des cours d'eau suisses

La première étape du développement de la typologie a consisté à examiner s'il existe des liens entre les 54 types de cours d'eau de la Typologie des cours d'eau suisses[55] et la composition floristique. Comme cela n'était pas le cas, la présente typologie a été mise au point indépendamment de la Typologie des cours d'eau suisses.

5.4 La typification et ses limites

Affectation à un type de cours d'eau défini par la végétation

Le schéma de typification (Figure 13) indique sur la base de quelle combinaison de grandeurs clés et de limites de classes les tronçons d'étude sont affectés aux différents types de cours d'eau. Une distinction est établie entre les types de base, les types de transition et les types pauvres en végétation.

---

53 Van de Weyer, K. 2001 : Klassifikation der aquatischen Makrophyten der Fließgewässer von Nordrhein-Westfalen gemäß den Vorgaben der EU-Wasser-Rahmen-Richtlinie. LUA NRW, Merkblätter 30 : 108 p.

54 Wildi, O. 2010 : Data analysis in vegetation ecology. John Wiley & Sons.

55 Schaffner, M. et al. 2013 : Typologie des cours d'eau suisses. Une base pour l'évaluation et le développement des cours d'eau. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1329 : 63 p.

Ombrage	Ombrage < 50%				Ombrage ≥ 50%	
Substrat	Substrat fin (granulométrie < 6,3 cm) dominant en fonction du débit			Substrat grossier (granulométrie > 6,3 cm) dominant en fonction du débit		Substrat fin
Pente	< 0,5 % peu raide	moyennement raide profond	≥ 0,5 - < 2 % moyennement raide	0 - < 2 % peu à moyennement raide	0 - X % peu raide à raide	0 - X % peu raide à raide
Profondeur	≥ 0,31 m profond	peu raide peu profond	< 0,31 m peu profond	0 - X m peu profond à profond	0 – X m peu profond à profond	0 - X m peu profond à profond
Débit / Substrat 200 l/s < 40 % substrat grossier	**PS**	PS-PH PS-PH	**PH**	PH-PB	**PB**	PV
≥ 200 - <1000 l/s < 50 % substrat grossier	**MS**	MS-MH MS-MH	**MH**	MH-MB	**MB**	PV
≥1000 - <2000 l/s < 50 % substrat grossier	**GS**	PV	PV	PV	**GB**	PV
≥ 2000 - <10 000 l/s < 60 % substrat grossier	**TGS**	PV	PV	PV	**TGB**	PV
	Types de base **à submergées**	Types de transition **à submergées et hélophytes**	Types de base **à hélophytes**	Types de transition **à hélophytes et bryophytes**	Types de base **à bryophytes**	**pauvres en végétation (PV)**

Figure 13 Schéma de typification

Les noms des types de cours d'eau dérivent du débit (P = petit ; M = moyen ; G = grand ; TG= très grand) et de la/des forme(s) de croissance déterminant l'aspect (S = à submergées ; H = à hélophytes ; B = à bryophytes) ; PV = pauvres en végétation.

Type de base

Les 10 types de base sont répartis en 3 groupes présentant chacun un aspect différent en fonction de la forme de croissance dominante (point 2.3) : types à submergées, dominés par des hydrophytes, types à hélophytes et types à bryophytes. Dans les types de base, la composition des peuplements est homogène et relativement prévisible sur la base des conditions stationnelles dominantes et des exigences des formes de croissance.

Types de transition

Les 4 types de transition se trouvent chacun entre deux types de base en ce qui concerne la combinaison des facteurs stationnels. Ce sont de bons habitats pour diverses formes de croissance, mais ils ne sont optimaux pour aucune. La composition des peuplements est donc plus difficile à prévoir que pour les types de base.

Types pauvres en végétation

Alors que, dans les types de base et de transition, les facteurs stationnels dominants laissent prévoir la présence de macrophytes, les conditions défavorables qui règnent dans les types pauvres en végétation se traduisent par une végétation peu abondante, pratiquement impossible à prévoir.

Champ d'application de la typification

La typification s'applique aux cours d'eau dont le débit annuel moyen est inférieur à 10 000 l/s (point 3.3). Dans les cours d'eau bénéficiant de beaucoup de lumière, les tronçons peuvent être pris en considération jusqu'à une pente de 2 %, alors que dans les cours d'eau ombragés la pente n'est pas un critère de différenciation. Le jeu de données Suisse utilisé pour le développement de la méthode contenait un nombre très variable de tronçons d'étude par type de cours d'eau (annexe A1). Vu le nombre limité de tronçons à disposition pour les grandes à très grandes rivières, il a fallu davantage faire appel à l'expérience des spécialistes pour déterminer les types de cours d'eau à forts débits (> 1000 l/s) que pour les petits cours d'eau, pour lesquels les données disponibles étaient plus nombreuses.

Typification versus transitions naturelles fluides

Une typification avec des limites de classes fixes ne permettra jamais de rendre compte exactement des transitions fluides qui se présentent dans la nature. Les tronçons d'étude proches de la limite avec un type voisin du point de vue de certains paramètres de typification peuvent présenter naturellement une autre végétation que les tronçons d'étude, qui du point de vue des facteurs stationnels, se trouvent au centre du type. Plus un paramètre de typification est proche de la limite avec le type voisin, plus il est vraisemblable que la végétation soit différente.

Des estimations inexactes peuvent fausser la typification

Des estimations trop inexactes des paramètres de typification peuvent également fausser l'affectation des tronçons d'étude. Aussi bien les estimations des facteurs stationnels sur le terrain que les valeurs tirées d'un SIG (débit, pente) présentent des marges d'erreur. Pour les paramètres profondeur de l'eau, proportion de pierres et ombrage, relevés sur le terrain, les plages d'erreur ont été fixées en consultant les spécialistes. Pour les valeurs débit moyen et pente, obtenues à l'aide d'un SIG, les marges d'erreur ont été estimées en comparant différents modèles SIG et en utilisant plusieurs longueurs de tronçon. Les valeurs de débit modélisées ont en outre été comparées, lorsque cela était possible, avec des mesures hydrologiques.

Calcul des probabilités d'après le schéma de typification

Afin de respecter les transitions fluides dans la nature et de tenir compte de l'imprécision des valeurs estimées, aussi bien les limites entre les types que les facteurs stationnels mesurés ou estimés sont traités comme des grandeurs manquant de fiabilité. Ces imprécisions sont quantifiées au moyen de distributions normales ou lognormales discrètes. Cela donne pour chaque tronçon d'étude une distribution de probabilités sur les types au lieu d'un type unique. Lorsque tous les paramètres stationnels se situent dans la zone centrale d'un type, celui-ci obtient une probabilité élevée > 90 %). Mais si un ou plusieurs paramètres stationnels sont proches d'une limite de type, des probabilités pertinentes (> 10 %) peuvent apparaître pour plusieurs types. Les probabilités indiquent ainsi le degré de concordance d'un tronçon avec les types de cours d'eau définis selon le schéma de typification, sur la base des paramètres stationnels et de l'imprécision de l'observation. L'annexe numérique DA4 contient plus de détails sur les écarts types utilisés pour les limites de type et les observations ainsi que les distributions pour la description des incertitudes liées à l'estimation des paramètres et aux limites de classes.

Calcul des probabilités modifiées

Afin de faciliter le contrôle de vraisemblance et la typification finale, les probabilités obtenues pour les divers types sont agrégées en probabilités modifiées selon le schéma de typification (Figure 13). Ces probabilités modifiées indiquent à quel point un site d'étude concorde sur la base des facteurs stationnels avec les types auxquels une fonction d'évaluation est attribuée. Pour cela, les probabilités des types de transition à submergées et hélophytes sont affectées aux types de base qui conviennent : pour le type de transition PS-PH, la moitié de la probabilité du type de transition est ajoutée à la probabilité du type de base PS, l'autre moitié à la probabilité du type de base PH. De la même manière, la moitié de la probabilité du type de transition MS-MH est ajoutée à la probabilité du type de base MS, l'autre moitié à la probabilité du type de base MH. Les probabilités modifiées calculées signalent ainsi des types de cours d'eau alternatifs et sont utilisées comme aides pour le contrôle de vraisemblance et la répartition finale des types (chap. 7).

Calcul des probabilités des formes de croissance

En plus, les probabilités des types de cours d'eau par tronçon d'étude sont encore rassemblées au niveau des formes de croissance. À cette fin, les probabilités obtenues pour les types de base à submergées, à hélophytes et à bryophytes sont additionnées sans tenir compte des classes de débit. Pour les types de transition à hélophytes et bryophytes (PH-PB, MH-MB), l'affectation des probabilités aux types de base est un

peu plus différenciée. Si le tronçon est peu raide et peu profond, ou raide et profond, la probabilité du type de transition est répartie en trois entre les types de base à hélophytes, à submergées et à bryophytes de la même classe de grandeur (autrement dit, un tiers de la probabilité de PH-PB est additionné à la probabilité de PS, un tiers à celle de PH et un tiers à celle de PB, et il en va de même pour MH-MB). Si le tronçon est profond et peu raide, la probabilité est partagée en deux entre les types de base à submergées et à bryophytes. Si le tronçon est peu profond et raide, elle est partagée en deux entre les types de base correspondants pour les ruisseaux à hélophytes et à bryophytes. L'annexe numérique DA4 contient une liste détaillée des combinaisons d'intervalles et de leur répartition entre les différents types. Les probabilités des formes de croissance calculées montrent ainsi quelle forme de croissance est la plus prévisible dans un tronçon d'étude sur la base des facteurs stationnels.

5.4.1 Produits finaux de la typification et représentation des résultats

La typification et le calcul des probabilités se font au moyen de l'outil d'analyse. Le produit final de la typification est une compilation des informations suivantes par tronçon d'étude, conformément à l'annexe numérique DA3 :

T1. Type de cours d'eau selon le schéma de typification (Figure 13). Pour les types possédant leur propre fonction de valeur, ce type est utilisé par défaut pour l'évaluation.
T2. Type de cours d'eau selon le schéma de typification présentant la probabilité la plus élevée.
T3. Type de cours d'eau utilisé pour l'évaluation. Pour les types possédant leur propre fonction de valeur, ce type correspond par défaut au type selon le schéma de typification (T1). Pour les types de transition à submergées et hélophytes, ce type correspond au type de base voisin présentant la probabilité modifiée la plus élevée.
T4. Type de cours d'eau le plus probable sur la base des probabilités modifiées calculées.
T5. Ces colonnes indiquent les probabilités des types de cours d'eau par tronçon d'étude au niveau des formes de croissance.
T6. Ces colonnes indiquent pour chaque tronçon d'étude les probabilités modifiées de tous les types possédant une fonction de valeur.
T7. Ces colonnes indiquent pour chaque tronçon d'étude les probabilités de tous les types selon le schéma de typification.

Les différents types de cours d'eau sont dénommés et représentés conformément au Tableau 5.

Tableau 5 Nom, sigle et symbole utilisés pour représenter les différents types de cours d'eau

Nom	Sigle	Sym-bole couleur	Valeur RVB
Petit type à submergées	PS	●	148/32/146

Type moyen à submergées	MS		148/32/146
Grand type à submergées	GS		148/32/146
Très grand type à submergées	TGS		148/32/146
Petit type à submergées et hélophytes	PS-PH		117/83/194
Type moyen à submergées et hélophytes	MS-MH		117/83/194
Petit type à hélophytes	PH		49/132/155
Type moyen à hélophytes	MH		49/132/155
Petit type à hélophytes et bryophytes	PH-PB		139/139/139
Type moyen à hélophytes et bryophytes	MH-MB		139/139/139
Petit type à bryophytes	PB		123/64/55
Type moyen à bryophytes	MB		123/64/55
Grand type à bryophytes	GB		123/64/55
Très grand type à bryophytes	TGB		123/64/55
Type pauvre en végétation	PV		255/209/142

5.5 Les types de cours d'eau définis par la végétation

Distribution principale des types de cours d'eau définis par la végétation

Dans les chapitres 5.5.1 à 5.5.6, les différents types de cours d'eau définis par la végétation sont caractérisés à l'aide de photographies, de descriptions écrites et des principales caractéristiques morphologiques et floristiques. Pour cette caractérisation, il faudrait des tronçons non influencés par l'homme du point de vue morphologique, hydrologique et chimique. Or le jeu de données disponible contient peu de tronçons intacts pour de nombreux types de cours d'eau. Les macrophytes ont leur aire de répartition principale dans les cours d'eau bénéficiant de beaucoup de lumière et de pente faible à moyenne. Comme ces cours d'eau se trouvent généralement dans des bassins versants densément peuplés et voués à une utilisation agricole intensive, les tronçons non influencés sont rares.

Sélection de tronçons de référence pour la caractérisation

Les analyses des données existantes ont révélé des liens entre l'état de la végétation et l'état écomorphologique des cours d'eau. Par contre, peu de liens ont été constatés entre la végétation et les paramètres reflétant une pollution chimique. C'est pourquoi ce sont les tronçons dont la morphologie était la moins détériorée qui ont été choisis en premier pour la caractérisation des types de cours d'eau. Ces tronçons de référence devaient présenter à la fois un bon état écomorphologique (au minimum), une variabilité limitée à prononcée concernant la largeur et la profondeur du lit. Les tronçons pour lesquels le contrôle de vraisemblance a fait apparaître des doutes sur l'évaluation écomorphologique ou l'exhaustivité du relevé de terrain ont été exclus. Pour quelques types, il a fallu parfois se rabattre sur des tronçons à l'état écomorphologique fortement dégradé pour obtenir au minimum 10 tronçons de référence par type de cours d'eau.

Ensuite, 30 % des tronçons affichant la plus forte part d'agriculture dans le bassin versant ont été retirés de ces tronçons présentant les meilleures conditions morphologiques. Ainsi, seuls les meilleurs tronçons du point de vue morphologique qui

étaient les moins pollués par l'agriculture ont été pris en considération comme tronçons de référence[56]. Ceux-ci étaient aussi généralement ceux qui recevaient la plus faible proportion d'eaux usées au sein du type de cours d'eau considéré.

Caractérisation des types de cours d'eau à l'aide des tronçons de référence

La caractérisation repose ainsi selon le type de cours d'eau sur un nombre variable de tronçons plus ou moins perturbés par les activités humaines et montre la modalité moyenne des caractéristiques à l'aide des tronçons les meilleurs du point de vue morphologique et les moins pollués possibles par l'agriculture. Les principales caractéristiques sont énumérées dans les tableaux 6 à 11. Concernant les paramètres stationnels utilisés pour la typification, les minima et maxima indiqués se trouvent dans certains cas en dehors des plages de valeurs pour les types de cours d'eau définis selon le schéma de typification (Figure 13). Cela est dû au fait que la vraisemblance de l'attribution aux types utilisée pour la caractérisation des tronçons de référence a été contrôlée (chap. 7). Les reclassements dans d'autres types de cours d'eau font que le tronçon d'étude s'écarte de la répartition théorique selon le schéma de typification au niveau de certains paramètres. L'annexe numérique DA5 contient une liste de l'ensemble des paramètres stationnels, des caractéristiques floristiques et des polluants anthropiques pour les tronçons de référence et les tronçons les plus perturbés par les activités humaines. Les paramètres pour l'évaluation écomorphologique, l'utilisation agricole des terres dans le bassin versant et la proportion des eaux usées permettent de comparer la pollution d'origine anthropique des tronçons utilisés pour la caractérisation au sein des divers types de cours d'eau.

La comparaison des meilleurs tronçons avec les plus mauvais fait ressortir des liens entre la pollution d'origine anthropique et l'état de la végétation

Afin d'identifier les liens entre la pollution d'origine anthropique et la végétation, les tronçons de référence ont été comparés avec les tronçons les plus fortement perturbés par les activités humaines pour chaque type de cours d'eau. Les tronçons les plus fortement perturbés par les activités humaines comprennent les 70 % des tronçons les plus pollués par l'agriculture, qui n'atteignent pas l'état écomorphologique exigé pour les tronçons de référence. Les annexes numériques DA5 et DA6 montrent la comparaison des paramètres stationnels, des caractéristiques floristiques et des paramètres de pollution anthropique entre les tronçons de référence et les tronçons les plus fortement perturbés par les activités humaines. Un résumé de ces évaluation au niveau des groupes de formes de croissance (types à submergées, à hélophytes, etc.) se trouve dans l'annexe A7.

5.5.1 Les types à submergées (PS, MS, GS, TGS)

[56] Kunz, M. et al. 2016 : État des cours d'eau suisses. Résultats de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) 2011-2014. Office fédéral de l'environnement, Berne. État de l'environnement n° 1620 : 92 p.

PS : Fossé entre les lacs de Schwendi (SG)

MS : Chriesbach (ZH)

GS : Urtenen (BE)

TGS : Rheintaler Binnenkanal (SG)

Figure 14 Exemples de types de base à submergées

Caractérisation des conditions stationnelles

Les types à submergées sont des cours d'eau bénéficiant de beaucoup de lumière, de faible pente et de profondeur moyenne (Tableau 6, DA5). Le substrat se compose majoritairement de fractions fines comme le gravier et les petits galets (diamètre < 6,3 cm) ou contient des pourcentages élevés de sédiments fins organiques (Figure 15) ; la part de substrat grossier, la largeur du lit et le numéro d'ordre des cours d'eau augmentent avec le débit. On distingue quatre types en fonction du débit. Comme le jeu de données contenait un nombre insuffisant de tronçons appartenant au grand type à submergées (GS) et que ces derniers affichaient un débit plus proche du moyen que du très grand type à submergées, le grand type à submergées est regroupé avec le moyen type à submergées (MS) pour la caractérisation et l'évaluation ultérieure.

Caractérisation de la végétation

L'aspect de tous les types est marqué par les plantes aquatiques qui recouvrent une part substantielle du fond du lit (Figure 15). Dans la zone riveraine, des hélophytes colonisent l'eau peu profonde à écoulement lent ; elles sont remplacées par des hydrophytes dans l'eau plus profonde. Dans les petits (PS), moyens et grands types à submergées, la totalité de la section transversale du cours d'eau peut être colonisée par des plantes du fait de la profondeur et du courant, alors que dans le très grand type (TGT), les plantes se cantonnent généralement à la rive. Des bryophytes sont présentes sporadiquement avec un faible recouvrement sur le substrat stable en place. Dans le très grand type à submergées, le recouvrement total est nettement plus faible que dans les petits types à submergées. Du point de vue floristique, les types à submergées constituent les types de cours d'eau les plus intéressants : ce sont eux qui abritent la plus forte proportion d'espèces prioritaires et le plus grand nombre de taxons et de formes de croissance. Le petit type à submergées (PS) représente un cas à part parmi les types à submergées, car la présence d'hydrophytes n'est, en raison des conditions naturelles, pas nécessaire (point 7.2.2)

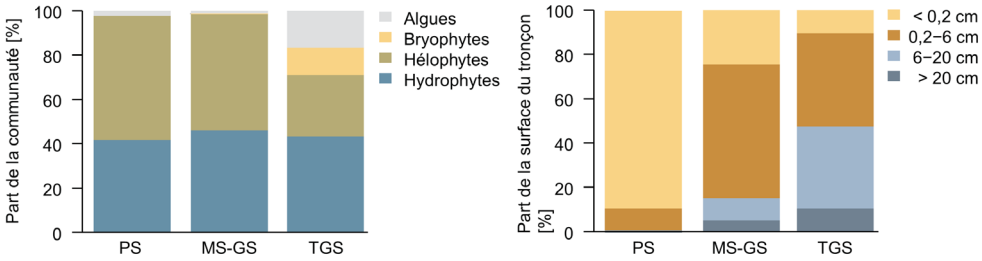


Figure 15 Fréquence relative moyenne (médiane) des formes de croissance (à gauche) et nature du substrat selon les classes granulométriques (à droite) dans les petits (PS), moyens à grands (MS-GS) et très grands types à submergées (TGS).

Perturbations anthropiques des types à submergées

Les types à submergées se trouvent principalement dans les plaines du Plateau, mais aussi à plus haute altitude. Ces grandes plaines sont le plus souvent vouées à une agriculture intensive et densément peuplées. Les types à submergées sont donc pour la plupart aussi bien dégradés du point de vue morphologique que pollués par des substances chimiques. C'est aussi ce que montre l'état écomorphologique (Tableau 6) des tronçons utilisés pour la caractérisation. Les tronçons d'étude présentant un bon état écomorphologique sont souvent des tronçons revitalisés. Dans le jeu de données disponible, les grands et très grands types à submergées étaient seulement représentés par quelques tronçons à l'état écomorphologique généralement insuffisant. La comparaison des tronçons de référence utilisés pour la caractérisation avec les tronçons plus fortement perturbés par les activités humaines (annexe A7) montre que :

- dans les tronçons de référence, le nombre de taxons et de formes de croissances des hélophytes et hydrophytes ainsi que la qualité spécifique des macrophytes sont plus élevés. La qualité spécifique est mesurée par le nombre de taxons caractéristiques des eaux dans le tronçon (taxons auxquels est attribuée une valeur guide) ;
- dans les tronçons davantage perturbés, quelques taxons ont tendance à dominer ;
- la fréquence relative des hélophytes diminue à mesure que l'aménagement du cours d'eau augmente, tandis que, dans quelques types de cours d'eau, la fréquence relative des macrophytes submergés augmente avec l'aménagement du cours d'eau, au détriment des hélophytes.

Tableau 6 **Caractérisation des types à submergées (PS, MS-GS, TGS) à l'aide des principaux paramètres stationnels,végétaux et des influences humaines. Le tableau donne la médiane, le minimum et le maximum des sites de référence (nombre de sites de référence indiqué entre parenthèses à la suite du type de cours d'eau).**

Paramètre (unité)		Types à submergées								
		PS (7)			**MS-GS** (7)			**TGS** (7)		
Station		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Ombrage	%	12.5	1.0	62.5	12.5	0.0	62.5	12.5	0.0	37.5
Proportion de pierres	%	5.0	0.0	70.5	19.2	4.0	56.0	50.0	40.0	60.0
Pente (SIG)	%	0.29	<0.01	0.87	0.43	0.05	0.46	0.04	<0.01	0.11
Profondeur moyenne	m	0.45	0.10	0.80	0.40	0.20	0.70	0.60	0.30	1.00
Profondeur maximale	m	0.60	0.30	1.00	0.90	0.40	1.10	0.90	0.45	1.80
Débit	l/s	48	4	276	568	319	1189	7820	3100	8580
Largeur du fond	m	2.5	2.0	4.0	7.0	3.0	10.0	10.0	4.0	20.0
NOCE	-	2.5	1	3	3	1	4	6	4	6
Végétation		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Recouvrement absolu										
Hydrophytes	%	21.3	7.4	38.7	33.0	14.1	59.5	17.5	4.0	34.8
Hélophytes	%	30.0	6.5	58.2	21.1	6.1	45.8	5.7	0.0	28.4
Bryophytes	%	0.1	0.0	1.5	0.2	0.0	0.8	5.0	0.2	12.6
Algues	%	1.8	0.0	39.6	0.5	0.0	38.2	3.1	0.2	23.3
Nombre d'espèces										
Hydrophytes	-	2	1	6	3	1	5	3	2	6
Hélophytes	-	9	4	13	7	3	11	3	0	7
Bryophytes	-	2	0	2	1	0	2	1	1	3
Nombre de formes de croissance										
Hydrophytes	-	2	1	6	3	1	4	2	2	5
Hélophytes	-	4	3	7	4	2	5	2	0	4
Influences humaines		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Écomorphologie[1]	-	0.75	0.66	0.85	0.81	0.71	0.90	0.53	0.40	0.95
Agriculture EZG[2]	%	38.8	21.5	49.5	31.2	0.4	44.0	38.7	34.0	46.5
Proportion d'eaux usées[2]	%	1.6	0.0	19.2	12.8	0.0	17.9	0.9	0.0	14.8

[1] évaluation écomorphologique globale selon le module Écomorphologie Niveau R, 1 = très bon état, 0 = état insatisfaisant ; [2] Source : Office fédéral de l'environnement (OFEV), Subdivision de la Suisse en bassins versants (EZGG-CH), état 2014.

5.5.2 Les types à hélophytes (PH, MH)

PH : Ländenbach (ZH) MH : Worble (BE)

Figure 16 Exemples de types de base à hélophytes

Caractérisation des conditions stationnelles

Les types à hélophytes sont des cours d'eau bénéficiant de beaucoup de lumière, plus pentus et moins profonds (Tableau 7, DA5) que les types à submergées. Le substrat est majoritairement composé de gravier et de pierres (Figure 17) et donc un peu plus grossier que dans les types à submergées de la même classe de débit, alors que la largeur du lit et le débit sont légèrement plus faibles. On distingue deux types en fonction du débit, qui se différencient graduellement en ce qui concerne la végétation.

Caractérisation de la végétation

L'aspect des deux types est marqué par les hélophytes (Figure 17). Dans les petits types à hélophytes (PH) de faible pente, la quasi-totalité du fond du lit peut être recouverte de plantes. Dans les petits à moyens types à hélophytes (MH) plus raides, le recouvrement total est plus limité, car les hélophytes se cantonnent à la zone riveraine, là où l'écoulement est lent. Dans les types à hélophytes, les hydrophytes n'apparaissent que sporadiquement avec un faible recouvrement, parce qu'elles préfèrent les stations dont la pente est plus faible et les eaux plus profondes. La composition floristique est relativement homogène pour la plupart des stations et pauvre en espèces ; les espèces prioritaires n'apparaissent que çà et là.

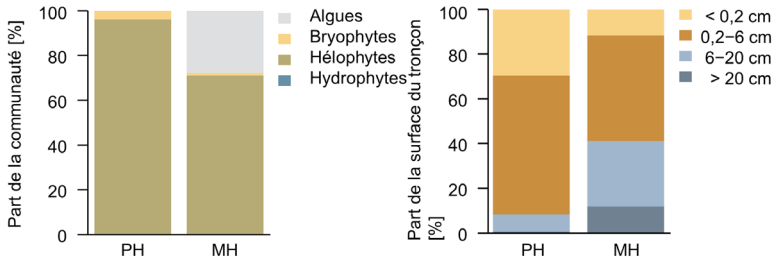


Figure 17 Fréquence relative moyenne (médiane) des formes de croissance (à gauche) et nature du substrat selon les classes granulométriques (à droite) dans les petits (PH) et les moyens (MH) types à hélophytes.

Perturbations anthropiques des types à hélophytes

Avec leur pente modérée, les types à hélophytes ont également leur aire de répartition principale dans les régions vouées à une agriculture intensive et densément peuplées ; ils sont donc fréquemment aussi bien dégradés du point de vue morphologique que pollués par des substances chimiques. Les moyens types à hélophytes qui présentent

un bon état écomorphologique sont souvent des tronçons revitalisés, alors que les petits types à hélophytes peuvent aussi être des tronçons non revitalisés proches de l'état naturel. La comparaison des tronçons de référence avec les tronçons plus fortement perturbés par les activités humaines (annexe A7) montre que :

- dans les tronçons de référence, le nombre de taxons et de formes de croissance, la fréquence absolue et relative des hélophytes ainsi que la qualité spécifique sont plus élevés ;
- la fréquence relative des hélophytes diminue à mesure que l'aménagement du cours d'eau augmente, comme dans les types à submergées ;
- dans les tronçons davantage perturbés, le nombre de taxons et la qualité spécifique des bryophytes ainsi que leur part au recouvrement total sont plus élevés. Des aménagements peuvent élever le pourcentage de substrat stable, au profit des bryophytes.

Tableau 7 **Caractérisation des types à hélophytes (PH, MH) à l'aide des principaux paramètres stationnels et végétaux et des influences humaines. Le tableau donne la médiane, le minimum et le maximum des sites de référence (nombre de sites de référence indiqué entre parenthèses à la suite du type de cours d'eau).**

Paramètre (unité)		Types à hélophytes					
		PH (16)			**MH** (13)		
Station		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Ombrage	%	25.0	0.0	70.0	12.5	0.0	40.0
Proportion de pierres	%	10.0	0.0	90.0	40.0	0.0	100.0
Pente (SIG)	%	1.31	0.60	4.98	0.74	<0.01	1.53
Profondeur moyenne	m	0.15	0.04	0.50	0.25	0.15	0.70
Profondeur maximale	m	0.35	0.08	0.70	0.60	0.25	1.20
Débit	l/s	46	7	231	378	8	1700
Largeur du fond	m	1.2	0.4	7.0	4.0	1.5	12.0
NOCE	-	2	1	4	3	1	5
Végétation		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Recouvrement absolu							
Hydrophytes	%	0.0	0.0	9.9	0.0	0.0	7.3
Hélophytes	%	30.8	6.6	85.1	32.5	1.2	79.0
Bryophytes	%	1.4	0.0	11.4	0.3	0.0	24.0
Algues	%	0.0	0.0	22.5	5.7	0.0	90.0
Nombre d'espèces							
Hydrophytes	-	0	0	2	1	0	2
Hélophytes	-	6	3	15	4	3	12
Bryophytes	-	1	0	5	2	0	4
Nombre de formes de croissance							
Hydrophytes	-	0	0	2	1	0	2
Hélophytes	-	3	2	6	3	2	5
Influences humaines		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Écomorphologie[1]	-	0.73	0.63	0.92	0.82	0.50	0.93
Agriculture EZG[2]	%	44.1	5.2	55.0	39.8	17.6	49.1
Proportion d'eaux usées[2]	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6

[1] évaluation écomorphologique globale selon le module Écomorphologie Niveau R, 1 = très bon état, 0 = état insatisfaisant ; [2] Source : Office fédéral de l'environnement (OFEV), Subdivision de la Suisse en bassins versants (EZGG-CH), état 2014.

5.5.3 Les types à bryophytes (PB, MB, GB, TGB)

PB : Örischwandbach (ZH) MB : Wängibach (SG)

GB : Sionge (FR) TGB : Thur (SG)

Figure 18 Exemples de types de base à bryophytes

Caractérisation des conditions stationnelles

Les types à bryophytes sont des cours d'eau peu profonds et ombragés, dont le fond est dominé par un substrat grossier (Tableau 8, Figure 19). Le petit type à bryophytes (PB), en particulier les tronçons utilisés pour la caractérisation qui présentent le meilleur état écomorphologique, sont nettement plus raides (DA5) que les types au débit plus élevé (MB-GB-TGB). Les bryophytes poussent sur un substrat stable. Dans les cours d'eau avec un charriage régulier, elles ne sont présentes qu'aux endroits à l'abri du courant, où elles ne sont pas broyées ni arrachées par les matériaux charriés. La stabilité du fond du lit dépend de la pente, de la nature du substrat et du régime d'écoulement. Aucun lien direct n'a été constaté entre ces trois paramètres et la répartition des bryophytes, mais il est apparu que le pourcentage de pierres (diamètre 6,3 cm) et l'ombrage sont les facteurs qui permettent le mieux de différencier les types à bryophytes des autres types de cours d'eau. On distingue quatre types en fonction du débit. Le nombre de tronçons étant insuffisant pour les ruisseaux à bryophytes moyens, grands et très grands (MB, GB, TGB), ces types sont regroupés pour la caractérisation et l'évaluation ultérieure (MB-GB-TGB).

Caractérisation de la végétation

L'aspect de tous les types est marqué par les bryophytes (Figure 19). Contrairement aux types à submergées ou à hélophytes dans lesquels peuvent se former de grandes quantités de biomasse végétale, les types à bryophytes sont en règle générale peu productifs. Les bryophytes recouvrent le plus souvent un très faible pourcentage du fond du lit. Le nombre de taxons de bryophytes augmente avec la taille du cours d'eau. Les bryophytes sont régulièrement accompagnées d'hélophytes, toutefois avec un faible recouvrement.

Tableau 8 **Caractérisation des types à bryophytes (PB, MB-GB-TGB) à l'aide des principaux paramètres stationnels et végétaux et des influences humaines. Le tableau donne la médiane, le minimum et le maximum des sites de référence (nombre de sites de référence indiqué entre parenthèses à la suite du type de cours d'eau).**

Paramètre (unité)		Types à bryophytes					
		PB (14)			**MB-GB-TGB** (9)		
Station		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Ombrage	%	90.0	60.0	100.0	70.0	12.5	87.5
Proportion de pierres	%	67.5	25.0	82.5	60.0	40.0	73.0
Pente (SIG)	%	7.11	1.24	18.25	1.00	0.23	12.77
Profondeur moyenne	m	0.10	0.05	0.20	0.35	0.10	0.70
Profondeur maximale	m	0.40	0.10	1.00	0.70	0.30	1.50
Débit	l/s	29	5	93	3280	283	5530
Largeur du fond	m	2.8	1.0	9.0	12.0	8.0	30.0
NOCE	-	2	1	4	4	1	7
Végétation		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Recouvrement absolu							
Hydrophytes	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
Hélophytes	%	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	6.5
Bryophytes	%	4.5	0.5	18.0	4.1	1.8	21.6
Algues	%	0.0	0.0	4.5	0.3	0.0	15.2
Nombre d'espèces							
Hydrophytes	-	0	0	0	0	0	1
Hélophytes	-	0	0	1	0	0	4
Bryophytes	-	3	3	8	7	4	9
Nombre de formes de croissance							
Hydrophytes	-	0	0	0	0	0	1
Hélophytes	-	0	0	1	0	0	3
Influences humaines		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Écomorphologie[1]	-	1.00	0.85	1.00	0.83	0.74	1.00
Agriculture EZG[2]	%	31.3	0.0	46.9	34.7	25.5	44.8
Proportion d'eaux usées[2]	%	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	2.5

[1] évaluation écomorphologique globale selon le module Écomorphologie Niveau R, 1 = très bon état, 0 = état insatisfaisant ; [2] Source : Office fédéral de l'environnement (OFEV), Subdivision de la Suisse en bassins versants (EZGG-CH), état 2014.

Perturbations anthropiques des types à bryophytes

Les types à bryophytes ont leur aire de répartition principale dans les terrains en pente, en forêt, dans les ravins et dans les gorges. Ces types comprennent donc une plus forte proportion de cours d'eau non revitalisés et pourtant proches de l'état naturel que les types à hélophytes ou à submergées. La pollution induite par l'utilisation agricole du bassin versant est en revanche comparable. La comparaison des tronçons de référence avec les tronçons plus fortement perturbés par les activités humaines (annexe A7) montre que :

- dans les tronçons de référence, le nombre et la qualité spécifique des bryophytes ainsi que la part des bryophytes au recouvrement total sont plus élevés ;
- la part des algues au recouvrement total et le recouvrement absolu des algues sont plus élevés dans les tronçons davantage perturbés par les activités humaines.

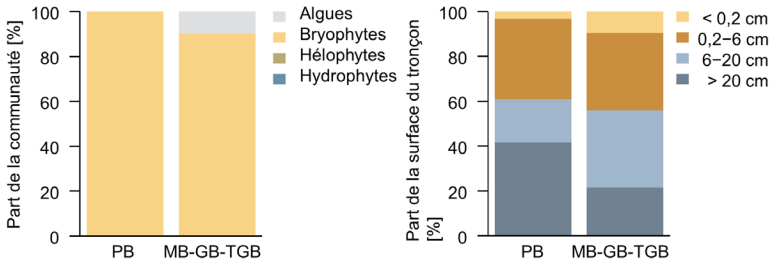


Figure 19 **Fréquence relative moyenne (médiane) des formes de croissance (à gauche) et nature du substrat selon les classes granulométriques (à droite) dans les petits (PB) et les moyens à très grands (MB-GB-TGB) types à bryophytes.**

5.5.4 Les types de transition à submergées et hélophytes (PS-PH, MS-MH)

PS-PH : Harberenbach (ZH) MS-MH : Seegraben (SG)

Figure 20 **Exemples de types à submergées et hélophytes**

Caractérisation des conditions stationnelles

Les types de transition à submergées et hélophytes sont des cours d'eau bénéficiant de beaucoup de lumière, dont le fond est dominé par un substrat fin (Tableau 9, Figure 21, DA5). Quelque 88 % des tronçons de ce type étudiés jusqu'ici étaient peu raides et peu profonds, alors que 12 % de tous les tronçons avaient une profondeur et une pente moyennes. La caractérisation se fait sur la base des meilleurs tronçons des deux combinaisons de critères, qui sont toutes les deux favorables à la croissance des submergées et des hélophytes. Comme la forme de croissance dominante est plus difficile à prévoir que pour les types à submergées ou à hélophytes, on parle de types de transition. On distingue deux types en fonction du débit, qui se différencient graduellement en ce qui concerne la végétation.

Caractérisation de la végétation

Les tronçons peuplés par des hydrophytes ressemblent aux types à submergées et ceux qui n'abritent que des hélophytes présentent un aspect semblable aux types à hélophytes. Alors que les hélophytes trouvent des conditions de croissance idéales dans les tronçons peu profonds de faible pente, les hydrophytes n'y sont pas forcément présentes en raison du manque de profondeur. Des hydrophytes apparaissent néanmoins dans 45 % des tronçons. Ceux-ci sont plus profonds (médiane 0,22 m) que

les tronçons sans hydrophytes (médiane = 0,15 m) et montrent une fois de plus les transitions naturelles existant entre les différents types. Le nombre de taxons et la proportion des hydrophytes et des hélophytes font également ressortir le caractère intermédiaire. Ces types de transition sont certes délimités comme deux types séparés, mais lors de l'évaluation finale (point 6.5.2) ils sont traités soit comme des types à submergées, soit comme des types à hélophytes, en fonction des probabilités calculées.

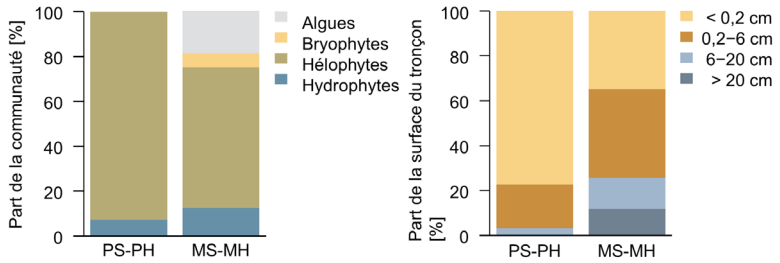


Figure 21 **Fréquence relative moyenne (médiane) des formes de croissance (à gauche) et nature du substrat selon les classes granulométriques (à droite) dans les petits (PS-PH) et les moyens (MS-MH) types à submergées et hélophytes.**

Perturbations anthropiques des types à submergées et hélophytes

La comparaison des tronçons de référence avec les tronçons plus fortement perturbés par les activités humaines (annexe A7) aboutit à des conclusions semblables, mais plus nuancées que pour les types à submergées ou à hélophytes :

- dans les tronçons de référence, le nombre de taxons et de formes de croissance des hydrophytes est plus élevé ;
- le recouvrement absolu des hélophytes tend à être plus élevé dans les tronçons de référence que dans les tronçons davantage perturbés ;
- dans les tronçons davantage perturbés, la dominance de certains axons est plus élevée.

Tableau 9 **Caractérisation des types à submergées et hélophytes (PS-PH, MS-MH) à l'aide des principaux paramètres stationnels et végétaux et des influences humaines. Le tableau donne la médiane, le minimum et le maximum des sites de référence (nombre de sites de référence indiqué entre parenthèses à la suite du type de cours d'eau).**

Paramètre (unité)		Types à submergées et hélophytes					
		PS-PH (10)			**MS-MH** (4)		
Station		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Ombrage	%	11.3	0.0	40.0	12.5	0.0	37.5
Proportion de pierres	%	7.5	0.0	30.0	15.0	0.0	40.0
Pente (SIG)	%	0.26	0.10	0.67	0.41	0.01	0.65
Profondeur moyenne	m	0.18	0.05	0.40	0.30	0.25	0.80
Profondeur maximale	m	0.40	0.10	0.50	0.50	0.40	1.00
Débit	l/s	42	13	151	480	231	697
Largeur du fond	m	2.0	0.5	3.0	3.0	2.0	6.0
NOCE	-	2	1	2	3	2	4
Végétation		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Recouvrement absolu							
Hydrophytes	%	5.9	0.0	23.8	6.6	0.0	54.6
Hélophytes	%	59.3	10.0	85.5	22.9	1.8	72.6
Bryophytes	%	0.0	0.0	2.7	0.9	0.0	3.5
Algues	%	0.5	0.0	13.3	4.4	0.3	26.4
Nombre d'espèces							
Hydrophytes	-	1	0	4	1	0	3
Hélophytes	-	6	1	11	4	2	7
Bryophytes	-	0	0	2	1	0	2
Nombre de formes de croissance							
Hydrophytes	-	1	0	4	1	0	3
Hélophytes	-	3.5	1	5	2	2	4
Influences humaines		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Écomorphologie[1]	-	0.77	0.50	0.93	0.64	0.47	0.93
Agriculture EZG[2]	%	32.7	18.6	56.0	37.2	31.2	46.2
Proportion d'eaux usées[2]	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0

[1] évaluation écomorphologique globale selon le module Écomorphologie Niveau R, 1 = très bon état, 0 = état insatisfaisant ; [2] Source : Office fédéral de l'environnement (OFEV), Subdivision de la Suisse en bassins versants (EZGG-CH), état 2014.

5.5.5 Les types de transition à hélophytes et bryophytes (PH-PB, MH-MB)

PH-PB : Eyreussli (UR) MH-MB : L'Orbe (VD)

Figure 23 Exemples de types de transition à hélophytes et bryophytes

Caractérisation des conditions stationnelles

Les types à hélophytes et bryophytes sont des cours d'eau bénéficiant de beaucoup de lumière dont le fond est dominé par un substrat grossier (Tableau 10, Figure 24, DA5). Le nombre de tronçons étant insuffisant, aucune différenciation supplémentaire n'est réalisée sur la base de la pente et de la profondeur de l'eau, ce qui donne quatre combinaisons de critères différentes. Quelque 60 % des tronçons de ce type étudiés jusqu'ici étaient peu raides et peu profonds, alors que 20 % étaient profonds et peu raides. La profondeur de l'eau et la pente étaient faibles dans 10 % des tronçons, et fortes dans les 10 % restants. La caractérisation se fait sur la base des meilleurs tronçons de toutes les combinaisons de critères. On distingue deux types en fonction du débit, qui se différencient graduellement en ce qui concerne la végétation

Caractérisation de la végétation

Ces types de transition présentent un aspect très hétérogène. Du fait de la proportion élevée de pierres, le nombre, la fréquence relative et le recouvrement absolu des hélophytes y sont plus faibles que dans les types à hélophytes, alors que le nombre, la fréquence relative et le recouvrement absolu des bryophytes y sont plus élevés (Figure 24). Les tronçons à faible pente et/ou profondeur de l'eau moyenne, peuvent aussi comporter des hydrophytes.

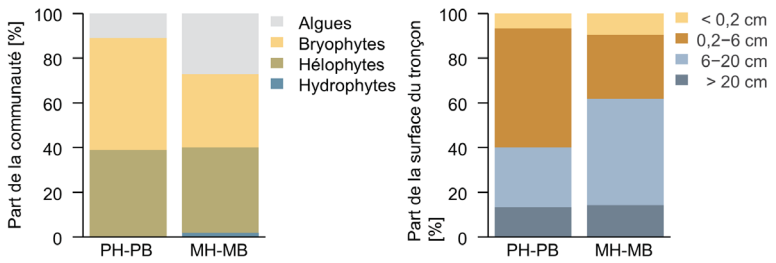


Figure 24 Fréquence relative moyenne (médiane) des formes de croissance (à gauche) et nature du substrat selon les classes granulométriques (à droite) dans les petits (PH-PB) et les moyens (MH-MB) types à hélophytes et bryophytes.

Perturbations anthropiques des types à hélophytes et bryophytes

Il est parfois difficile de déterminer précisément sur le terrain si le substrat grossier du fond est d'origine naturelle ou artificielle (point 4.7). C'est le substrat naturel qui détermine l'affectation à un type. La comparaison des tronçons de référence avec les tronçons plus fortement perturbés par les activités humaines (annexe A7) montre que :

- dans les tronçons les moins perturbés, la part des hélophytes au recouvrement total, le recouvrement absolu et la qualité spécifique des hélophytes sont plus élevés. Le nombre d'hélophytes tend également à être plus élevé ;
- dans les tronçons les plus perturbés, le nombre et la qualité spécifique des bryophytes ainsi que la part de celles-ci au recouvrement total tendent à être plus élevés, comme pour les types à hélophytes, ce qui s'explique par la proportion accrue de substrat stable.

Tableau 10 **Caractérisation des types à hélophytes et bryophytes (PH-PB, MH-MB) à l'aide des principaux paramètres stationnels et végétaux et des influences humaines. Le tableau donne la médiane, le minimum et le maximum des sites de référence (nombre de sites de référence indiqué entre parenthèses à la suite du type de cours d'eau).**

Paramètre (unité)		Types à hélophytes et bryophytes					
		PH-PB (7)			**MH-MB** (7)		
Station		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Ombrage	%	37.5	26.0	90.0	30.0	12.5	87.5
Proportion de pierres	%	31.0	5.0	85.0	60.0	25.0	90.0
Pente (SIG)	%	0.43	0.08	5.08	0.70	0.11	1.41
Profondeur moyenne	m	0.15	0.10	0.75	0.35	0.15	0.70
Profondeur maximale	m	0.30	0.20	0.85	0.80	0.30	1.20
Débit	l/s	69	40	198	930	211	4160
Largeur du fond	m	1.8	1.0	5.0	7.0	4.0	15.0
NOCE	-	2	1	3	3	3	5
Végétation		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Recouvrement absolu							
Hydrophytes	%	0.0	0.0	4.7	1.4	0.0	7.0
Hélophytes	%	19.5	0.0	41.6	11.8	9.2	57.9
Bryophytes	%	9.3	4.0	34.0	12.0	0.0	54.4
Algues	%	1.0	0.0	15.7	8.8	0.6	16.0
Nombre d'espèces							
Hydrophytes	-	0	0	1	1	0	4
Hélophytes	-	3	0	4	5	1	10
Bryophytes	-	1	1	3	2	0	4
Nombre de formes de croissance							
Hydrophytes	-	0	0	1	1	0	4
Hélophytes	-	2	0	3	3	1	4
Influences humaines		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Écomorphologie[1]	-	0.68	0.63	0.93	0.79	0.61	0.92
Agriculture EZG[2]	%	40.3	14.8	52.2	35.7	21.2	51.8
Proportion d'eaux usées[2]	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2

[1] évaluation écomorphologique globale selon le module Écomorphologie Niveau R, 1 = très bon état, 0 = état insatisfaisant ; [2] Source : Office fédéral de l'environnement (OFEV), Subdivision de la Suisse en bassins versants (EZGG-CH), état 2014.

5.5.6 Les types pauvres en végétation (PV)

PV bénéficiant de beaucoup de lumière : Singine (BE)

PV bénéficiant de beaucoup de lumière : L'Allondon (GE)

PV ombragé : Boiron (VD)

PV ombragé : Witerigbach (ZH)

Figure 25 Exemples de types pauvres en végétation

Caractérisation des conditions stationnelles

De nombreux cours d'eau sont naturellement pauvres en plantes aquatiques. Le schéma de typification (Figure 13) montre que dix combinaisons de facteurs stationnels se traduisent pas des types pauvres en végétation. On distingue deux groupes en fonction de l'ombrage.

Pauvres en végétation : ombragés, avec fond du lit instable

Selon le schéma de typification (Figure 13), les types pauvres en végétation ombragés comprennent des cours d'eau ombragés de petite à très grande taille, de pente faible à très forte. La majorité des tronçons étudiés jusqu'ici sont de petits cours d'eau de pente moyenne à forte dont le fond est dominé par un substrat fin (Tableau 11, Figure 26). Du fait de la faible luminosité, on n'y trouve guère d'hélophytes ni d'hydrophytes. Les bryophytes dominent certes la communauté, mais vu l'instabilité du substrat, leur diversité est bien moins grande et leur recouvrement absolu plus limité que dans les types à bryophytes.

Pauvres en végétation : bénéficiant de beaucoup de lumière et fond du lit instable

Les types pauvres en végétation bénéficiant de beaucoup de lumière sont des cours d'eau de grande à très grande taille, de pente faible à moyenne. Les bryophytes présentent la plus forte part au recouvrement total, mais, dans ce type aussi, le nombre d'espèces et le recouvrement absolu sont plus faibles que dans les types à bryophytes de la même classe de grandeur. Le nombre de bryophytes est cependant plus élevé dans les types bénéficiant de beaucoup de lumière que dans les types ombragés, peut-être en raison de la proportion accrue de substrat grossier. Du fait de la luminosité,

on y trouve davantage d'hélophytes et d'algues que dans les types pauvres en végétation ombragés, leur recouvrement total étant cependant limité (Tableau 11).

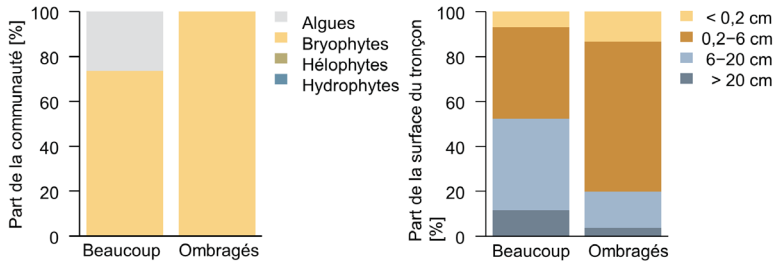


Figure 26 **Fréquence relative moyenne (médiane) des formes de croissance (à gauche) et nature du substrat selon les classes granulométriques (à droite) dans les types pauvres en végétation ombragés (PV-O) et éclairés (PV-É).**

Pauvres en végétation, bénéficiant de beaucoup de lumière et : influence des variations du débit

Ces types de cours d'eau présentent des conditions de lumière suffisantes pour permettre la croissance de macrophytes supérieurs. Il est difficile de savoir exactement pourquoi ceux-ci n'apparaissent qu'en nombre limité et avec un faible recouvrement absolu, notamment parce que les tronçons d'étude sont trop peu nombreux pour ces types. L'absence des macrophytes supérieurs pourrait s'expliquer par de fortes variations périodiques du débit ou des crues charriant des matériaux, qui empêchent un établissement végétal permanent. Dans les tronçons de taille comparable, mais de plus faible pente, faisant partie des types à submergées (GS, TGS), les hydrophytes et les hélophytes apparaissent en plus grand nombre et avec un recouvrement substantiel. Il s'agit souvent d'émissaires de lacs soumis à de petites variations naturelles de débit. En outre, dans ces types à submergées, le débit semble varier généralement moins en raison de la faible pente.

Tableau 11 **Caractérisation des types pauvres en végétation bénéficiant de beaucoup de lumière et ombragés à l'aide des principaux paramètres stationnels, végétaux et des influences humaines. Le tableau donne la médiane, le minimum et le maximum des sites de référence (nombre de sites de référence indiqué entre parenthèses à la suite du type de cours d'eau).**

		Types pauvres en végétation					
Paramètre (unité)		**Beaucoup de lumi**			**Ombragé** (19)		
Station		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Ombrage	%	30.0	0.0	37.5	80.0	50.0	100.0
Proportion de pierres	%	60.0	16.0	77.5	17.5	0.0	45.0
Pente (SIG)	%	0.75	0.36	1.11	1.41	<0.01	8.58
Profondeur moyenne	m	0.20	0.15	0.40	0.10	0.05	0.80
Profondeur maximale	m	0.70	0.30	1.50	0.30	0.15	1.00
Débit	l/s	3730	1680	8892	40	2	1141
Largeur du fond	m	20.0	10.0	35.0	2.2	0.6	6.5
NOCE	-	6	4	7	3	1	4
Végétation		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Recouvrement absolu							
Hydrophytes	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hélophytes	%	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	13.9
Bryophytes	%	0.5	0.0	12.5	0.1	0.0	4.5
Algues	%	0.4	0.0	7.5	0.0	0.0	18.0
Nombre d'espèces							
Hydrophytes	-	0	0	0	0	0	0
Hélophytes	-	0	0	4	0	0	5
Bryophytes	-	2	0	6	0	0	2
Nombre de formes de croissance							
Hydrophytes	-	0	0	0	0	0	0
Hélophytes	-	0	0	3	0	0	4
Influences humaines		Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Max.
Écomorphologie[1]	-	0.72	0.58	1.00	0.85	0.64	1.00
Agriculture EZG[2]	%	37.9	29.3	46.8	42.2	13.7	55.2
Proportion d'eaux usées[2]	%	0.9	0.0	9.7	0.0	0.0	8.3

[1] évaluation écomorphologique globale selon le module Écomorphologie Niveau R, 1 = très bon état, 0 = état insatisfaisant ; [2] Source : Office fédéral de l'environnement (OFEV), Subdivision de la Suisse en bassins versants (EZGG-CH), état 2014.

6 Évaluation

6.1 Généralités

Mise au net des données sur les taxons

La typification est suivie de l'évaluation, exécutée par l'outil d'analyse.
Lors du relevé de terrain, tous les taxons rencontrés dans un tronçon d'étude sont inventoriés (point 4.5). Mais pour l'évaluation, seuls ceux qui figurent dans la liste des taxons sont pris en considération ; ils entrent dans l'évaluation à un niveau taxonomique qui varie en fonction de la fiabilité de la détermination et de leur état phénologique. Pour commencer, l'outil trie les taxons inventoriés et retient ceux qui sont pertinents pour l'évaluation (point 6.5.1).

Évaluation spécifique au type au moyen d'une hiérarchie d'objectifs, d'attributs et de fonctions de valeur et d'agrégation

Les tronçons d'étude sont ensuite évalués de manière spécifique au type de cours d'eau. L'évaluation est fondée sur une hiérarchie d'objectifs, sur les attributs relevés avec leurs modalités (annexe A8) et sur diverses fonctions de valeur (annexe A9) et d'agrégation (annexe A10).
Comme produit final, l'outil fournit, pour chaque tronçon d'étude, une évaluation spécifique au type de cours d'eau pour les divers attributs et les objectifs supérieurs de la hiérarchie. En vue du contrôle de vraisemblance ultérieur (chap. 7), il évalue en outre les tronçons d'étude avec les fonctions de valeur définies pour tous les autres types de cours d'eau.

6.2 Principes d'évaluation

Évaluation de la végétation par comparaison de l'état observé avec l'état de référence

Les conditions stationnelles naturelles qui règnent dans un cours d'eau déterminent la composition de la végétation aquatique. Les facteurs anthropiques qui influent sur les conditions de vie se répercutent également sur la végétation. Pour évaluer l'état de la végétation, on considère l'écart de la végétation actuelle par rapport à la végétation dans un état aussi proche que possible de l'état naturel (=état de référence).

Référence : état proche de l'état naturel dans un paysage rural donné

Cet état de référence est défini à l'aide de la méthode Écomorphologie – Niveau C[57]. Il correspond à l'état qui s'instaurerait dans les conditions paysagères actuelles si toutes les utilisations humaines cessaient à proximité immédiate des cours d'eau, autrement dit à un état proche de l'état naturel dans un paysage rural donné. Il ne s'agit donc pas de l'état d'un cours d'eau du paysage rural originel, qui n'existe pratiquement plus nulle part en Europe centrale. Au contraire, l'état de référence intègre les modifications paysagères irréversibles dues aux activités humaines, comme le déboisement de grandes surfaces, l'urbanisation ou l'assèchement de zones humides.

Référence : définition basée sur des analyses statistiques, des critères écologiques et le savoir des spécialistes

Pour évaluer la végétation, il est donc nécessaire de connaître la végétation proche de l'état naturel de différents types de cours d'eau. Sur le Plateau densément peuplé, qui constitue l'aire de répartition principale des macrophytes supérieurs, on ne trouve aujourd'hui plus beaucoup de tronçons de cours d'eau intacts qui pourraient servir de référence et fournir des renseignements sur la végétation naturelle des divers types de cours d'eau. De même, on manque de données historiques qui permettraient de se faire une idée de cet état de référence. Il a donc fallu recourir à des analyses statistiques des données disponibles, à des critères écologiques généraux et au savoir des spécialistes pour définir l'état de référence pour les différents types de cours d'eau.

[57] OFEV 2006 : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau : Écomorphologie – Niveau C (cours d'eau). Projet de juillet 2006. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne : 72 p.

6.3 Développement de l'évaluation

Caractérisation des types de cours d'eau au moyen de caractéristiques floristiques spécifiques

Les différents types de cours d'eau sont caractérisés au moyen d'une sélection de caractéristiques floristiques spécifiques qui reflètent les principaux aspects écologiques de la communauté végétale. Les types de cours d'eau ont été définis de sorte que ces caractéristiques soient aussi indépendantes que possible des gradients environnementaux naturels au sein des types (point 5.3).

Recherche de paramètres d'évaluation

Des modélisations multivariées, des corrélations univariées et des analyses graphiques ont été utilisées pour rechercher les caractéristiques floristiques qui réagissent aux facteurs anthropiques et peuvent ainsi servir de grandeurs d'évaluation. Le but était de découvrir des relations entre les caractéristiques floristiques spécifiques et les paramètres servant à décrire l'état écomorphologique selon le niveau R[45], de même qu'entre ces caractéristiques et la part de surface agricole dans le bassin versant, utilisée comme indicateur du niveau de pollution.

Définition des paramètres d'évaluation

Le choix s'est porté sur les caractéristiques floristiques qui, de l'avis des spécialistes, semblent réagir aux facteurs anthropiques ou conviennent comme paramètre d'évaluation du fait de la compréhension de l'écosystème ou du point de vue de la protection des espèces ou de la nature. Les paramètres d'évaluation définis sont le nombre de taxons, le nombre de formes de croissance, la fréquence relative des différentes formes de croissance et le recouvrement. La priorité et la valeur guide des espèces entrent également dans l'évaluation. L'annexe A8 fournit plus de détails sur chacun de ces paramètres d'évaluation.

La hiérarchie d'objectifs comme système intégré d'évaluation

Les différents types de cours d'eau sont évalués au moyen d'une hiérarchie d'objectifs constituant un système intégré d'évaluation. Les caractéristiques de la végétation objectivement mesurables (attributs) sont utilisées pour apprécier le degré de réalisation d'objectifs prédéfinis à différents niveaux d'agrégation au moyen de fonctions de valeur spécifiques au type[58] [59].

6.4 Hiérarchie des objectifs

Évaluation globale de la végétation et évaluation des sous-objectifs

La hiérarchie des objectifs (Figure 27, Figure 28) permet, au niveau d'agrégation le plus élevé, une évaluation globale de la végétation fondée sur l'état de référence. Cette évaluation globale est ventilée en sous-objectifs hiérarchisés, qui doivent être aussi complémentaires que possible et couvrir ensemble les principaux aspects de l'évaluation. À ce deuxième niveau d'agrégation, la végétation est évaluée sous l'angle de la protection de la nature et de l'écologie des eaux. L'évaluation écologique de la conformité de la communauté est à son tour subdivisée en trois sous-objectifs : diversité, composition et recouvrement (biomasse). C'est à ce niveau d'agrégation que l'évaluation de la végétation fournit le plus d'indications sur les déficits écologiques possibles et sur leurs causes et, ainsi, sur les mesures qui permettraient de les combler.

---

[58] Langhans, S. D. et Reichert, P. 2011 : Einbettung von Verfahren zur Fliessgewässerbewertung in ein übergeordnetes Gewässermanagementkonzept ; Vorschläge am Beispiel des Modulstufenkonzepts. Wasser Energie Luft, 103 (3) : 204-214.

[59] Schlosser, J. A. et al. 2013 : Système d'analyse et d'appréciation des lacs en Suisse. Guide pour l'élaboration de modules d'appréciation. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1326 : 38 p.

Évaluation de la végétation au moyen de la hiérarchie des objectifs et de la fonction de valeur

L'évaluation de la végétation commence au niveau hiérarchique le plus bas de chaque branche de la hiérarchie (« nœud terminal »). Les degrés de réalisation des objectifs sont évalués directement comme fonction des caractéristiques de la végétation du niveau inférieur (« attributs »). Les fonctions de valeur affectent à chaque modalité des attributs une valeur située entre 0 et 1, représentant le degré de réalisation de l'objectif. La valeur 1 est la meilleure note possible. Les fonctions de valeur et les objectifs fixés pour les limites de classes des différents attributs sont spécifiques au type et fondés sur des analyses statistiques des tronçons les moins perturbés par les activités humaines par type de cours d'eau, une estimation de spécialistes et des critères écologiques (annexe A9). Aux niveaux hiérarchiques supérieurs, c'est-à-dire en amont des nœuds terminaux, le degré de réalisation des objectifs résulte de l'agrégation des sous-objectifs inférieurs. Ceux-ci peuvent alors être pondérés individuellement, par exemple selon leur importance écologique et leur valeur d'indicateurs, et plusieurs fonctions d'agrégation distinctes peuvent être utilisées. Le degré de réalisation des objectifs supérieurs dépend ainsi de l'ensemble des attributs influençant les degrés de réalisation des sous-objectifs correspondants. Les sous-objectifs sont agrégés au moyen de fonctions également fixées sur la base de critères écologiques généraux, en collaboration avec des spécialistes. Le choix de la fonction d'agrégation dépend entre autres du mécanisme de compensation entre les sous-objectifs (mesure dans laquelle la bonne réalisation d'un sous-objectif permet de compenser la mauvaise réalisation d'un autre sous-objectif).

Les méthodes d'agrégation suivantes ont été appliquées :

- l'agrégation additive ;
- l'agrégation par le principe du maximum ou du minimum ;
- l'agrégation additive par le principe du minimum ;
- l'agrégation par le principe du bonus ou du malus.

La Figure 27 et la Figure 28 montrent les méthodes d'agrégation et les pondérations appliquées aux différents endroits de la hiérarchie. L'annexe A10 explique les différentes fonctions d'agrégation et les raisons qui ont conduit à les choisi

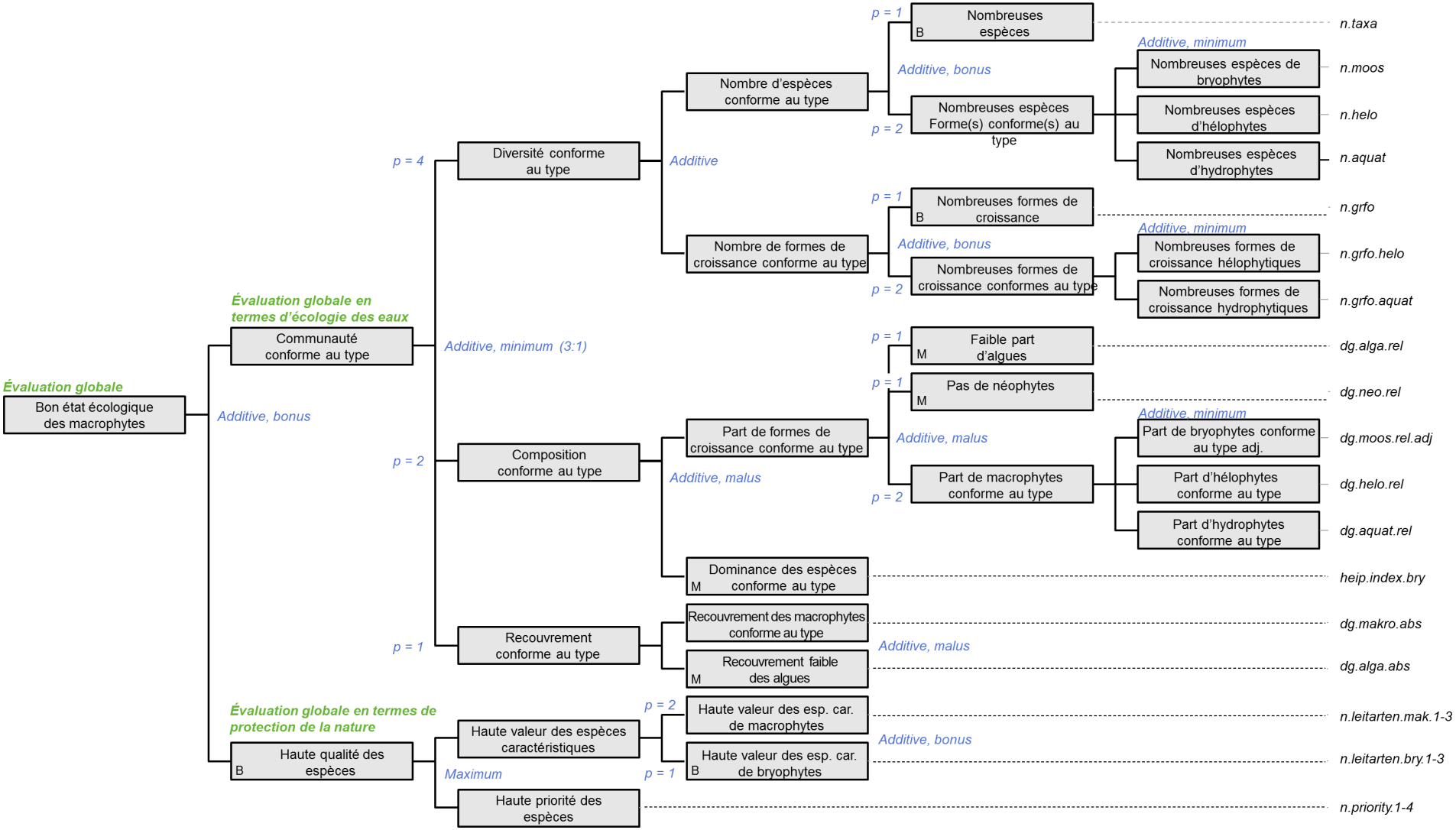


Figure 27 **Hiérarchie des objectifs pour l'évaluation de tous les types de cours d'eau à macrophytes supérieurs. À chaque nœud est indiquée la méthode d'agrégation appliquée et les pondérations (p) des sous-objectifs concernés, au cas où ces derniers sont pondérés de manière différente. Lorsque l'agrégation se fait selon le principe du bonus ou du malus, la lettre inscrite dans la boîte du sous-objectif indique lequel des objectifs est considéré comme bonus (B) ou comme malus (M) lors de l'agrégation. Pour chaque objectif du niveau inférieur est donné le nom de l'attribut calculé pour l'évaluation à partir des données (cf. annexe A9).**

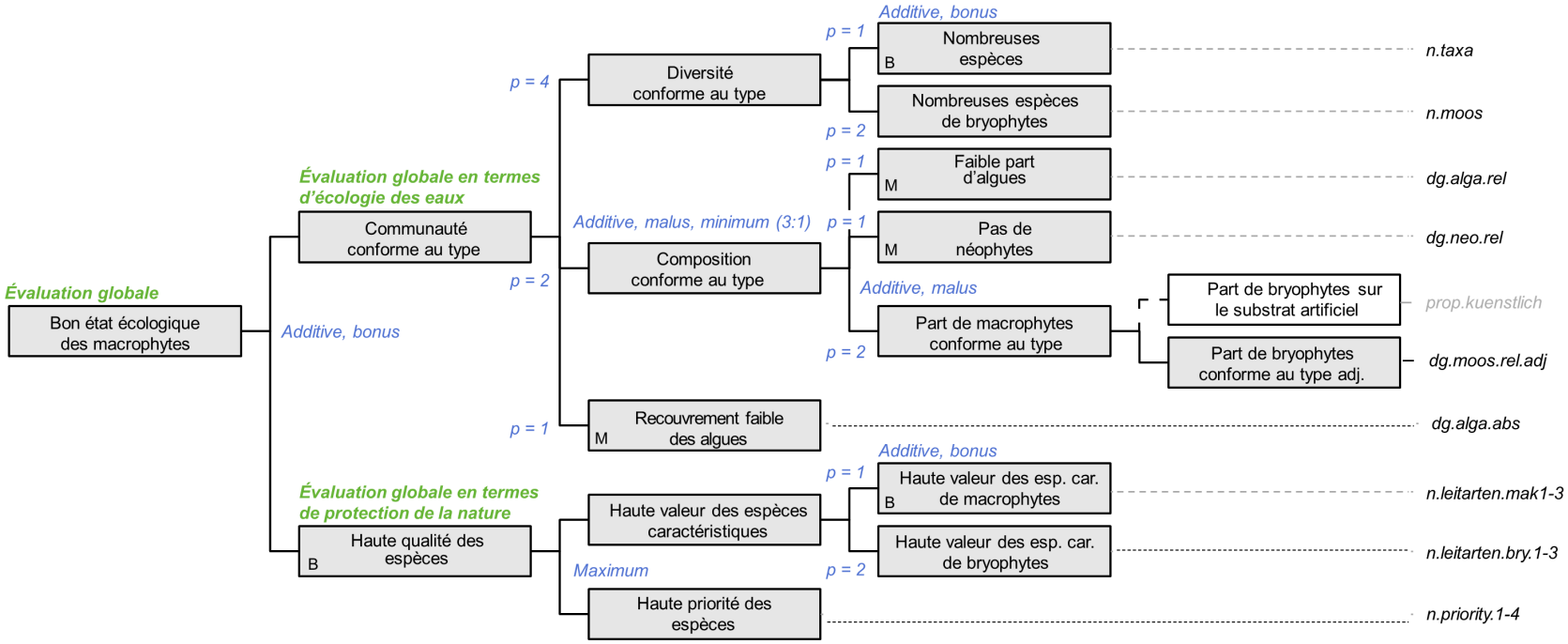


Figure 28 **Hiérarchie des objectifs pour l'évaluation des types de cours d'eau à bryophytes. À chaque nœud est indiquée la méthode d'agrégation appliquée et les pondérations (p) des sous-objectifs concernés, au cas où ces derniers sont pondérés de manière différente. Lorsque l'agrégation se fait selon le principe du bonus ou du malus, la lettre inscrite dans la boîte du sous-objectif indique lequel des objectifs est considéré comme bonus (B) ou comme malus (M) lors de l'agrégation. Pour chaque objectif du niveau inférieur est donné le nom de l'attribut calculé pour l'évaluation à partir des données (cf. annexe A9).**

Deux hiérarchies d'objectifs nécessaires

Il a fallu établir deux hiérarchies d'objectifs parce que la composition et la structure des tronçons d'étude dominés par les bryophytes diffèrent fortement de celles des tronçons dominés par les hydrophytes ou les hélophytes.

Optimisation du système d'évaluation

Les hiérarchies d'objectifs, les fonctions de valeur et les fonctions d'agrégation ont été testées et améliorées de manière itérative au moyen d'analyses individuelles. Pour cela, des tronçons sélectionnés dans toutes les classes d'appréciation, des tronçons situés dans le domaine des limites de classes et des tronçons présentant des valeurs extrêmes ont été examinés. Ensuite, l'évaluation globale ainsi que les évaluations des sous-objectifs et des attributs ont été soumises à un contrôle de vraisemblance fondé sur les avis des experts. Les évaluations spécifiques au type de cours d'eau ont été comparées les unes aux autres et harmonisées. Alors que les fonctions de valeur peuvent être adaptées spécifiquement au type de cours d'eau, une modification des fonctions d'agrégation se répercute au sein d'une hiérarchie d'objectifs sur tous les types associés. Les hiérarchies des objectifs ont donc été optimisées de manière à permettre une évaluation vraisemblable pour le plus grand nombre de tronçons possible.

Vérification du système d'évaluation par les spécialistes

La hiérarchie des objectifs et les fonctions de valeur définies pour les types de cours d'eau de base bénéficiant de bonnes conditions de lumière ont été discutées plusieurs fois au sein du groupe d'accompagnement, qui en a également contrôlé la vraisemblance. L'évaluation a ensuite été validée et adaptée à l'aide d'une sélection de tronçons d'étude. La hiérarchie des objectifs et les fonctions de valeur définies pour les types à bryophytes ont été discutées avec des spécialistes de cet embranchement; l'évaluation a ensuite été validée et adaptée après le contrôle de vraisemblance.

6.5 Évaluation

6.5.1 Mise au net des données sur les taxons

Mise au net des données sur les taxons

Lors du relevé de terrain, tous les taxons rencontrés dans un tronçon d'étude sont inventoriés. Mais pour l'évaluation, seuls ceux qui figurent dans la liste des taxons sont pris en considération ; ils entrent dans l'évaluation à un niveau taxonomique qui varie en fonction de la fiabilité de la détermination et de leur état phénologique. L'outil d'analyse établit une liste des données sur les espèces pertinentes pour l'évaluation en mettant au net les données sur les taxons de la manière suivante :

- tous les taxons ayant une déterminabilité de 1 ou 2 (voir liste des taxons 0) entrent dans l'évaluation si le cartographe juge la détermination « fiable » ou « moyennement fiable, mais vraisemblable », ou si la détermination a été vérifiée par un spécialiste ;
- si la détermination d'un taxon ayant une déterminabilité de 1 ou 2 est jugée « non fiable », le taxon est attribué à un agrégat de niveau taxonomique supérieur, à condition que la liste des taxons en comprenne un. Si ce n'est pas le cas, le taxon n'entre pas dans l'évaluation (p. ex., *Epilobium roseum* n'est pas pris en considération si sa détermination manque de fiabilité car les abords des cours d'eau sont peuplés d'une multitude de taxons d'Epilobium qui ne figurent pas dans la liste) ;

- tous les taxons ayant une déterminabilité de 3 ne peuvent pas être identifiés de manière fiable sur la base de leurs caractères végétatifs. L'outil d'analyse vérifie tout d'abord si les caractères phénologiques visibles (fleurs et/ou fruits) permettent une détermination fiable du taxon. Si tel est le cas et que le cartographe juge la détermination « fiable » ou « moyennement fiable, mais vraisemblable », le taxon entre dans l'évaluation ;
- si les caractères phénologiques requis pour les taxons ayant une déterminabilité de 3 ne sont pas visibles ou que le cartographe juge la détermination « non fiable », le taxon est attribué à un agrégat de niveau taxonomique supérieur, à condition que la liste des taxons en comprenne un ;
- les taxons ayant une déterminabilité de 4 entrent toujours dans l'évaluation en tant qu'agrégat de niveau taxonomique supérieur.

Si plusieurs taxons d'un tronçon d'étude sont attribués au même niveau taxonomique supérieur (agrégat), on obtient un moins grand nombre de taxons que si tous pouvaient être déterminés au niveau taxonomique le plus bas possible. Dans certaines circonstances, cela peut entraîner des résultats un peu plus mauvais, puisque le nombre de taxons est un paramètre pertinent pour l'évaluation.

6.5.2 Évaluation à l'aide de la hiérarchie d'objectifs et des fonctions de valeur

L'évaluation de la végétation est fonction du type de cours d'eau et diffère selon les types de base et les types de transition.

Évaluation des types de base

Les types de base sont évalués avec des fonctions de valeur spécifiques (annexe A9). Leurs facteurs stationnels représentent des conditions idéales pour un des trois groupes de formes de croissance (hydrophytes, hélophytes et bryophytes).

Évaluation des types de transition à submergées et hélophytes

L'évaluation des types de transition se fait à l'aide de plusieurs méthodes.
Les types à submergées ou à hélophytes de la même classe de grandeur se distinguent par leur pente et leur profondeur. Les types de transition à submergées et hélophytes (Figure 13, types PS-PH et MS-MH) s'écartent chacun des types de base voisins par un de ces deux paramètres. Les paramètres de typification considérés ne permettent pas de prévoir la forme de croissance appelée à dominer. Les types de transition à submergées et hélophytes sont donc évalués au moyen de la fonction de valeur du type de base le plus probable (point 5.4).

Forte proportion de substrat grossier dans les types de transition à hélophytes et bryophytes

Les types de transition à hélophytes et bryophytes (Figure 13, types PH-PB et MH-MB) riches en substrat grossier regroupent tous les tronçons d'étude dont le substrat ne remplit pas les exigences posées aux types de base à submergées ou à hélophytes. Vu que ces tronçons se distinguent par une proportion de substrat grossier plus élevée que dans les types de base, il faut s'attendre à y rencontrer moins d'hydrophytes et d'hélophytes, mais en revanche plus de bryophytes.

Grandes différences entre les types à bryophytes et les types à hélophytes ou à submergées

Les différences sont beaucoup plus grandes entre les types à bryophytes et les types à submergées ou à hélophytes qu'entre les types à hélophytes et les types à submergées. En conséquence, les types de transition à hélophytes et bryophytes ne peuvent pas être évalués avec la même méthode que les types de transition à submergées et hélophytes. Si les types de transition étaient évalués au moyen de la fonction de valeur du type de base le plus probable, les résultats seraient rarement satisfaisants. En

effet, les types de transition à hélophytes et bryophytes n'atteignent pratiquement jamais de façon naturelle la proportion d'hélophytes ou de bryophytes requise dans les types de base correspondants pour garantir de bons résultats.

Évaluation des types de transition à hélophytes et bryophytes avec leur propre fonction de valeur

C'est pourquoi il a fallu définir des fonctions de valeur propres pour les types de transition à hélophytes et bryophytes. Pour cela, la proportion d'hélophytes et de bryophytes a été réduite par rapport aux types de base correspondants (annexe A9). Malgré ces fonctions de valeur, les types de transition à hélophytes et bryophytes n'offrent des conditions stationnelles idéales à aucune forme de croissance.

Aucune évaluation des types pauvres en végétation

Les types pauvres en végétation sont naturellement pauvres ou dépourvus de macrophytes et ne sont donc pas évalués.

6.5.3 Produits finaux de l'évaluation et représentation des résultats

L'évaluation spécifique au type de cours d'eau est réalisée par l'outil d'analyse. Elle prévoit cinq classes de qualité, qui se voient affecter une valeur située entre 0 et 1.

Tableau 12 Répartition de l'évaluation numérique de l'état en cinq classes de qualité selon le degré de réalisation des objectifs et code couleur utilisé pour représenter les classes d'état.

Valeur	Classe	Degré de réalisation de l'objectif, ou évaluation	Valeur	Valeur RVB
0,8 à 1	1	très bon		bleu (0,0,255)
0,6 à < 0,8	2	bon		vert (0,255,0)
0,4 à < 0,6	3	moyen		jaune (255,255,0)
0,2 à < 0,4	4	médiocre		orange (255,192,0)
0,0 à < 0,2	5	mauvais		rouge (255,0,0)

Le produit final de l'évaluation est une liste d'informations par tronçon d'étude complétée selon l'annexe numérique DA3 :

A1. Ces colonnes contiennent les valeurs validées, le cas échéant corrigées, des attributs (nombre de taxons mis au net selon la liste des taxons, p. ex.).

B1. Ces colonnes contiennent les résultats pour les différents attributs, les sous-objectifs et l'évaluation globale de la végétation pour le type de cours d'eau utilisé pour l'évaluation (T3).

B2. Liste des probabilités modifiées et de l'évaluation globale pour tous les types de cours d'eau classée par probabilité décroissante. Sont indiqués dans un « string » (champ de type chaîne) le type de cours d'eau (T3), l'évaluation globale spécifique au type correspondante (échelle de 0 à 1) et la probabilité modifiée, ces éléments étant séparés par un trait de soulignement.

B3. Liste des probabilités modifiées et de l'évaluation globale pour tous les types de cours d'eau ayant une probabilité > 10 % classée par évaluation décroissante. Sont indiqués dans un « string » (champ de type chaîne) les mêmes éléments que pour B2.

B4. Ces colonnes contiennent l'évaluation ou les évaluations globale(s) de la végétation pour tous les types de cours d'eau.

En complément, la hiérarchie des objectifs, incluant l'évaluation correspondante, est représentée graphiquement pour chaque tronçon d'étude en vue du contrôle de vraisemblance et de l'interprétation des résultats (annexe A11).

7 Contrôle de vraisemblance

7.1 Généralités

Contrôle de vraisemblance fondé sur des règles prédéfinies par l'outil d'analyse

Une fois que l'outil d'analyse a exécuté la typification et l'évaluation des tronçons d'étude, un contrôle de vraisemblance doit être effectué par le collaborateur de terrain. À cette fin, celui-ci peut recourir à l'outil d'analyse, lequel teste la vraisemblance de la typification et de l'évaluation de chaque tronçon selon des règles prédéfinies et propose le cas échéant de changer le type de cours d'eau ou la hiérarchie d'objectifs utilisée pour l'évaluation. Les résultats de ces analyses sont listés conformément à l'annexe numérique DA3.

Classification définitive par la collaborateur de terrain

Le collaborateur de terrain vérifie ensuite en se basant sur ces données et sa propre expérience si tous les tronçons d'étude ont été classifiés et évalués correctement. Il importe donc que le contrôle de vraisemblance soit effectué par la personne qui s'est occupée des relevés du cours d'eau. Lorsque des violations de règles sont signalées, celle-ci doit confirmer la typification ou l'évaluation, ou alors affecter autrement les tronçons en suivant différentes instructions et en justifiant la mutation.

Produits finaux générés par l'outil d'analyse

Suite à la classification définitive par les collaborateurs de terrain, l'outil d'analyse recalcule l'évaluation et génère les produits finaux.

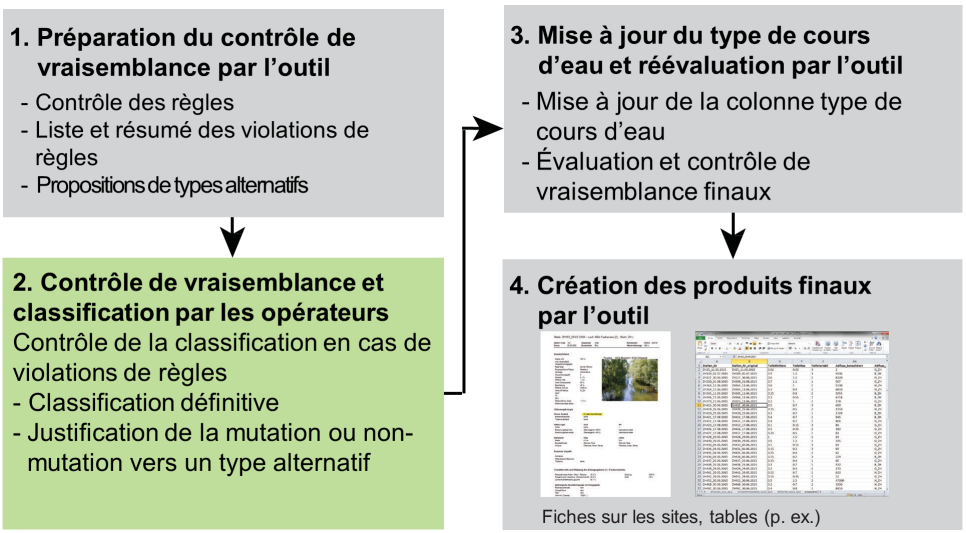


Figure 29 **Vue d'ensemble du contrôle de vraisemblance. Les étapes surlignées en vert sont exécutées par les collaborateurs de terrain, les étapes surlignées en gris par l'outil informatique.**

7.2 Vérification de la vraisemblance

La composition de la végétation correspond aux prévisions

Les facteurs stationnels permettent de prévoir la composition floristique qu'on rencontrera dans une station. Le contrôle de vraisemblance fait ressortir les tronçons dont la typification et l'évaluation ne correspondent pas aux prévisions. Ce contrôle est spécifique au type de cours d'eau et se fonde sur les règles énumérées dans le Tableau 13. Ces règles sont expliquées plus en détail au point 7.2.1.

7.2.1 Règles fixées pour le contrôle de vraisemblance

L'outil d'analyse vérifie, de manière spécifique, diverses règles (R1 à R11) pour les différents types de cours d'eau et liste l'ensemble des violations dans des colonnes séparées, conformément à l'annexe numérique DA3. Le Tableau 13 indique quelles règles s'appliquent dans les différents types. L'outil d'analyse vérifie les règles suivantes :

R1. **La forme de croissance caractéristique est absente :** on s'attend à ce que la forme de croissance caractéristique soit présente dans le type de cours d'eau utilisé pour l'évaluation (T3). Par exemple, on s'attend à rencontrer des hélophytes et des bryophytes dans les types de transition à hélophytes et bryophytes.

R2. **Le type de cours d'eau n'atteint pas la probabilité maximale :** le type de cours d'eau selon le schéma de typification devrait présenter la probabilité la plus élevée (T1 = T2).

R3. **Le type de cours d'eau affichant la probabilité maximale (à l'exception du type pauvre en végétation) n'obtient pas la meilleure évaluation :** on s'attend à ce que le type le plus probable (T4) obtienne la meilleure évaluation. Seuls les types ayant une fonction de valeur et une probabilité d'au moins 10 % sont pris en considération.

R4. **Le recouvrement absolu des macrophytes est faible :** dans les types de cours d'eau bénéficiant de bonnes conditions de lumière, au moins 10 % du fond du lit devraient être recouverts de végétaux (recouvrement total des hydrophytes, hélophytes et bryophytes supérieur à 10 %).

R5. **La probabilité du type de cours d'eau pauvre en végétation est élevée :** l'outil vérifie si la probabilité du type pauvre en végétation est plus élevée que la valeur seuil spécifique (W_VA_Typ dans le Tableau 13) du type de cours d'eau associé (T1).

R6. **Le recouvrement absolu des macrophytes est faible, tandis que la probabilité du type pauvre en végétation est élevée :** l'outil vérifie pour les tronçons avec un recouvrement d'hydrophytes, d'hélophytes et de bryophytes inférieur à 10 % si la probabilité du type pauvre en végétation est plus élevée que la valeur seuil spécifique au type (W_VA_Typ dans le Tableau 13).

R7. **Le recouvrement absolu des hydrophytes et des hélophytes est particulièrement important pour les types à bryophytes et le type pauvre en végétation :** dans les types à bryophytes et le type pauvre en végétation, le recouvrement absolu des hydrophytes et des hélophytes devrait être faible. Si les hydrophytes et les hélophytes constituent ensemble un recouvrement absolu de plus de 10 %, il faut se demander si le tronçon a été classé dans le type correct.

R8. **Les bryophytes dominent sur le substrat artificiel :** si les bryophytes se rencontrent principalement (≥ 80 %) sur un substrat artificiel, il faut se demander si le substrat naturel permet une colonisation par des bryophytes.

R9. **L'adéquation du substrat pour les bryophytes est incertaine :** selon les explications du point 5.5.3, la stabilité du substrat est estimée approximativement à partir de la proportion de substrat grossier en fonction du débit. Souvent, cette approximation ne reflète pas précisément la situation sur le terrain. C'est pourquoi la stabilité du substrat est en outre directement enregistrée en trois

classes lors du relevé de terrain. Pour les types à bryophytes, la vérification des règles combine donc ces deux critères et tient compte de la végétation bryophytique du tronçon. Un recouvrement important et/ou un grand nombre de taxons de bryophytes prédominant sur le substrat naturel de la station montrent que ce substrat est favorable à leur colonisation. Dans les tronçons au fond instable ou partiellement instable qui comptent moins de trois (PB) ou quatre (MB, GB, TGB) espèces de bryophytes et présentent un recouvrement absolu des bryophytes de moins de 5 %, il n'est pas certain que les conditions de vie leur soient favorables.

R10. **Le recouvrement absolu des bryophytes est important pour les types de cours d'eau pauvres en végétation :** dans les types de cous d'eau pauvres en végétation, on s'attend à ce que le recouvrement absolu des bryophytes soit très faible. Si celui-ci dépasse 10 %, il faut vérifier si le tronçon a été classé dans le type correct.

R11. **L'évaluation est meilleure dans n'importe quel autre type :** si des tronçons qui, selon le schéma de typification, sont classés dans les types de transition à hélophytes et bryophytes ou dans les types de base à bryophytes obtiennent une meilleure évaluation dans un type de base à submergées ou à hélophytes ou dans un type de transition à submergées et hélophytes de classe de débit comparable, il faut se demander s'ils ont été classés dans le type correct. Il en va de même pour les tronçons classés dans le type pauvre en végétation qui obtiennent une bonne ou très bonne évaluation dans n'importe quel autre type de cours d'eau. Dans tous ces cas, il se peut qu'une estimation trop imprécise des paramètres stationnels ait faussé la classification. Mais il est aussi possible que la végétation d'un tronçon d'étude soit si fortement influencée par les tronçons amont qu'elle en devient atypique.

7.2.2 Justifications d'un changement du type ou de l'évaluation

Examen critique en cas de violations de règles

Les violations de règles ne signifient pas forcément que des tronçons d'étude ont été mal classés ou évalués, car les facteurs anthropiques peuvent également entraîner une modification de la composition floristique. Alors que certaines violations de règles exigent unun reclassement dans un autre type de cours d'eau ou une autre hiérarchie d'objectifs pour l'évaluation, d'autres signalent simplement les tronçons que le collaborateur de terrain doit vérifier d'un œil particulièrement critique. Tout changement de type ou d'évaluation est réalisé conformément aux instructions énumérées dans le Tableau 13. Ces instructions sont expliquées plus en détail aux points 7.2.2 et 7.2.3.

Raisons motivant un changement du type ou de l'évaluation

Les mutations consistent à reclasser les tronçons dont la typification n'est pas vraisemblable. On peut aussi y recourir pour obtenir une meilleure évaluation dans un autre type de cours d'eau ou pour éviter des résultats faussement négatifs.

Meilleure évaluation ne découlant pas de facteurs anthropiques

Un reclassement dans un type mieux évalué ne peut être réalisé que si la meilleure évaluation ne découle pas de l'influence de facteurs anthropiques. Par exemple, un reclassement des types de base à hélophytes dans les types de transition à hélophytes et bryophytes permet d'obtenir de meilleurs résultats puisque les objectifs fixés pour le nombre de taxons et le recouvrement sont plus élevés dans les types de base à hélophytes que dans les types de transition à hélophytes et bryophytes. Ce genre de mutation n'est donc possible que si le fond du lit est naturellement constitué d'une

forte proportion de substrat grossier et que les bryophytes prédominent sur le substrat naturel de la station. L'absence de la forme de croissance caractéristique suggère également un reclassement dans un autre type. Un fond fortement aménagé peut toutefois expliquer l'absence d'hydrophytes, un pied de berge fortement aménagé celle d'hélophytes. Dans ce type de cas, il ne faut pas procéder à une mutation.

Propositions de mutations obligatoires par l'outil

L'outil d'analyse aide les collaborateurs de terrain à exécuter le contrôle de vraisemblance en leur imposant une mutation (M1-M4) pour tous les tronçons d'étude avec des violations de règles (R) entraînant impérativement un changement du type ou de l'évaluation :

M1. **Changement de l'évaluation PS vers PH en raison de l'absence de la forme de croissance caractéristique :** le petit type à submergées (PS) représente un cas à part parce que les grandeurs clés utilisées pour la typification ne permettent pas de prévoir la forme de croissance caractéristique de façon satisfaisante. Les hydrophytes auxquelles on pourrait s'attendre manquent dans près d'un tiers de l'ensemble des tronçons d'étude. Aucun paramètre de typification supplémentaire n'a pu être trouvé pour expliquer cette absence. Ce ne sont pas seulement les conditions stationnelles qui déterminent quelles espèces sont présentes dans un cours d'eau, mais aussi le pool d'espèces du bassin versant[60]. La probabilité d'apparition des hydrophytes, qui sont beaucoup moins fréquentes que les hélophytes, augmente avec la taille du bassin versant. Les tronçons classés dans le type PS qui n'ont pas d'hydrophytes peuvent rester dans le type PS, mais **doivent** être évalués avec les fonctions de valeur définies pour le type PH, et non avec celles du type PS.

M2. **Reclassement du type pauvre en végétation dans le type de base à submergées ou à hélophytes en raison d'un recouvrement absolu important (R7) :** les facteurs stationnels du type pauvre en végétation laissent présager une végétation peu abondante. Si le recouvrement absolu des hydrophytes ou des hélophytes est important, il se peut que l'ombrage ou le stress hydraulique ait été surestimé, ou que le tronçon soit fortement influencé par la végétation peuplant le cours supérieur. Lorsque le recouvrement absolu des hydrophytes et des hélophytes réunies dépasse 20 % du tronçon, la classification de celui-ci **doit** être modifiée, car il est évident qu'il y a eu une erreur. Dans ce cas, l'outil d'analyse indique le type le plus probable présentant la forme de croissance caractéristique.

M3. **Reclassement du type pauvre en végétation dans le type de base à submergées ou à hélophytes en raison d'un recouvrement absolu modéré (R7) :** lorsque le recouvrement absolu des hydrophytes et des hélophytes réunies se situe entre 10 et 20 % et que la probabilité des types alternatifs dépasse 10 %, le tronçon **doit** être reclassé dans le type le plus probable dont la forme de croissance caractéristique est présente. Si la probabilité ne permet aucun type alternatif (probabilité < 10 %), il n'est pas nécessaire de procéder à une mutation.

M4. **Reclassement du type pauvre en végétation dans le type de base à bryophytes ou le type de transition à hélophytes et bryophytes en raison d'une**

[60] Lorenz, W. L. et Feld, C. K. 2013 : Upstream river morphology and riparian land use overrule local restoration effects on ecological status assessment. Hydrobiologia, 704 : 489-501.

biomasse bryophytique importante (R10) : un recouvrement de bryophytes important dans un type pauvre en végétation indique que le fond du lit est stable et que la stabilité du substrat n'a pas pu être estimée correctement en raison de la proportion de pierres. Les tronçons classés dans le type pauvre en végétation qui présentent un recouvrement de bryophytes de plus de 10 % **doivent** être reclassés, indépendamment de leur probabilité de type. Dans ce cas, l'outil indique le type le plus probable dont la forme de croissance caractéristique est présente. Les mutations sont exclues pour les tronçons dans lesquels les bryophytes apparaissent à plus de 80 % sur un substrat artificiel.

Propositions de mutations facultatives par l'outil

En plus des propositions de mutations obligatoires (type ou évaluation), l'outil d'analyse propose en fonction des violations de règles (R) des évaluations ou des types alternatifs autorisés (P1-P4), permettant une meilleure évaluation des tronçons d'étude.

P1. **Changement de l'évaluation des types de transition à submergées et hélophytes en raison d'une probabilité élevée (R3) :** pour les types de transition à submergées et hélophytes (PS-PH, MS-MH), l'outil propose une mutation vers le type de base le mieux évalué si la différence entre les deux probabilités de type est inférieure à 20 %. La mutation est uniquement autorisée si la forme de croissance caractéristique est présente dans le type alternatif.

P2. **Changement de la classe de grandeur à l'intérieur d'un type en raison d'une probabilité élevée (R3) :** lors de la typification, l'outil indique pour chaque tronçon la probabilité avec laquelle celui-ci concorde avec les différents types de cours d'eau basés sur la végétation (point 5.4). Le contrôle de vraisemblance des tronçons étudiés jusqu'ici a démontré que tous les types avec une probabilité de plus de 10 % peuvent servir de types alternatifs. L'outil d'analyse propose un reclassement dans le type le mieux évalué du même groupe de formes de croissance lorsqu'un tronçon d'étude présente un débit se situant entre deux classes de débit. Un reclassement dans PS ne sera proposé que si des plantes submergées sont présentes.

P3. **Reclassement de tous les types dans le type pauvre en végétation en raison d'un recouvrement absolu faible (R4, R5, R6) :** en cas d'évaluation insuffisante, l'outil propose un reclassement dans le type pauvre en végétation lorsque le recouvrement absolu des hydrophytes et des hélophytes réunies ou le recouvrement des bryophytes est inférieur à 10 % et qu'en même temps la probabilité de ce type est plus élevée que la valeur seuil spécifique au type (W_VA dans le Tableau 13). D'un point de vue purement mathématique, plus les types de cours d'eau sont proches du type pauvre en végétation dans le schéma de typification et en sont entourés, plus leur probabilité est élevée pour le type pauvre en végétation. Les valeurs seuils spécifiques au type ont été introduites parce que des analyses ont montré que l'utilisation d'une valeur seuil indépendante du type entraîne une multitude de violations de règles, qui dans la plupart des cas ne se traduisent pas par un changement de type.

P4. Reclassement des types de transition à hélophytes et bryophytes, des types de base à bryophytes ou du type pauvre en végétation dans des types mieux évalués (R11) : si des tronçons classés dans les types de transition à hélophytes et bryophytes ou dans les types de base à bryophytes sont mieux évalués dans les types de base à

submergées ou à hélophytes ou dans les types de transition à submergées et hélophytes de la même classe de courant, l'outil propose un reclassement dans ces types. Il en va de même pour les tronçons classés dans le type pauvre en végétation qui obtiennent une bonne ou très bonne évaluation dans n'importe quel autre type de cours d'eau. Ces mutations sont proposées indépendamment de la probabilité du type, et uniquement pour les types présentant la forme de croissance caractéristique. Elles sont autorisées parce que les exigences que la végétation doit remplir pour obtenir une bonne évaluation diminuent des types figurant sur la gauche du schéma de typification aux types figurant sur la droite.

Le collaborateur de terrain examine les propositions de l'outil et les autres violations de règles, puis documente les mutations

Tous les tronçons pour lesquels des violations de règles sont signalées doivent être examinés par le collaborateur de terrain, qui en teste la vraisemblance. L'outil liste diverses propositions de mutations obligatoires ou facultatives, mais ne peut pas proposer des types alternatifs pour toutes les violations de règles. Le collaborateur de terrain doit par conséquent aussi bien examiner les propositions de l'outil qu'envisager d'autres mutations possibles en fonction des violations de règles. Ensuite, il doit documenter les mutations (type ou évaluation) et justifier son choix dans les colonnes prévues à cet effet (D1 à D11) :

D1. **Changement de type ou de l'évaluation suite aux propositions de l'outil :** le collaborateur de terrain inscrit dans la colonne D1 si la mutation est réalisée suite aux propositions de mutations obligatoires (M1 à M4) ou aux propositions de reclassements facultatifs dans d'autres types (P1 à P4) listées par l'outil.

D2. **Reclassement du type de cours d'eau en raison d'une probabilité élevée (R1, R2, R3, p. ex.) :** lors de la typification, l'outil indique pour chaque tronçon la probabilité avec laquelle celui-ci concorde avec les différents types de cours d'eau basés sur la végétation (point 5.4). Le contrôle de vraisemblance des tronçons étudiés jusqu'ici a démontré que tous les types avec une probabilité de plus de 10 % peuvent servir de types alternatifs. Une mutation est donc possible quand le type alternatif présente une probabilité de plus de 10 % (probabilités listées dans B2) et qu'on y rencontre la forme de croissance caractéristique. Les reclassements dans le type pauvre en végétation sont exclus de ce cas de figure.

D3. **Reclassement des types à bryophytes dans le type pauvre en végétation en raison de l'adéquation du substrat (R9, p. ex.) :** si l'adéquation du substrat est jugée critique lors du contrôle des règles, les tronçons évalués de façon insatisfaisante peuvent être reclassés dans le type pauvre en végétation, même si la probabilité du type est inférieure à 10 %. Surtout recommandé pour les tronçons dont la morphologie est peu perturbée, ce procédé permet de réduire le nombre de tronçons évalués de façon insatisfaisante. En raison de l'estimation approximative de l'adéquation du substrat, des résultats faussement négatifs peuvent être évités.

D4. Reclassements des types à bryophytes dans des types alternatifs en raison de la proportion de bryophytes sur le substrat artificiel (R8) : si la proportion de bryophytes sur le substrat artificiel atteint ou dépasse 80 % (R8), les tronçons classés dans les types à bryophytes peuvent être reclassés dans des types de cours d'eau alternatifs de la même classe de débit. Si la proportion de bryophytes sur le substrat naturel est faible, on part du principe que le substrat naturel ne convient pas aux bryophytes. Les probabilités de type (T6) des types dominés par un substrat

fin (point 5.4.1 et DA3) donnent des indications sur les types alternatifs possibles. Les mutations sont autorisées même si les probabilités de type sont inférieures à 10 %.

7.2.3 Appréciation finale par le collaborateur de terrain

Autres raisons motivant un changement de type ou d'évaluation

Outre les raisons précitées (D1 à D4), des raisons supplémentaires (D5 à D11) peuvent motiver une mutation. En fin de compte, c'est le collaborateur de terrain qui est chargé de procéder à l'évaluation finale et de documenter celle-ci conformément à l'annexe numérique DA3, en se basant sur sa connaissance des lieux, son savoir en matière d'écologie des eaux et les violations de règles signalées. Les raisons suivantes ont également entraîné une mutation de certains des tronçons étudiés jusqu'ici :

D5. **Paramètre stationnel mal relevé :** il peut arriver que des tronçons soient classés dans des types non vraisemblables suite à un mauvais relevé des paramètres stationnels. Dans ce type de cas, les probabilités de type calculées n'indiquent pas non plus des types alternatifs judicieux. Il faut donc que le collaborateur de terrain corrige les paramètres stationnels dans la liste DA2 « Données sur le site et les espèces », puis reclasse le tronçon dans le type de cours d'eau qui lui correspond après l'avoir réévalué à l'aide de l'outil.

D6. **Influence du cours supérieur :** la végétation d'une station dépend aussi de facteurs stationnels qui ne sont pas pris en considération lors de la typification. Par exemple, on a constaté que quelques tronçons d'étude sont si influencés par la composition floristique ou les conditions stationnelles régnant dans le cours supérieur (une forte pente, p. ex.) que les facteurs stationnels dans le tronçon d'étude perdent de leur importance. Dans ce type de cas, le collaborateur de terrain peut apporter une correction en se basant sur sa connaissance des lieux.

D7. **Assèchement périodique :** dans les types de cours d'eau peu profonds (PH, PS-PH, PH-PB) à débit très faible (< 20 l/s), un recouvrement absolu des hélophytes peu important pourrait être dû à des exondations périodiques. Or, justement, les conditions d'écoulement des très petits cours d'eau sont souvent mal connues et les débits modélisés peu précis. Afin d'éviter des résultats faussement négatifs, ces tronçons doivent être reclassés dans les types pauvres en végétation, à condition qu'aucune perturbation anthropique importante ne soit détectée.

D8. **Importantes variations des débits :** en cas de faible recouvrement absolu des hydrophytes et des hélophytes dans des types de cours d'eau bénéficiant de bonnes conditions de lumière qui dans le schéma de typification (Figure 13) sont proches de types pauvres en végétation (GS, TGS, MS-MH, MH, MH-MB), il faut se demander si les tronçons d'étude sont naturellement pauvres en végétation. Dans les grands cours d'eau surtout (débit à partir d'env. 1000 l/s), l'absence des macrophytes aquatiques pourrait par exemple s'expliquer par de fortes variations naturelles des débits.

D9. **Limites de la typification :** certains tronçons classés dans le type pauvre en végétation présentent par endroits des biomasses importantes. Ainsi, un recouvrement des bryophytes important a quelquefois été observé dans des tronçons bénéficiant de bonnes conditions de lumière, ou de grands cours d'eau à forte pente ont présenté un recouvrement substantiel d'hydrophytes. Si une mutation ne peut se justifier par une probabilité de type suffisamment forte, des facteurs stationnels mal relevés ou l'influence du cours supérieur, cela peut être le fait d'autres facteurs, qui ne sont pas pris en considération dans le cadre de la typification, ou

d'une classification mal choisie. Seuls quelques tronçons étaient disponibles pour fixer les limites entre les types, surtout pour les grands à très grands cours d'eau.

D10. **Des inventaires multiples facilitent la classification :** dans le cadre de programmes de suivi, certains tronçons sont généralement cartographiés plusieurs fois, ce qui facilite le contrôle de vraisemblance. Il est ainsi plus facile de détecter les situations exceptionnelles relevées pendant la cartographie sur le terrain. La classification devrait se fonder sur la « situation normale » et il faudrait éviter les mutations permanentes.

D11. **Raisons diverses :** dans cette colonne, le collaborateur de terrain peut consigner diverses autres raisons qui l'ont motivé à changer un type ou ajouter des remarques concernant son choix.

Raisons motivant le maintien du type initial

Il est recommandé d'expliquer également pourquoi des tronçons pour lesquels des violations de règles sont signalées ont été maintenus dans le type initial. Ces explications permettront de comprendre ultérieurement pourquoi aucune mutation n'a été effectuée malgré les violations de règles. Les raisons suivantes sont proposées (D12 à D14) :

D12. Le type de cours d'eau selon le schéma de typification est le plus vraisemblable malgré la violation de règle.

D13. Une meilleure évaluation dans un autre type pourrait découler de facteurs anthropiques.

D14. Le reclassement dans les types de base à bryophytes ou les types de transition à hélophytes et bryophytes n'est pas effectué parce que la proportion des bryophytes sur le substrat artificiel est peu claire.

7.3 Produits finaux

L'outil d'analyse teste la vraisemblance des tronçons d'étude de la manière décrite dans le chapitre 7.2.1 et, le cas échéant, propose des mutations (point 7.2.2). Le collaborateur de terrain procède ensuite à la classification finale selon les chapitres 7.2.2 et 7.2.3, puis documente ses choix en expliquant, pour tous les tronçons avec des violations de règle, pourquoi il a effectué une mutation ou, au contraire, maintenu le type initial. Pour terminer, l'outil d'analyse exécute l'évaluation finale de ces types de cours d'eau après que leur vraisemblance ai été contrôlée (B5) et génère les produits finaux suivants :

- Tables compilant l'ensemble des données vérifiées des relevés cartographiques et des grandeurs calculées de la typification, de l'évaluation et du contrôle de vraisemblance.
- Fiches standardisées pour l'ensemble des tronçons d'étude (voir A11) contenant des informations sur les paramètres stationnels, les caractéristiques de la végétation, la typification et l'évaluation.

Les produits finaux générés par l'outil sont documentés plus en détail dans l'annexe numérique DA3.

Vérification des règles par l'outil	**PS**	**MS**	**GS**	**TGS**	**PS-PH**	**MS-**	**PH**	**MH**	**PH-PB**	**MH-**	**PB**	**MB**	**GB**	**TGB**	**PV**
R1 Forme de croissance caractéristique absente	A	A	A	A	H/A*	H/A*	H	H	M & H	M & H	M	M	M	M	-
R2 Type de cours d'eau ≠ P. max.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
R3 Type de cours d'eau avec P. max. ≠ meilleure évaluation	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
R4 Recouvrement absolu Macrophytes < 10 %	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-
R5 P. du type de cours d'eau > W_*VA*_Typ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
• W_*VA*_Typ	10%	10%	20%	30%	10%	20%	10%	20%	10%	20%	10%	20%	20%	30%	-
R6 Recouvrement absolu Macrophytes < 10 % **et** P. du type de cours d'eau > W_VA_Typ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-
R7 Recouvrement absolu Hydrophytes et Hélophytes > 10 % dans types *B* et *PV*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
R8 Bryophytes > 80 % sur substrat artificiel	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	-
R9 Adéquation incertaine du substrat pour les bryophytes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-
R10 Recouvrement absolu Bryophytes > 10 % dans type *PV*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
R11 Meilleure évaluation dans un autre type	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
Propositions de changements de type ou d'évaluation par l'outil															
M1 Changement de l'évaluation *PS* vers *PH* en raison de la forme de croissance	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M2 Reclassement de *PV* dans *H ou S* en raison d'un recouvrement absolu important	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
M3 Reclassement de *PV* dans *H ou S* en raison d'un recouvrement absolu modéré	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
M4 Reclassement de *PV* dans *B* en raison d'un recouvrement absolu important	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
P1 Changement de l'évaluation des types *S-H* en raison de P. élevée	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P2 Changement de la classe de grandeur en raison de P. élevée	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
P3 Reclassement de *H, S et M* dans *PV* en raison d'un recouvrement absolu faible	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
P4 Reclassement de *H-B, B, PV* dans des types mieux évalués									X	X	X	X	X	X	X
Documentation des changements de type ou d'évaluation par le collaborateur de terrain															
D1 Changement du type ou de l'évaluation suite aux propositions de l'outil	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
D2 Mutation du type en raison de P. élevée	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
D3 Reclassement de *B* dans *PV* en raison de l'adéquation du substrat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-
D4 Mutation de *B* en raison de la proportion de bryophytes sur le substrat artificiel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-
D5-D11 Mutation pour diverses raisons	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
D12-D14 Maintien du type initial pour diverses raisons	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 13 **Règles fixées pour le contrôle de vraisemblance, propositions et documentation pour le changement du type :** type spécifique (X) = type dont il faut tenir compte, (-) type dont il ne faut pas tenir compte.

Abréviations pour les forme de croissance : A=aquatique ; H= hélophytique ; M= bryophytique ; H/A*= forme de croissance du type pertinent pour l'évaluation

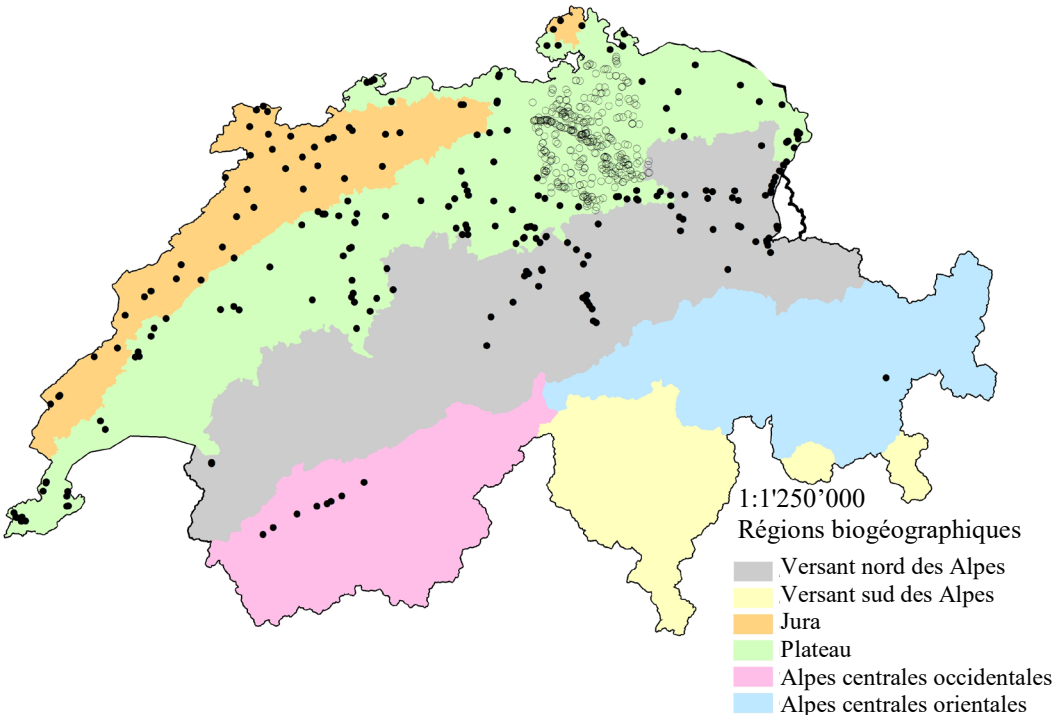
Abréviations pour les types de cours d'eau définis par la végétation (en italique) : voir tableau 5

Abréviations pour les règles, propositions et documentation : type de cours d'eau= type de cours d'eau définis par la végétation ; P.= probabilité

Annexes

A1 Jeu de données Suisse

La carte montre la répartition géographique des tronçons d'étude utilisés pour le développement de la méthode. Des méthodes statistiques ont tout d'abord été appliquées pour examiner si les conditions stationnelles et la composition floristique des tronçons d'étude de la Suisse et du canton de Zurich étaient comparables. Comme il est apparu que c'était le cas, la mise au point de la méthode s'est basée sur le jeu de données complet.



Type de cours d'eau basé sur la végétation		Nombre de sites	Fréquence [%]
PS	Petit cours d'eau à submergées	49	6
MS	Moyen cours d'eau à submergées	48	6
GS	Grand cours d'eau à submergées	11	1
TGS	Très grand cours d'eau à submergées	37	5
PS-PH	Petit cours d'eau de transition à submergées et hélophytes	66	8
MS-MH	Moyen cours d'eau de transition à submergées et hélophytes	25	3
PH	Petit cours d'eau à hélophytes	110	13
MH	Moyen cours d'eau à hélophytes	46	6
PH-PB	Petit cours d'eau de transition à hélophytes et bryophytes	19	2
MH-MB	Moyen cours d'eau de transition à hélophytes et bryophytes	27	3
PB	Petit cours d'eau à bryophytes	65	8
MB	Moyen cours d'eau à bryophytes	15	2
GB	Grand cours d'eau à bryophytes	3	0
TGB	Très grand cours d'eau à bryophytes	14	2
PV (é)	Cours d'eau pauvre en végétation, éclairé	109	13
PV (o)	Cours d'eau pauvre en végétation, ombragé	140	17
A	Grandes rivières > 10 000 l/s	36	4
	Total	**820**	

A2 Matériel pour le relevé de terrain

Les relevés sur le terrain nécessitent le matériel suivant :

- Carte nationale au 1:25 000 et/ou plans à une échelle adaptée à l'objectif de l'analyse pour le report des tronçons d'étude cartographiés (1:5000, 1:10 000)
- GPS
- Fiches de relevé avec sous-main, chemises imperméables et crayons gras
- Appareil photographique pour la documentation des tronçons d'étude
- Double mètre pour la détermination de la profondeur de l'eau
- Éventuellement courantomètre, de type « Flowatch » par exemple
- bottes/cuissardes/waders (adaptés à la profondeur d'eau) ; gilet de sauvetage
- Canne à pêche et/ou grappin à plantes ou râteau à long manche pour le prélèvement des plantes dans les zones d'eau profonde
- Loupe (agrandissement minimal 10 x)
- Éventuellement aide visuelle (aquascope ou similaire)
- Sachets étanches en plastique pour les échantillons de plantes vasculaires et de characées
- Enveloppes en papier pour les échantillons de bryophytes
- Glacière pour le transport des échantillons de plantes jusqu'au laboratoire
- Ouvrages de détermination

A3 Fiche de relevé Macrophytes – page 1

Code de la station :		**Date / heure :**	/	**Collaborateur de terrain :**	
Cours d'eau :		**Canton :**		**N° photos :**	

Coordonnées :	**X :**		**Y :**		**Altitude :**		**Longueur [m] :**	

Largeur	
Lit : ÉcR	m
Lit mouillé :	m
Variabilité : ÉcR	☐ Prononcée
	☐ Limitée
	☐ Nulle

Pente T	
Valeur SIG :	%
Source SIG :	
Estimation terrain :	%

Débit T	Moyenne	Moy. journ.
Mesure hydrologique :	l/s	l/s
N° de la station :	☐ tronçon	☐ à proximité
Valeur SIG :	l/s	
Source SIG :		
Estimation terrain	l/s	

Profondeur	Jour du relevé	Par niveau moyen T
Moyenne	m	m
Maximale	m	
Variabilité	☐ Prononcée	
	☐ Modérée	
	☐ Nulle	

Ombrage T	
Estim. terrain :	%

Courant	**m/s**	**%**
Écoulement moyen sur le terrain		-
Presque pas, ou courant inversé	< 0,03	%
Très lent	0,03-0,1	%
Lent, eau presque lisse	0,1-0,3	%
Rapide, peu turbulent	0,3-1	%
Très rapide, turbulent	>1	%

Stabilité du substrat	
Très stable	☐
Stable	☐
Instable	☐

Substrat T	**cm**	**%**
Blocs/rochers	> 40	%
Grosses pierres	20-40	%
Galets	6,3-20	%
Gravier grossier	2-6,3	%
Gravier fin-moyen	0,2-2	%
Sable	0,063-0,2	%
Limon/argile	< 0,063	%
Vase		%
Humus/tourbe		%
Sub. artificiels		%

Aménagement du fond du lit ÉcR			
Degré d'aménagement		Type d'aménagement/matériau	
Nul (0%)	☐	Pierres naturelles	☐
Localisé (< 10%)	☐	Bois	☐
Moyen (10-30%)	☐	Briques perforées béton	☐
Importants (30-60%)	☐	Imperméable/béton	☐
Prépondérants (>60%)	☐	Autres/étanches	☐
A. total (100%)	☐		

Renforcement du pied de berge ÉcR	gauche	droite		gauche	droite
Degré de renforcement			Type d'aménagement/matériau		
Nul (0%)	☐	☐	Matériau végétal	☐	☐
Localisé (< 10%)	☐	☐	Pierres nat. lâches	☐	☐
Moyen (10-30%)	☐	☐	Bois	☐	☐
Importants (30-60%)	☐	☐	Briques perforées béton	☐	☐
Prépondérants (> 60%)	☐	☐	Pierres nat. étanches	☐	☐
A. total (100%)	☐	☐	Mur	☐	☐
			Autres, imperméables	☐	☐

Rives ÉcR	gauche	droite
Largeur	m	m
Type dominant par rive		
Roselière, marais	☐	☐
Forêt	☐	☐
Arbres/buissons + prairie ext.	☐	☐
Mégaphorbiée uniforme	☐	☐
Prairie extensive non boisée	☐	☐
Plantation linéaire de ligneux	☐	☐
Sans végétation/artificielle	☐	☐
Gravier, galets, rochers	☐	☐
Autre :	☐	☐

Milieu environnant ÉcR	gauche	droite
Occupation dominante par rive		
Forêt mixte	☐	☐
Forêt de résineux (> 75 % rés.)	☐	☐
Forêt de feuillus (> 75 % feuillus)	☐	☐
Prairie grasse, champ, pâturage	☐	☐
Prairie maigre, mégaphorbiée	☐	☐
Roselière, marais	☐	☐
Zones alluviales	☐	☐
Zone habitée	☐	☐
Autre :	☐	☐

Aspect général AG	Aucun/nulle	Faible/moyen-ne	Fort(e)	Remarque
Colmatage	☐	☐	☐	
Turbidité	☐	☐	☐	

T : paramètres stationnels pour la typification
ÉcR : paramètres du module Écomorphologie – Niveau R du SMG
AG : paramètres du module Aspect général du SMG

Fiche de relevé Macrophytes – page 2

Code de la station :		**Date / heure :**	**/**	**Collaborateur de terrain :**	
Cours d'eau :		**Canton :**		**N° photos :**	

Recouvrement total absolu et substrat non recouvert

Recouvrement total	%	Pourcentage du substrat non recouvert	%

Recouvrement absolu des différents taxons

Nom du taxon	**Recouvrement absolu**	**Proportion sur substrat artificiel**	**Fiabilité de la détermination** 1 : fiable 2 : spécialistes 3 : vraisemblable 4 : non fiable	**État phénologique et habitus**							**Remarques sur les espèces (n° d'identification, p. ex.)**
				En germination	Submergées	Émergées	Bourgeons	Fleurs	Fruits	En sénescence	
Algues vertes filamenteuses	%	%									
Bryophytes / mousses	%	%									
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										
	%										

Remarques

Cours d'eau parcourable en cuissardes : oui ☐ non ☐ Cartographié depuis les deux rives : oui ☐ non ☐
Cartographié depuis la rive : gauche ☐ droite ☐
Des indices laissent-ils supposer que le site a été fauché, faucardé ou curé récemment : fond du lit oui ☐ non ☐ berge oui ☐ non ☐
Des néophytes terrestres sont-elles observées dans la zone riveraine :
à gauche non ☐ oui ☐, si oui sporadiquement ☐ fréquemment ☐ en masse ☐
à droite non ☐ oui ☐, si oui sporadiquement ☐ fréquemment ☐ en masse ☐

Commentaires (Barrage ou tronçon à débit résiduel, émissaire de lac à proximité, déversement marquant, développement d'organismes hétérotrophes, enherbement, météo, accessibilité du site, espèces particulières, etc.).

A4 Ouvrages de détermination

Les auteurs des ouvrages auxquels la liste des taxons renvoie sont marqués en gras.

Plantes aquatiques

Casper, S. J. et Krausch, H.-D. 1980/ 1981, réimpression 2008 : Süßwasserflora von Mitteleuropa (tomes 23 et 24) - Pteridophyta und Anthophyta. Springer Spektrum, Heidelberg 404/ 530 p.

Lansdown, R. V. 2008 : Water-Starworts Callitriche of Europe. Botanical Society of the British Isles. Handbook No 11. 180 p.

Lansdown, R. V. 2009 : A Field Guide to the Riverine Plants of Britain and Northern Ireland. 2nd Revised Edition. Ardeola. 335 p.

Meriaux, J. C. 2003 : Guide pratique de détermination des plantes aquatiques à l'état végétatif du bassin Artois-Picardie. Douai, Agence de l'Eau Artois-Picardie. 93 p.

Oldorff, S. et al. 2017 : Pflanzen im Süsswasser. Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart. 288 p.

Preston, C. D. 1995 : Pondweeds of Great Britain and Ireland, Botanical Society of the British Isles. Handbook No 8. 352 p.

Van de Weyer, K. et Schmidt, C. 2011 : Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten (Gefässpflanzen, Armleuchteralgen und Moose) in Deutschland. Band 1 : Bestimmungsschlüssel. Fachbeiträge des LUGV, Heft Nr. 119. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV). 166 p.

Van de Weyer, K. et Schmidt, C. 2011 : Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten (Gefässpflanzen, Armleuchteralgen und Moose) in Deutschland. Band 2 : Abbildungen. Fachbeiträge des LUGV, Heft Nr. 120. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV). 374 p.

Plantes vasculaires en général

Binz, A. 1990 : Schul- und Exkursionsflora für die Schweiz mit Berücksichtigung der Grenzgebiete : Bestimmungsbuch für die wildwachsenden Gefässpflanzen. 19. Auflage. Schwabe, Basel. 659 p.

Eggenberg, S. et Möhl, A. 2013 : Flora Vegetativa : ein Bestimmungsbuch für Pflanzen der Schweiz im blütenlosen Zustand. Haupt Verlag, Bern. 736 p.

Fitter, R. et al. 2016 : Guide des graminées, carex, joncs et fougères. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé. 256 p.

Graf, U.H. 2014 : Schlüssel zur Bestimmung von nichtblühenden Seggen, Binsen und anderen Sauergräsern in der Schweiz. Cyperaceae, Juncaceae, Juncaginaceae, Scheuchzeriaceae WSL Berichte 10 : 129 p.

Hess, H.E. et al. 2015 : Bestimmungsschlüssel zur Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. 7. Auflage. Springer, Basel. 711 p.

iGräser : App zur Bestimmung von Gräsern (Android & iOS) https://www.zhaw.ch/de/lsfm/dienstleistung/institut-fuer-umwelt-und-natuerliche-ressourcen/igraeser/ 14.2.2017.

Lauber, K. et al. 2012 : Flora Helvetica mit Bestimmungsschlüssel. 5. Auflage. Haupt, Bern. 1656 p. resp. 290 p.

Jäger, E. J. et al. 2017 : Rothmaler - Exkursionsflora von Deutschland, Gefäßpflanzen : Atlasband. Springer Spektrum, Berlin. 814 p.

Poland, J. et Clement, E. J. 2009 : The vegetative key to the British flora : Botanical Society of the British Isles. 526 p.

Bryophytes

Bailly, G., Vadam, J.C. et Vergon, J. P. 2004 : Guide pratique d'identification des bryophytes aquatiques. Besançon, Diren Franche-Comté. 158 p.

Coudreuse, J., Haury, J., Bardat, J. et Rebillard, J. P. 2005 : Clé d'identification des bryophytes aquatiques (et supra aquatiques) pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière (I.B.M.R.) accompagnée d'un répertoire des principales espèces et d'un glossaire illustré. Toulouse, Agence de l'Eau Adour-Garonne. 133 p.

Frahm, J.-P. 1998 : Moose als Bioindikatoren. Quelle & Meyer, Wiesbaden. 187 p.

Frahm, J.-P. et Frey, W. 2004 : Moosflora. Ulmer, Stuttgart. 538 p.

Frey, W. et al. 1995 : Die Moos- und Farnpflanzen Europas. 6. Auflage, Fischer Verlag, Stuttgart. 426 p.

Nebel, M. et Philippi, G. 2000 : Die Moose Baden-Württembergs. Band 1 : Allgemeiner Teil, Spezieller Teil (Bryophytina I, Andreaeales bis Funariales). Eugen Ulmer, Stuttgart. 512 p.

Nebel, M. et Philippi, G. 2001 : Die Moose Baden-Württembergs. Band 2 : Spezieller Teil (Bryophytina II, Schistostegales bis Hypnobryales). Eugen Ulmer, Stuttgart. 529 p.

Nebel, M. et Philippi, G. 2005 : Die Moose Baden-Württembergs. Band 3 : Spezieller Teil (Bryophyta: Sphagnopsida, Marchantiophyta, Anthocerotophyta). Eugen Ulmer, Stuttgart. 487 p.

Schnyder, N. 1997 : Bestimmungshilfe für einige häufige, leicht verwechselbare pleurokarpe Wassermoose. Meylania 12: 32-33.

Characées

Bailly, G. et Schaefer, O. 2010 : Guide illustré des Characées du nord-est de la France. Conservatoire botanique national de Franche-Comté.

Corillion R., 1975 : Flore et végétation du Massif Armoricain. T. IV. Flore des Charophytes (Characées) du Massif Armoricain et des contrées voisines d'Europe occidentale. Jouve éd., Paris. 216 p.

Krause, W. 1997 : Süsswasserflora von Mitteleuropa (Band 18) - Charales (Charophyceae). Gustav Fischer Verlag, Jena. 202 p.

Sellier, J. et Lambert, E. 2012 : Initiation à l'étude des characées. Exemple appliqué à la réserve naturelle du Pinail. 64 p.

Algues

Gutowski, A. et Foerster, J. 2007 : Benthische Algen ohne Kieselalgen und Armleuchteralgen – Feldführer. LANUV-Arbeitsblatt 2. Recklinghausen, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. 87 p.

Laplace-Treyture, C., Peltre, M.-C., Lambert, E., Rodriguez, S., Vergon J.-P. et Chauvain, C. 2014 : Guide pratique de détermination des algues macroscopiques d'eau douce et de quelques organismes hétérotrophes. Version électronique (pdf). Les Éditions d'Irstea Bordeaux, Cestas, 204 p.

Pfister, P. et Pipp, E. 2008 : Feld-Bestimmungsschlüssel für Makroalgen. In : Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente. Teil A3 – Phytobenthos. Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft BMLFUW. 89 p.

A5 Taxons de macrophytes fréquents : plantes vasculaires

Jusqu'ici, les relevés macrophytiques de 839 tronçons d'étude ont été pris en considération dans le cadre du développement de la méthode du SMG. Parmi les 96 taxons de plantes vasculaires rencontrés au total, 30 ont été observés dans plus de 30 tronçons. Ils sont énumérés dans la liste ci-dessous.

Taxon	**Nombre de tronçons**	**Fréquence (%)**
Phalaris arundinacea L.	395	47
Agrostis stolonifera L.	330	39
Nasturtium officinale R. Br.	321	38
Veronica anagallis-aquatica L.	276	33
Veronica beccabunga L.	216	26
Phragmites australis (Cav.) Steud.	142	17
Glyceria sp. (fluitans oder notata)	108	13
Berula erecta (Huds.) Coville	101	12
Sparganium sp. (erectum oder emersum)	96	11
Myriophyllum spicatum L.	95	11
Ranunculus trichophyllus Chaix s.str.	90	11
Ranunculus fluitans Lam.	89	11
Glyceria notata Chevall.	77	9
Callitriche sp.	76	9
Iris pseudacorus L.	66	8
Carex acutiformis Ehrh.	63	8
Glyceria fluitans (L.) R. Br.	62	7
Sparganium erectum L. s.l.	59	7
Elodea canadensis Michx.	57	7
Carex sp.	57	7
Potamogeton crispus L.	47	6
Scirpus sylvaticus L.	45	5
Deschampsia cespitosa (L.) P. Beauv.	44	5
Mentha aquatica L.	40	5
Typha latifolia L.	39	5
Equisetum palustre L.	37	4
Schoenoplectus lacustris (L.) Palla	37	4
Potamogeton natans L.	35	4
Elodea nuttallii (Planch.) H. St. John	34	4
Groenlandia densa (L.) Fourr.	34	4

A6 Taxons de macrophytes fréquents : bryophytes

Jusqu'ici, les relevés macrophytiques de 839 tronçons d'étude ont été pris en considération dans le cadre du développement de la méthode du SMG. Parmi les 40 taxons de bryophytes rencontrés au total, 21 ont été observés dans plus de 10 tronçons. Ils sont énumérés dans la liste ci-dessous.

Taxon	Nombre de tronçons	Fréquence (%)
Rhynchostegium riparioides (Hedw.) Cardot	398	47
Fontinalis antipyretica Hedw.	345	41
Leptodictyum riparium (Hedw.) Warnst.	251	30
Fissidens crassipes Bruch & Schimp. subsp. crassipes	208	25
Cratoneuron filicinum (Hedw.) Spruce	152	18
Cinclidotus riparius (Brid.) Arn.	71	8
Brachythecium rivulare Schimp.	57	7
Hygroamblystegium tenax (Hedw.) Jenn.	45	5
Pellia endiviifolia (Dicks.) Dumort. subsp. endiviifolia	42	5
Hygrohypnum luridum (Hedw.) Jenn.	32	4
Hygroamblystegium fluviatile (Hedw.) Loeske	28	3
Thamnobryum alopecurum (Hedw.) Gangulee	22	3
Cinclidotus fontinaloides (Hedw.) P.Beauv.	22	3
Marchantia polymorpha L.	20	2
Palustriella commutata aggr.	17	2
Calliergonella cuspidata (Hedw.) Loeske	15	2
Conocephalum conicum (L.) Dumort.	13	2
Cinclidotus danubicus Schiffn. & Baumgartner	13	2
Palustriella falcata (Brid.) Hedenäs	11	1
Cinclidotus aquaticus (Hedw.) Bruch & Schimp.	11	1

A7 Comparaison des caractéristiques de la végétation des tronçons de référence avec celles des tronçons les plus perturbés

Le tableau ci-dessous montre pour les différents groupes de formes de croissance (S = types de base à submergées : PS, MS-GS, TGS ; S-H = types de transition à submergées et hélophytes : PS-PH, MS-MH ; H = types de base à hélophytes : PH, MH ; H-B = types de transition à hélophytes et bryophytes : PH-PB, MH-MB ; B = types de base à bryophytes : PB, MB-GB-TGB) à quel point les caractéristiques de la végétation des tronçons de référence diffèrent de celles des tronçons les plus perturbés par les activités humaines. Un « plus » (+) signifie que la caractéristique a une valeur plus élevée dans les tronçons de référence que dans ceux qui sont davantage perturbés par les facteurs anthropiques ; un « moins » (-) signifie l'inverse. Le nombre de « plus » et de « moins » révèle si une différence significative a été observée pour le paramètre concerné entre les tronçons de référence et les tronçons perturbés (deux « plus » ou « moins » ; $p < 0,1$, test de la somme des rangs de Wilcoxon), ou s'il s'agissait seulement d'une tendance claire dans le boxplot (un « plus » ou « moins » ; $p \geq 0,1$, test de la somme des rangs de Wilcoxon) (cf. DA6). Le nombre d'astérisques indique à chaque fois le nombre de types de cours d'eau par groupe de formes de croissance qui présentent une corrélation. La courte désignation figurant entre parenthèses à la suite des caractéristiques de la végétation est la même que dans l'annexe numérique DA6. Les abréviations des groupes de formes de croissance sont suivies d'un chiffre entre parenthèses qui représente le nombre de types de cours d'eau qui leur sont rattachés.

	Groupes de formes de croissance				
Caractéristiques de la végétation	S (3)	S-H (2)	H (2)	H-B (2)	B (2)
Nombre d'hélophytes (n.helo)	++**		++**	+*	
Nombre d'hydrophytes (n.aquat)	++*	++			
Nombre de bryophytes (n.moos)			--*	-	++**
Nombre de formes de croissance des hélophytes (n.grfo.helo)	++*		++**		
Nombre de formes de croissance des hydrophytes (n.grfo.aquat)	++*	++			
Proportion d'hélophytes (dg.helo.rel)	++*		++**	++*	
Proportion d'hydrophytes (dg.aquat.rel)	-*				
Proportion de bryophytes (dg.moos.rel. adj.)			--*	-*	++
Proportion d'algues (dg.alga.rel)					--*
Recouvrement absolu des hélophytes (dg.helo.abs)	+*	+	++**	++*	
Recouvrement absolu des hydrophytes (dg.aquat.abs)					
Recouvrement absolu des bryophytes (dg.moos.abs)			--*		
Recouvrement absolu des algues (dg.alga.abs)					--*
Répartition homogène des taxons (heip.index.bry)	++*	++*			
Qualité spécifique des macrophytes (n.leitarten.mak)	++*		++*	++*	
Qualité spécifique des bryophytes (n.leitarten.bry)			--*	-	++**

A8 Objectifs d'évaluation et attributs des nœuds terminaux

L'évaluation de la végétation selon l'une des deux hiérarchies d'objectifs est fondée sur les objectifs (soulignés) et les attributs suivants (en italique) :

Types à macrophytes supérieurs : hiérarchie d'objectifs représentée à la Figure 27 :

- **Nombreuses espèces avec Forme(s) de croissance conforme(s) au type :** cet objectif supérieur évalue, à l'aide des objectifs spécifiques au type (nœuds terminaux) Nombreuses espèces de bryophytes *(n.moos)*, Nombreuses espèces d'hélophytes *(n.helo)* et Nombreuses espèces d'hydrophytes *(n.aquat)*, la diversité des espèces conforme au type dans un tronçon d'étude. Une espèce se présentant dans le tronçon d'étude avec plusieurs formes de croissance (Tableau 2) n'est prise en compte qu'une seule fois sous Nombreuses espèces d'hélophytes *(n.helo)*. L'évaluation se déroule de manière spécifique au type. Des réflexions écologiques ont montré que plus le nombre d'espèces caractéristiques est élevé, plus l'état écologique est bon. Les attributs évalués diffèrent selon le type de cours d'eau, car les groupes de formes de croissance ne doivent pas tous être présents de façon naturelle dans l'ensemble des types de cours d'eau.
- **Nombreuses espèces :** le nombre total d'espèces de macrophytes présentes dans un tronçon est évalué en tant que bonus pour l'objectif supérieur Nombreuses espèces avec Forme(s) de croissance conforme(s) au type à l'aide de l'attribut *n.taxa*. L'évaluation se déroule de manière spécifique au type. Selon Kohler et al.[61], l'état de la végétation est bon lorsqu'un large éventail de zones floristiques reflète toute la variété des qualités stationnelles. De ce fait, les espèces qui ne sont pas spécifiques au type améliorent elles aussi l'état structurel du cours d'eau, constituent un habitat supplémentaire pour d'autres organismes (pour le macrozoobenthos, p. ex.) et font partie intégrante de la chaîne alimentaire aquatique.
- **Nombreuses formes de croissance conformes au type :** les formes de croissance qui colonisent un cours d'eau varient selon les conditions stationnelles. Vu que la forme de croissance et les exigences écologiques d'une espèce sont liées, l'éventail de formes de croissance fournit des indications sur les conditions qui dominent dans un cours d'eau. Selon Van de Weyer et al.[62], un nombre accru de formes de croissance caractéristiques de la station augmente la diversité des habitats et améliore ainsi l'état écologique du cours d'eau. Il est aussi apparu que par rapport aux méthodes d'évaluation uniquement basées sur les espèces, les formes de croissance permettent une évaluation des communautés macrophytiques plus stable dans le temps, car elles sont moins soumises à des fluctuations aléatoires de courte durée[63]. Comme pour les espèces, le nombre de formes de croissance conformes au type est donc évalué à l'aide des objectifs

[61] Kohler, A. et Veit, U. 2003 : Die EU-Wasserrahmenrichtlinie – Anmerkungen aus Sicht der Makrophyten-Forschung in Fliessgewässern. Ber. Inst. Landschafts-Pflanzenökologie Univ. Hohenheim. Heft 11/12 : 57-72.

[62] Van de Weyer, K. 2015 : NRW-Verfahren zur Bewertung von Fließgewässern mit Makrophyten – Fortschreibung und Metrifizierung. LANUV-Arbeitsblatt 30. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf : 141 p. www.lanuv.nrw.de

[63] Wiegleb, G. et al. 2016 : Comparative test of ecological assessment methods of lowland streams based on long-term monitoring data of macrophytes. Science of the Total Environment, 541 : 1269-1281.

Nombreuses formes de croissance hélophytiques *(n.grfo.helo)* et Nombreuses formes de croissance hydrophytiques *(n.grfo.aquat)*, sur la base d'une classification modifiée d'après Van de Weyer[62] (Tableau 1).

- **Nombreuses formes de croissance :** le nombre total de formes de croissance présentes dans un tronçon est évalué en tant que bonus pour l'objectif Nombreuses formes de croissance conformes au type à l'aide de l'attribut *n.grfo*. Cela se justifie par le fait que même des formes de croissance atypiques (= non conformes à la station) améliorent l'état structurel du cours d'eau. L'évaluation se déroule de manière spécifique au type.
- **Part de macrophytes conforme au type :** la part relative des macrophytes supérieurs dans une communauté est évaluée à l'aide des objectifs spécifiques au type Part de bryophytes conforme au type adj. (*dg.moos.rel.adj*), Part d'hélophytes conforme au type (*dg.helo.rel*) et Part d'hydrophytes conforme au type (*dg.aquat.rel*). La composition floristique attendue dépend du type de cours d'eau. Si on compare la fréquence relative des hélophytes et divers paramètres morphologiques (annexe A7), on observe que la part des hélophytes diminue à mesure que l'aménagement du cours d'eau augmente. Par conséquent, l'absence d'une végétation riveraine indique que la structure du cours d'eau souffre de déficits et est donc évaluée négativement.
- **Pas de néophytes :** l'apparition d'espèces exotiques représente un défi de plus en plus important pour la protection des eaux. Les néophytes sont malvenues dans les cours d'eau. La part de surface relative occupée par des néophytes est évaluée en tant que malus pour l'objectif Part de macrophytes conforme au type à l'aide de l'attribut *dg.neo.rel*. Le cours d'eau ne doit abriter aucune néophyte pour atteindre un très bon état ; si la part des néophytes ne dépasse pas 20 %, l'état est encore considéré comme bon.
- **Faible part d'algues :** la part relative des algues *(dg.alga.rel)* est évaluée en tant que malus pour l'objectif Part de macrophytes conforme au type à l'aide de l'objectif Faible part d'algues. Une proportion accrue d'algues, au détriment de la proportion de macrophytes, peut indiquer des perturbations comme une stabilisation du fond du lit (s'observant souvent avec une proportion accrue de bryophytes), des concentrations élevées de nutriments[62] (si en même temps le recouvrement absolu des algues est important, voir aussi l'objectif Recouvrement faible des algues) ou toute autre atteinte empêchant l'apparition des macrophytes supérieurs.
- **Dominance des espèces conforme au type :** la diversité d'un tronçon se compose du nombre d'espèces (richesse spécifique, ou « richness » en anglais) et de la répartition spatiale (équitabilité, ou « evenness » en anglais) des espèces. L'équitabilité est un indicateur de la dominance de chacune des espèces présentes dans un tronçon de cours d'eau. Un tronçon peuplé de nombreuses espèces est moins bien noté si sa surface est accaparée par une seule espèce que si toutes les espèces sont présentes dans des proportions comparables. Les types de cours d'eau dominés par des hydrophytes présentent naturellement une dominance accrue de certaines espèces que les types dominés par des hélophytes. De ce fait, l'évaluation se déroule de manière spécifique au type de cours d'eau à l'aide de l'indice d'équitabilité de Heip[64] (*heip.index.bry*). Cet indice quantifie l'équitabilité, si possible indépendamment du nombre d'espèces présentes

[64] Magurran, A. E. 2013 : Measuring biological diversity. John Wiley & Sons.

dans un tronçon, sur une échelle allant de 0 à 1. Il tend vers 0 lorsque la dominance est maximale. Comme le recouvrement des bryophytes est estimé globalement et non par espèce, les bryophytes entrent dans le calcul de l'indice de Heip en tant que taxon composite. Il en va de même de la part des algues.

- **Recouvrement des macrophytes conforme au type :** le recouvrement absolu des macrophytes supérieurs (c'est-à-dire la somme des recouvrements des bryophytes, des hélophytes et des hydrophytes) est évalué à l'aide de l'objectif spécifique au type Recouvrement des macrophytes conforme au type *(dg.makro.abs)*. Un recouvrement très important (excès) est aussi mauvais du point de vue écologique qu'un recouvrement très faible (appauvrissement).
- **Recouvrement faible des algues :** un recouvrement important d'algues vertes filamenteuses (*Cladophora* sp., *Spirogyra* sp., p. ex.) ou en coussinets (*Vaucheria* sp., p. ex.) signale dans bien des cas une charge anthropique et est évalué négativement[62]. Le recouvrement absolu des algues est évalué en tant que malus pour l'objectif Recouvrement des macrophytes conforme au type à l'aide de l'attribut *dg.alga.abs*.

Comme il est proposé dans Kohler[61], la présence d'espèces rares ou spécifiques au type de cours d'eau est prise en compte dans l'évaluation. Les objectifs Haute valeur des espèces caractéristiques et Haute priorité des espèces complètent l'objectif Communauté conforme au type en tant que bonus.

- **Haute valeur des espèces caractéristiques :** les espèces caractéristiques reflètent la qualité biologique d'un tronçon de cours d'eau du point de vue de la conservation de la biodiversité. La présence d'espèces caractéristiques est évaluée à l'aide des objectifs Haute valeur des espèces caractéristiques de macrophytes (*n.leitarten.mak.1*, *n.leitarten.mak.2*, *n.leitarten.mak.3*) et Haute valeur des espèces caractéristiques de bryophytes (*n.leitarten.bry.1*, *n.leitarten.bry.2*, *n.leitarten.bry.3*), à chaque fois au moyen du nombre d'espèces par valeur guide (1 = espèce indicatrice d'une qualité moyenne à 3 = espèce indicatrice d'une très bonne qualité). Pour les types de cours d'eau abritant des macrophytes supérieurs, l'évaluation est fondée sur les espèces caractéristiques de macrophytes supérieurs. L'évaluation des espèces caractéristiques de bryophytes est prise en compte en tant que bonus avec une pondération de 0,5 (Figure 27). C'est le Centre national de données et d'informations sur la flore de Suisse qui s'est chargé de définir quelles espèces de macrophytes supérieurs pouvaient être considérées comme espèces caractéristiques (www.infoflora.ch).
- **Haute priorité des espèces :** les espèces cibles sont des espèces menacées, généralement rares à très rares. Il s'agit d'espèces prioritaires au niveau national[50], dont la présence est jugée importante pour la conservation de la biodiversité en Suisse. Si des espèces prioritaires sont observées dans un tronçon d'étude, il convient de les préserver par des mesures appropriées. La présence d'espèces prioritaires au niveau national est évaluée à l'aide des attributs *n.priority.1*, *n.priority.2*, *n.priority.3* et *n.priority.4*, qui représentent le nombre d'espèces de la classe de priorité considérée apparaissant dans le tronçon (1 = très haute priorité au niveau national du point de vue de la conservation de l'espèce à 4 = priorité moyenne au niveau national du point de vue de la conservation de l'espèce). C'est le Centre national de données et d'informations sur la flore de Suisse qui s'est chargé de définir le niveau de priorité des espèces (www.infoflora.ch).

Types à bryophytes : hiérarchie d'objectifs représentée à la Figure 28
On dispose de beaucoup moins de critères pour évaluer les types à bryophytes, car ceux-ci sont presque uniquement colonisés par des bryophytes et présentent pour la plupart un recouvrement absolu faible. Par conséquent, leur évaluation se fonde sur un jeu d'attributs réduit, dérivé de celui qui a été utilisé pour les macrophytes supérieurs. Les objectifs (soulignés) et les attributs (en italique) sont les suivants :

- **Nombreuses espèces de bryophytes :** les bryophytes sont la seule forme de croissance qu'on peut s'attendre à rencontrer de façon naturelle dans ces types de cours d'eau. Le nombre d'espèces de bryophytes présentes dans un tronçon est évalué à l'aide de l'attribut *n.moos*. Plus le nombre d'espèces observées est grand, plus l'état écologique est bon.
- **Nombreuses espèces :** le nombre total d'espèces de macrophytes est évalué en tant que bonus pour l'objectif Nombreuses espèces de bryophytes à l'aide de l'attribut *n.taxa*. L'évaluation se déroule de manière spécifique au type. Cela se justifie du point de vue écologique par le fait que, même dans les types à bryophytes, la présence de macrophytes supérieurs améliore l'état structurel du cours d'eau.
- **Part de bryophytes conforme au type adj. :** la part relative des bryophytes dans le tronçon est évaluée à l'aide de l'attribut *dg.moos.rel.adj*. Une proportion élevée de bryophytes est considérée comme relativement naturelle et est donc bien évaluée. À la différence des macrophytes supérieurs, les bryophytes peuvent être favorisées par des aménagements en dur (annexe A7). La proportion de bryophytes (Prop) sur le substrat artificiel entre donc dans l'évaluation à raison d'un tiers seulement. L'attribut pour l'évaluation se calcule ainsi : $dg.moos.rel.adj = Prop_{naturel} \times dg.moos.rel + 1/3 \times Prop_{artificiel} \times dg.moos.rel$. La proportion de bryophytes sur le substrat artificiel n'entre pas dans l'évaluation *per se*, mais est représentée dans la hiérarchie d'objectifs pour faciliter l'interprétation (*prop.kuenstlich*).
- **Pas de néophytes :** en règle générale, les types à bryophytes n'abritent aucune néophyte. Cet objectif est cependant repris avec l'attribut *dg.neo.rel* dans la fonction de valeur des types à bryophytes, par analogie avec les types à macrophytes supérieurs, parce que la présence sporadique d'hélophytes exotiques ne peut être exclue. L'évaluation et la justification se déroulent comme il a été décrit pour les macrophytes supérieurs.
- **Faible part d'algues :** pour les mêmes raisons que pour les types à macrophytes supérieurs, cet objectif est évalué à l'aide de l'attribut *dg.alga.rel*.
- **Recouvrement faible des algues :** comme dans les types à macrophytes supérieurs, un recouvrement important d'algues vertes filamenteuses (*Cladophora* sp., *Spirogyra* sp., p. ex.) ou en coussinets (*Vaucheria* sp., p. ex.) signale dans bien des cas une charge anthropique et est évalué négativement. La biomasse d'algues, généralement faible, n'étant pas évaluée dans les types à bryophytes, l'attribut *dg.alga.abs* se répercute directement en tant que malus sur les objectifs supérieurs Diversité conforme au type et Composition conforme au type.

Comme pour les types à macrophytes supérieurs, la présence d'espèces rares ou spécifiques au type de cours d'eau est prise en compte dans l'évaluation.

- **Haute valeur des espèces caractéristiques :** les valeurs guides ont été fixées en tenant davantage compte de la rareté des espèces et de l'inféodation spécifique de celles-ci aux cours d'eau que cela a été le cas pour les macrophytes supérieurs. Il n'est donc pas possible de comparer directement les valeurs

guides des bryophytes avec celles des macrophytes supérieurs. L'évaluation des espèces caractéristiques a donc été remaniée spécialement pour les bryophytes. Pour les types à bryophytes, l'évaluation de l'objectif Haute valeur des espèces caractéristiques est donc fondée sur le nombre d'espèces de bryophytes par valeur guide (attributs : *n.leitarten.bry.1, n.leitarten.bry.2, n.leitarten.bry.3*). L'évaluation des espèces caractéristiques de macrophytes supérieurs est prise en compte en tant que bonus avec une pondération de 0,5, avec les mêmes attributs que pour les macrophytes supérieurs (Figure 28). Des spécialistes en bryologie du bureau de recherche pour l'observation de l'environnement (FUB AG) se sont chargés de définir quelles espèces de bryophytes pouvaient être considérées comme espèces caractéristiques.

- **Haute priorité des espèces** : les espèces prioritaires ont été définies de la même manière que pour les macrophytes supérieurs et selon l'approche de l'OFEV[50] par des bryologues de la société FUB AG. L'évaluation se déroule de la même manière que pour les macrophytes supérieurs.

A9 Fonctions de valeur pour les objectifs du niveau inférieur (« nœuds terminaux »)

Les tableaux suivants indiquent pour chacun des types de cours d'eau les valeurs cibles permettant de déduire le degré de réalisation des objectifs. L'évaluation de la végétation commence au niveau hiérarchique le plus bas de chaque branche de la hiérarchie (« nœud terminal »). Les degrés de réalisation de ces objectifs sont évalués directement comme fonction des caractéristiques de la végétation du niveau inférieur (« attributs »). Les modalités faisant l'objet d'un changement de classe sont mentionées pour chaque attribut et chaque type de cours d'eau, la valeur continue sur l'échelle d'évaluation allant de 0 à 1 étant inscrite entre parenthèses. La valeur 1 est la meilleure note possible. L'évaluation se déroule de manière spécifique au type de cours d'eau, sur la base des attributs écrits en noir dans chaque tableau.

Évaluation globale de l'écologie des eaux

L'évaluation globale de l'écologie des eaux est fondée sur les valeurs cibles suivantes, fixées de manière spécifique au type :

Petits types à submergées (PS)

Objectif	Attribut	Max.	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Min.
Nombreuses espèces	n.taxa	10	8 (0.90)	7 (0.70)	5 (0.41)	3 (0.21)	2 (0.10), 0
Nombreuses espèces de bryophytes	n.moos						
Nombreuses espèces d'hélophytes	n.helo	7	5 (0.85)	4 (0.61)		3 (0.30)	2 (0.15), 0
Nombreuses espèces d'hydrophytes	n.aquat	4	3 (0.95)	2 (0.70)	1 (0.50)		0.1
Nombreuses formes de croissance	n.grfo	7	5 (0.85)	4 (0.65)	3 (0.41)	2 (0.21)	(0.10), 0
Nombreuses formes de cr. hélo.	n.grfo.helo	5	4 (0.90)	3 (0.61)		2 (0.30)	(0.10), 0
Nombreuses formes de cr. hydro.	n.grfo.aquat	4	3 (0.95)	2 (0.65)	1 (0.50)		0.1
Pas de néophytes	dg.neo.rel	0	0.01	20	30	40	50
Faible part d'algues	dg.alga.rel	0	10	20	30	50	75
Part d'hélophytes conforme au type	dg.helo.rel	50	40	30	20	10	0
Part d'hydrophytes conforme au type	dg.aquat.rel	40	30	20	10	5	0.01
Part de bryophytes conforme au type	dg.moos.rel						
Dominance des espèces conf. type	heip.index.br	0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0
Recouvr. des macrophytes conf. type	dg.makro.ab	50/80	40/85	30/90	20/93	10/96	0/100
Recouvr. faible des algues	dg.alga.abs	0	10	20	30	40	50

Moyens et grands types à submergées (MS-GS)

Objectif	Attribut	Max.	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Min.
Nombreuses espèces	n.taxa	13	11 (0.90)	8 (0.70)	6 (0.41)	4 (0.25)	3 (0.17), 0
Nombreuses espèces de bryophytes	n.moos						
Nombreuses espèces d'hélophytes	n.helo	7	5 (0.85)	4 (0.61)		3 (0.30)	2 (0.15), 0
Nombreuses espèces d'hydrophytes	n.aquat	6	4 (0.90)	3 (0.70)		2 (0.35)	(0.15), 0
Nombreuses formes de croissance	n.grfo	9	7 (0.85)	5 (0.65)	3 (0.41)	2 (0.25)	(0.10), 0
Nombreuses formes de cr. hélo.	n.grfo.helo	5	4 (0.90)	3 (0.61)		2 (0.30)	(0.10), 0
Nombreuses formes de cr. hydro.	n.grfo.aquat	5	4 (0.95)	3 (0.65)	2 (0.41)	1	(0.15), 0
Pas de néophytes	dg.neo.rel	0	0.01	20	30	40	50
Faible part d'algues	dg.alga.rel	0	10	20	30	50	75
Part d'hélophytes conforme au type	dg.helo.rel	50	40	30	20	10	0
Part d'hydrophytes conforme au type	dg.aquat.rel	50	40	30	20	10	0
Part de bryophytes conforme au type	dg.moos.rel						
Dominance des espèces conf. type	heip.index.br	0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0
Recouvr. des macrophytes conf. type	dg.makro.ab	50/75	40/80	30/85	20/90	10/95	0/100
Recouvr. faible des algues	dg.alga.abs	0	10	20	30	40	50

Très grands types à submergées (TGS)

Objectif	Attribut	Max.	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Min.
Nombreuses espèces	n.taxa	10	8 (0.85)	7 (0.70)	5 (0.45)	3 (0.25)	2 (0.15), 0
Nombreuses espèces de bryophytes	n.moos						
Nombreuses espèces d'hélophytes	n.helo	6	4 (0.90)	3 (0.65)		2 (0.35)	(0.15), 0
Nombreuses espèces d'hydrophytes	n.aquat	6	4 (0.90)	3 (0.70)		2 (0.35)	(0.15), 0
Nombreuses formes de croissance	n.grfo	7	5 (0.85)	3 (0.65)	2 (0.41)	1	(0.10), 0
Nombreuses formes de cr. hélo.	n.grfo.helo	4	3 (0.90)	2 (0.61)		1	(0.19), 0
Nombreuses formes de cr. hydro.	n.grfo.aquat	4	3 (0.95)	2 (0.65)		1	(0.19), 0
Pas de néophytes	dg.neo.rel	0	0.01	20	30	40	50
Faible part d'algues	dg.alga.rel	0	10	20	40	60	80
Part d'hélophytes conforme au type	dg.helo.rel	40	30	20	15	10	0
Part d'hydrophytes conforme au type	dg.aquat.rel	60	50	40	30	20	0
Part de bryophytes conforme au type	dg.moos.rel						
Dominance des espèces conf. type	heip.index.br	0.70	0.55	0.40	0.25	0.10	0
Recouvr. des macrophytes conf. type	dg.makro.ab	30/70	25/75	20/80	15/90	10/95	0/100
Recouvr. faible des algues	dg.alga.abs	0	10	20	30	40	50

Remarque : vu que les grands cours d'eau à submergées (GS) n'étaient représentés que par un nombre restreint de tronçons dans le jeu de données, aucune fonction de valeur propre n'a pu être définie pour ce type de cours d'eau. Il est donc évalué à l'aide des fonctions de valeur des types moyens à submergées.

Petits types à hélophytes (PH)

Objectif	Attribut	Max.	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Min.
Nombreuses espèces	n.taxa	8	6 (0.90)	5 (0.65)	4 (0.41)	3 (0.21)	? (0.10), 0
Nombreuses espèces de bryophytes	n.moos						
Nombreuses espèces d'hélophytes	n.helo	7	5 (0.90)	4 (0.65)		3 (0.30)	? (0.15), 0
Nombreuses espèces d'hydrophytes	n.aquat						
Nombreuses formes de croissance	n.grfo	5	4 (0.90)	3 (0.61)		2 (0.25)	(0.10), 0
Nombreuses formes de cr. hélo.	n.grfo.helo	5	4 (0.95)	3 (0.65)		2 (0.30)	(0.10), 0
Nombreuses formes de cr. hydro.	n.grfo.aquat						
Pas de néophytes	dg.neo.rel	0	0.01	20	30	40	50
Faible part d'algues	dg.alga.rel	0	10	20	30	50	75
Part d'hélophytes conforme au type	dg.helo.rel	80	70	60	50	40	0
Part d'hydrophytes conforme au type	dg.aquat.rel						
Part de bryophytes conforme au type	dg.moos.rel.adj						
Dominance des espèces conf. type	heip.index.br	0.85	0.7	0.55	0.4	0.2	0
Recouvr. des macrophytes conf. type	dg.makro.ab	50/80	40/85	30/90	20/93	10/96	0/100
Recouvr. faible des algues	dg.alga.abs	0	10	20	30	40	50

Moyens types à hélophytes (MH)

Objectif	Attribut	Max.	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Min.
Nombreuses espèces	n.taxa	9	8 (0.95)	6 (0.65)	5 (0.41)	3 (0.21)	? (0.10), 0
Nombreuses espèces de bryophytes	n.moos						
Nombreuses espèces d'hélophytes	n.helo	7	5 (0.90)	4 (0.65)		3 (0.30)	? (0.15), 0
Nombreuses espèces d'hydrophytes	n.aquat						
Nombreuses formes de croissance	n.grfo	6	5 (0.90)	4 (0.65)	3 (0.41)	2 (0.21)	(0.10), 0
Nombreuses formes de cr. hélo.	n.grfo.helo	5	4 (0.95)	3 (0.65)		2 (0.30)	(0.10), 0
Nombreuses formes de cr. hydro.	n.grfo.aquat						
Pas de néophytes	dg.neo.rel	0	0.01	20	30	40	50
Faible part d'algues	dg.alga.rel	0	10	20	40	60	80
Part d'hélophytes conforme au type	dg.helo.rel	70	60	50	40	30	0
Part d'hydrophytes conforme au type	dg.aquat.rel						
Part de bryophytes conforme au type	dg.moos.rel						
Dominance des espèces conf. type	heip.index.br	0.85	0.7	0.55	0.4	0.2	0
Recouvr. des macrophytes conf. type	dg.makro.ab	30/60	25/65	20/75	15/80	10/90	0/100
Recouvr. faible des algues	dg.alga.abs	0	10	20	30	40	50

Petits types à bryophytes (PB)

Objectif	Attribut	Max.	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Min.
Nombreuses espèces	n.taxa	7	6 (0.9)	5 (0.75)	3 (0.45)	2 (0.21)	(0.10), 0
Nombreuses espèces de bryophytes	n.moos	6	4 (0.85)	3 (0.65)		2 (0.25)	(0.10), 0
Nombreuses espèces d'hélophytes	n.helo						
Nombreuses espèces d'hydrophytes	n.aquat						
Nombreuses formes de croissance	n.grfo						
Nombreuses formes de cr. hélo.	n.grfo.helo						
Nombreuses formes de cr. hydro.	n.grfo.aquat						
Pas de néophytes	dg.neo.rel	0	0.01	20	30	40	50
Faible part d'algues	dg.alga.rel	0	20	40	60	80	100
Part d'hélophytes conforme au type	dg.helo.rel						
Part d'hydrophytes conforme au type	dg.aquat.rel						
Part de bryophytes conforme au type	dg.moos.rel	90	80	60	40	20	0
Dominance des espèces conf. type	heip.index.bry						
Recouvr. des macrophytes conf. type	dg.makro.abs						
Recouvr. faible des algues	dg.alga.abs	0	10	20	30	40	50

Moyens, grands et très grands types à bryophytes (MB-GB-TGB)

Objectif	Attribut	Max.	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Min.
Nombreuses espèces	n.taxa	8	7 (0.95)	6 (0.75)	4 (0.45)	2 (0.21)	(0.10), 0
Nombreuses espèces de bryophytes	n.moos	7	5 (0.85)	4 (0.70)		3 (0.35)	(0.15), 0
Nombreuses espèces d'hélophytes	n.helo						
Nombreuses espèces d'hydrophytes	n.aquat						
Nombreuses formes de croissance	n.grfo						
Nombreuses formes de cr. hélo.	n.grfo.helo						
Nombreuses formes de cr. hydro.	n.grfo.aquat						
Pas de néophytes	dg.neo.rel	0	0.01	20	30	40	50
Faible part d'algues	dg.alga.rel	0	20	40	60	80	100
Part d'hélophytes conforme au type	dg.helo.rel						
Part d'hydrophytes conforme au type	dg.aquat.rel						
Part de bryophytes conforme au type	dg.moos.rel	90	70	50	30	20	0
Dominance des espèces conf. type	heip.index.bry						
Recouvr. des macrophytes conf. type	dg.makro.abs						
Recouvr. faible des algues	dg.alga.abs	0	10	20	30	40	50

Remarque : comme aucune différence significative n'a été notée entre les moyens (MB), grands (GB) et très grands (TGB) cours d'eau à bryophytes, ces types sont évalués à l'aide des mêmes fonctions de valeur.

Petits types de transition à hélophytes et bryophytes (PH-PB)

Objectif	Attribut	Max.	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Min.
Nombreuses espèces	n.taxa	9	7 (0.90)	5 (0.65)	4 (0.41)	3 (0.21)	2 (0.10), 0
Nombreuses espèces de bryophytes	n.moos	5	4 (0.95)	3 (0.79)	2 (0.50)	1 (0.19), 0	
Nombreuses espèces d'hélophytes	n.helo	6	5 (0.95)	4 (0.75)	3 (0.41)	2 (0.19), 0	
Nombreuses espèces d'hydrophytes	n.aquat						
Nombreuses formes de croissance	n.grfo	6	5 (0.90)	4 (0.65)	3 (0.41)	2 (0.21)	1 (0.10), 0
Nombreuses formes de cr. hélo.	n.grfo.helo	5	4 (0.95)	3 (0.70)	2 (0.41)	1 (0.15), 0	
Nombreuses formes de cr. hydro.	n.grfo.aquat						
Pas de néophytes	dg.neo.rel	0	0.01	20	30	40	50
Faible part d'algues	dg.alga.rel	0	10	20	30	50	75
Part d'hélophytes conforme au type	dg.helo.rel	50	40	30	20	10	0
Part d'hydrophytes conforme au type	dg.aquat.rel						
Part de bryophytes conforme au type	dg.moos.rel	40	25	20	12.5	5	0
Dominance des espèces conf. type	heip.index.bry						
Recouvr. des macrophytes conf. type	dg.makro.ab	30/75	25/80	20/85	15/90	10/95	0/100
Recouvr. faible des algues	dg.alga.abs	0	10	20	30	40	50

Moyens types de transition à hélophytes et bryophytes (MH-MB)

Objectif	Attribut	Max.	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Min.
Nombreuses espèces	n.taxa	11	8 (0.95)	6 (0.65)	5(0.41)	3 (0.21)	2 (0.10), 0
Nombreuses espèces de bryophytes	n.moos	5	4 (0.95)	3 (0.75)	2 (0.45)	1 (0.19), 0	
Nombreuses espèces d'hélophytes	n.helo	6	5 (0.95)	4 (0.70)	3 (0.45)	2 (0.19), 0	
Nombreuses espèces d'hydrophytes	n.aquat						
Nombreuses formes de croissance	n.grfo	6	5 (0.90)	4 (0.65)	3 (0.41)	2 (0.21)	1 (0.10), 0
Nombreuses formes de cr. hélo.	n.grfo.helo	5	4 (0.95)	3 (0.70)	2 (0.41)	1 (0.15), 0	
Nombreuses formes de cr. hydro.	n.grfo.aquat						
Pas de néophytes	dg.neo.rel	0	0.01	20	30	40	50
Faible part d'algues	dg.alga.rel	0	10	20	40	60	80
Part d'hélophytes conforme au type	dg.helo.rel	45	35	25	15	10	0
Part d'hydrophytes conforme au type	dg.aquat.rel						
Part de bryophytes conforme au type	dg.moos.rel	50	40	30	20	10	0
Dominance des espèces conf. type	heip.index.bry						
Recouvr. des macrophytes conf. type	dg.makro.ab	25/70	20/75	15/80	10/85	5/90	0/100
Recouvr. faible des algues	dg.alga.abs	0	10	20	30	40	50

Évaluation globale du point de vue de la protection de la nature

L'évaluation globale du point de vue de la protection de la nature est fondée sur les valeurs cibles suivantes, qui sont les mêmes pour tous les types de cours d'eau :

Macr. supérieurs/ Bryophyte	Priorité 1	Priorité 2	Priorité 3	Priorité 4
Valeur de base	0.95	0.85	0.70	0.59
Augmentation par espèce su	0.10	0.10	0.10	0.08

Macrophytes supérieurs	Valeur guide	Valeur guide	Valeur guide 3
Valeur de base	0.53	0.17	0.00
Augmentation par espèce	0.06	0.04	0.01

Bryophytes	Valeur guide	Valeur guide	Valeur guide 3
Valeur de base	0.70	0.50	0.00
Augmentation par espèce	0.10	0.08	0.01

L'espèce la mieux notée donne à chaque fois une valeur de base, qui peut être augmentée par la présence d'espèces supplémentaires.
Exemple : dans un tronçon, on relève la présence d'une espèce ayant un niveau de priorité 3 et de deux espèces ayant un niveau de priorité 4. Le degré de réalisation de l'objectif Haute priorité des espèces se calcule ici comme 0,70 + 2 × 0,08 = 0,86. Pour cet objectif, il s'agit ainsi d'une très bonne évaluation.

A10 Fonctions d'agrégation pour l'évaluation des objectifs supérieurs

Cette annexe décrit les fonctions d'agrégation utilisées pour évaluer le degré de réalisation des objectifs (soulignés) aux niveaux supérieurs de la hiérarchie, c'est-à-dire en amont des nœuds terminaux (Figure 27 et Figure 28). Le degré de réalisation de ces objectifs est quantifié au moyen d'une agrégation des sous-objectifs correspondants. Ceux-ci sont agrégés au moyen des différentes fonctions d'agrégation décrites en détail ci-dessous. Ces fonctions d'agrégation sont basées sur l'agrégation additive, qui produit une moyenne pondérée à partir des degrés de réalisation des sous-objectifs. Comme ce mode d'agrégation présente certaines particularités qui ne sont pas toujours souhaitables, il est complété par d'autres techniques. Dans ce qui suit, g_i désigne le facteur de pondération des différentes variables (vi).

Agrégation additive

L'agrégation additive est la méthode d'agrégation la plus facile à comprendre. Le degré de réalisation de l'objectif supérieur correspond à la moyenne pondérée des évaluations des sous-objectifs affectés aux nœuds d'agrégation et se calcule à l'aide de la formule suivante :

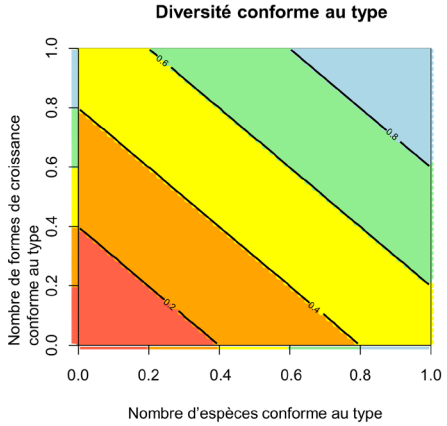
$$v(\boldsymbol{v1}\ \ ,\boldsymbol{v2}\ \ ) = \frac{1}{\boldsymbol{g_1} + \boldsymbol{g_2}}(\boldsymbol{g_1 v_1} + \boldsymbol{g_2 v_2})$$

Pour *n* sous-objectifs, cette formule est étendue comme suit :

$$v(\boldsymbol{v_1}, \ldots, \boldsymbol{v_n}) = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{g_i}} \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{g_i v_i}$$

L'agrégation additive a pour particularité que la mauvaise valeur obtenue par un des sous-objectifs peut être compensée par les bonnes valeurs d'autres sous-objectifs. Si nécessaire, les sous-objectifs peuvent entrer dans le calcul de la moyenne avec des pondérations différentes, par exemple lorsqu'on estime que l'un d'eux est plus important que les autres. On ne souhaite pas toujours que des objectifs puissent se compenser : dans certains cas, un objectif supérieur doit uniquement obtenir une bonne évaluation si les deux sous-objectifs sont bien évalués. Il existe donc différentes variantes de ce mode d'agrégation, qui sont expliquées ci-après.

Exemple d'agrégation additive : l'agrégation des objectifs Nombre d'espèces conforme au type et Nombre de formes de croissance conforme au type en vue de l'évaluation de l'objectif Diversité conforme au type (Figure 27). Le « diagramme en courbes de niveau » correspondant se présente comme suit :



Dans ce cas, le choix s'est porté sur une agrégation additive parce que les deux sous-objectifs sont redondants : une grande diversité d'espèces tend à entraîner une grande diversité de formes de croissance. Il est donc souhaitable que ces deux sous-objectifs puissent se compenser et contribuer de manière équivalente à l'évaluation de l'objectif supérieur Diversité conforme au type.

Agrégation par le principe du minimum ou du maximum

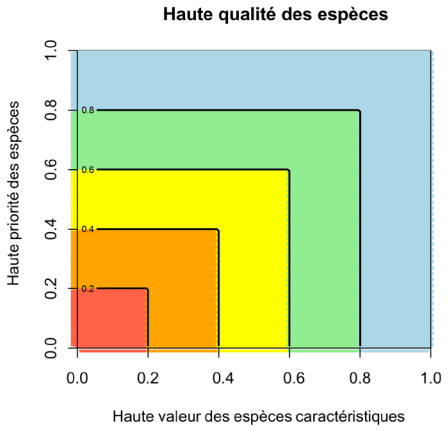
Si on veut absolument empêcher que des objectifs se compensent, il est possible de recourir à une méthode d'agrégation par le principe du minimum ou du maximum.
Pour l'agrégation de *n* sous-objectifs avec les évaluations v_1 à v_n, cela donne une des formules suivantes :

$$v(\boldsymbol{v_1}, \dots, \boldsymbol{v_n}) = \min(\boldsymbol{v_1}, \dots, \boldsymbol{v_n}) \quad , \quad v(\boldsymbol{v_1}, \dots, \boldsymbol{v_n}) = \max(\boldsymbol{v_1}, \dots, \boldsymbol{v_n})$$

L'agrégation par le principe du minimum a pour particularité que l'évaluation de l'objectif supérieur ne peut s'améliorer que si le sous-objectif, le moins bien évalué, s'améliore.

Par analogie, avec une agrégation par le principe du maximum, l'évaluation de l'objectif supérieur ne peut se déprécier que si le sous-objectif, le mieux évalué, se déprécie.

Exemple d'agrégation par le principe du maximum : l'agrégation des sous-objectifs Haute valeur des espèces caractéristiques et Haute priorité des espèces en vue de l'évaluation de l'objectif Haute qualité des espèces (Figure 27). Ici, c'est à chaque fois la meilleure des deux valeurs qui doit déterminer l'évaluation globale en termes de protection de la nature. Le « diagramme en courbes de niveau » correspondant se présente comme suit :



Agrégation additive par le principe du minimum

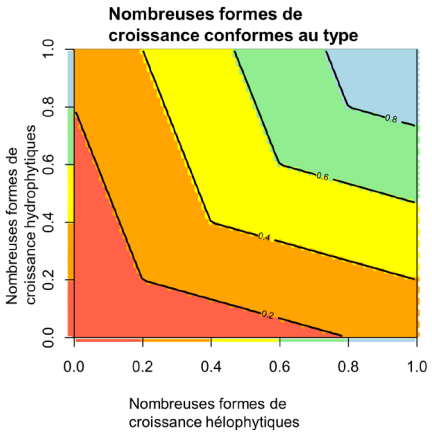
Aussi bien l'agrégation additive que l'agrégation par le principe du minimum sont souvent utilisées dans les méthodes d'évaluation écologique. Cependant, dans de nombreux cas, on ne souhaite ni que les évaluations des sous-objectifs puissent totalement se compenser (agrégation additive), ni qu'elles ne puissent pas du tout le faire (agrégation par le principe du minimum), mais que la mauvaise évaluation d'un sous-objectif puisse être compensée de manière restreinte par la meilleure évaluation d'un autre. Il est possible pour cela de recourir à l'agrégation additive par le principe du minimum, qui représente un compromis (= moyenne) entre l'agrégation additive et l'agrégation par le principe du minimum.
Pour l'agrégation de deux sous-objectifs avec les évaluations v_1 et v_2, cela donne avec les pondérations w_1 et w_2 pour les méthodes et g_1 et g_2 pour les sous-objectifs la formule suivante :

$$v(v_1, v_2) = \frac{1}{w_1 + w_2}\left(w_1 \min(v_1, v_2) + \frac{w_2}{g_1 + g_2}(g_1 v_1 + g_2 v_2)\right)$$

Pour *n* sous-objectifs, cette formule est étendue comme suit :

$$v(v_1, \ldots, v_n) = \frac{1}{w_1 + w_2}\left(w_1 \min(v_1, \ldots, vn\ ) + \frac{w_2}{\sum_{i=1}^{n} g_i} \sum_{i=1}^{n} g_i v_i\right)$$

Exemple d'agrégation additive par le principe du minimum : l'agrégation des objectifs d'évaluation de la diversité Nombreuses formes de croissance hélophytiques et Nombreuses formes de croissance hydrophytiques en vue de l'évaluation de l'objectif supérieur Nombreuses formes de croissance conformes au type (Figure 27). Le « diagramme en courbes de niveau » correspondant se présente comme suit :



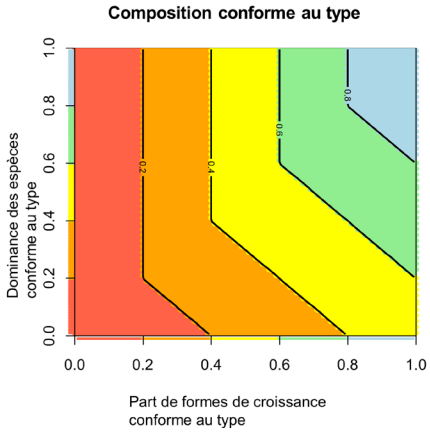
Dans cet exemple, les évaluations de la diversité des formes de croissance hélophytiques et hydrophytiques sont complémentaires : une bonne évaluation de la diversité des hélophytes ne doit pas pouvoir compenser entièrement une mauvaise évaluation de la diversité des hydrophytes. Il faut plutôt que l'évaluation globale de la diversité des formes de croissance conforme au type ne soit bonne que si les deux sous-objectifs sont bien notés, vu que d'un point de vue écologique, la zone riveraine et la zone aquatique d'un cours d'eau représentent deux compartiments importants séparés.
Si nécessaire, ce mode d'agrégation permet aussi de pondérer différemment les sous-objectifs.

Agrégation par le principe du bonus ou du malus

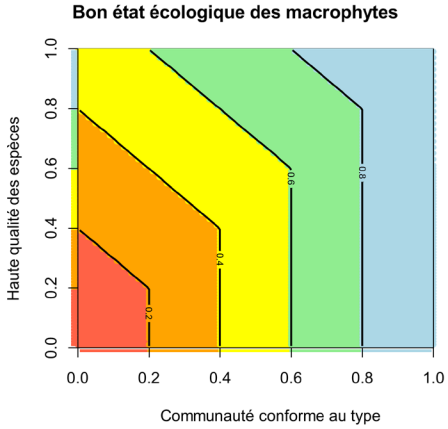
Dans certains cas, on souhaite utiliser un sous-objectif uniquement pour améliorer ou déprécier l'évaluation d'autres objectifs. À cet effet, la valeur des objectifs supérieurs est comparée à l'évaluation des objectifs considérés comme bonus ou malus. Pour l'agrégation finale, seuls les objectifs considérés comme bonus ou malus ayant une meilleure, respectivement une moins bonne, évaluation que la valeur agrégée des objectifs supérieurs sont pris en compte. En principe, les agrégations par le principe du bonus ou du malus peuvent être combinées avec n'importe quel autre mode d'agrégation.

Exemple d'agrégation additive par le principe du malus : l'agrégation des objectifs Part de formes de croissance conforme au type et Dominance des espèces conforme au type en vue de l'évaluation de l'objectif supérieur Composition conforme au type (Figure 27). Avec ce type d'agrégation, l'évaluation de l'objectif Dominance des espèces conforme au type n'est prise en compte que si elle est moins bonne que l'évaluation de l'objectif Part de formes de croissance conforme au type et déprécie ainsi l'objectif supérieur Composition conforme au

type. Si ce n'est pas le cas, l'évaluation de l'objectif Part de formes de croissance conforme au type est reprise directement. Le « diagramme en courbes de niveau » correspondant se présente comme suit :



Exemple d'agrégation additive par le principe du bonus : l'agrégation des sous-objectifs Communauté conforme au type et Haute qualité des espèces en vue de l'évaluation de l'objectif supérieur Bon état écologique des macrophytes (Figure 27). Avec ce type d'agrégation, l'évaluation de l'objectif Haute qualité des espèces n'est prise en compte que si elle est meilleure que l'évaluation de l'objectif Communauté conforme au type. Si ce n'est pas le cas, l'évaluation de l'objectif Communauté conforme au type est reprise directement. Cette procédure est justifiée du point de vue de l'écologie des eaux, qui est prioritaire dans le cadre du module consacré aux macrophytes. Cependant, si le tronçon d'étude abrite des espèces très précieuses du point de vue de la protection de la nature, celles-ci doivent pouvoir améliorer l'évaluation de l'écologie des eaux. Par contre, l'absence d'espèces rares ne doit pas empirer l'évaluation écologique des eaux, ce que rend possible le mode d'agrégation choisi. Le « diagramme en courbes de niveau » correspondant se présente comme suit :



A11 Produit final : fiche sur le site

L'annexe A11 est générée automatiquement par l'outil informatique. Elle sera traduite automatiquement dès que la version française de l'outil sera disponible.

Modul Makrophyten – Charakterisierung Standort

Stellen-Code:	200	**Kanton:**	ZH	**Koordinaten:**	2688172 / 1251018
Gewaesser:	Chriesbach	**Stelle:**	Chriesbach vor Glattalbahn		
Datum:	16.08.2016	**BearbeiterIn:**	BKa/AWEL	**Abschnittslaenge:**	200 m

Standortparameter

Abfluss:	**567 l/s**
Quelle Abfluss:	G_ZH
Gefaelle:	**0.43 %**
Quelle Gefaelle:	G_ZH_Ref
Mittlere Tiefe:	**0.5 m**
Steinanteil	**26.3 %**
Beschattung:	**15 %**
Hoehe ue.M.:	428 m
Sohlenbreite:	8 m
Benetzte Breite:	7 m
Flussordnung:	3
Regimetyp:	pluvial inferieur
Biogeo. Region:	Mittelland
Geologie:	karbonatisch

Typ-Schema:	MS (Orig.)	MS (Plaus.)
Typ-Bewert.:	MS (Orig.)	MS (Plaus.)

Bilddatei: ZH_200_20160816_MP_UP_1

Ergaenzende Standortdaten

Abfluss hydrometrisch		**Wassertiefe**	
Mittelwert		Mittel Tag	0.5 m
Tageswert		Max. Tag	0.8 m
Substratstabilitaet:	Beweglich	**Stroemung:**	0.3 m/s

Oekomorphologie

Oekom. zustand:	**I natuerlich/naturnah**
Breitenvariabilitaet:	ausgepraegt
Tiefenvariabilitaet:	ausgepraegt

Aeusserer Aspekt

Kolmation:	Keine
Truebung	Keine/Vereinzelt

Verbauungen	**Grad**	**Art**
Sohle	Punktuell (<10%)	Schuettung/Raubett
Boeschung, links	Punktuell (<10%)	Natursteine locker
Boeschung, rechts	Punktuell (<10%)	Natursteine locker

Uferbereich	**Links**	**Rechts**
Breite	10 m	10 m
Beschaffenheit	Ext.Wiese, unbestockt	Ext.Wiese, unbestockt
Umland	Siedlungsgebiet	Siedlungsgebiet

Flaechenanteile Landnutzungen im Einzugsgebiet

Landwirtschaft	31 %
Siedlung	28 %
Wald	26 %

Modul Makrophyten – Charakterisierung Vegetation

Stellen-Code:	200	**Kanton:**	ZH	**Koordinaten:**	2688172 / 1251018
Gewaesser:	Chriesbach	**Stelle:**	Chriesbach vor Glattalbahn		
Datum:	16.08.2016	**BearbeiterIn:**	BKa/AWEL	**Abschnittslaenge:**	200 m

Vegetationsparameter

	Anzahl	Deckung [%]	Anteil [%]
Makrophyten	20	73.2	98.7
Aquatische	3	38.5	51.9
Helophyten	15	33.8	45.5
Moose	2	1	1.3 (Adj.: 1.1)
Anteil kuenstlich			30
Wuchsformen	9		
Aquatische	3		
Helophyten	5		
Faedige Algen		1	1.3
Neophyten	1		2.7
Leitarten			
Makrophyten	16 (LW1: 7 ; LW2: 8 ; LW3: 1)		
Moose	2 (LW1: 1 ; LW2: 1 ; LW3: 0)		
Prioritaere Arten	1 (PR1: 0 ; PR2: 1 ; PR3: 0 ; PR4: 0)		

Artenliste

	Wuchsform	Deckung [%]	Anteil [%]	Info	LW	ZW	RL
Aquatische							
Callitriche obtusangula Le Gall	Pep	1.5	2	Z		2	CR
Elodea canadensis Michx.	Elo	2	2.7	N			
Ranunculus fluitans Lam.	Myr	35	47.1	L	2		
Helophyten							
Agrostis stolonifera L.	Pgra	1	1.3	L	1		
Alisma plantago-aquatica L.	Sag	0.2	0.3	L	2		
Carex acutiformis Ehrh.	Mcyp	0.2	0.3	L	2		
Mentha aquatica L.	Herb	1	1.3	L	1		
Nasturtium officinale R. Br.	Herb	10	13.5	L	2		
Phalaris arundinacea L.	Mmono	7.8	10.4	L	1		
Schoenoplectus lacustris (L.) Palla	Mcyp	1	1.3	L	2		
Scirpus sylvaticus L.	Mcyp	2	2.7	L	1		
Typha angustifolia L.	Mmono	2	2.7	L	3		
Typha latifolia L.	Mmono	2	2.7	L	1		
Veronica beccabunga L.	Herb	2.2	3	L	1		
Carex 1	Mcyp	0.2	0.3	L	1		
Sparganium 1	Mmono	1	1.3	L	2		
Berula erecta (Huds.) Coville	Herb	1	1.3	L	2		
Sparganium erectum L. s.l.	Mmono	2	2.7	L	2		
Moose		1	1.3				
Leptodictyum riparium (Hedw.) Warnst.	Bry			L	1		
Fontinalis antipyretica Hedw.	Bry			L	2		

Modul Makrophyten – Typisierung

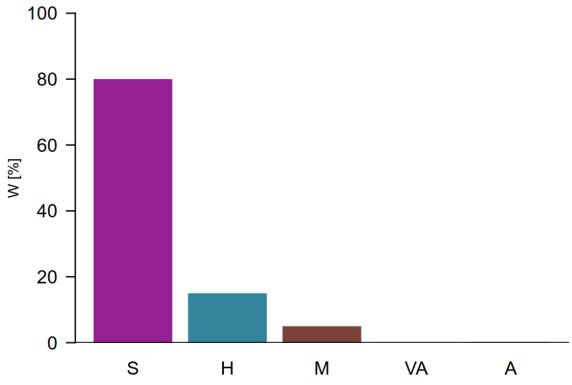
Stellen-Code:	200	**Kanton:**	ZH	**Koordinaten:**	2688172 / 1251018
Gewaesser:	Chriesbach	**Stelle:**	Chriesbach vor Glattalbahn		
Datum:	16.08.2016	**BearbeiterIn:**	BKa/AWEL	**Abschnittslaenge:**	200 m

Wahrscheinlichkeiten

Vegetations-Flusstypen

Flusstyp	Schema	Modifiziert
KS	0 %	0 %
MS	60 %	75 %
GS	0 %	0 %
SGS	0 %	0 %
KS-KH	0 %	↗
MS-MH	30 %	↘
KH	0 %	0 %
MH	0 %	15 %
KH-KM	0 %	0 %
MH-MM	10 %	10 %
KM	0 %	0 %
MM	0 %	0 %
GM	0 %	0 %
SGM	0 %	0 %
VA	0 %	0 %

Wuchsformengruppen



Zusammenfassung Wahrscheinlichkeiten Vegetations-Flusstypen

KS 0 %	KS-KH-1 KS-KH-2 0 %	KH 0 %	KH-KM 0 %	KM 0 %	VA 0 %	VA 0 %
MS 60 %	MS-MH-1 MS-MH-2 30 %	MH 0 %	MH-MM 10 %	MM 0 %	VA 0 %	VA 0 %
GS 0 %	VA 0 %	VA 0 %	VA 0 %	GM 0 %	VA 0 %	VA 0 %
SGS 0 %	VA 0 %	VA 0 %	VA 0 %	SGM 0 %	VA 0 %	VA 0 %
A 0 %	A 0 %	A 0 %	A 0 %	A 0 %	A 0 %	A 0 %

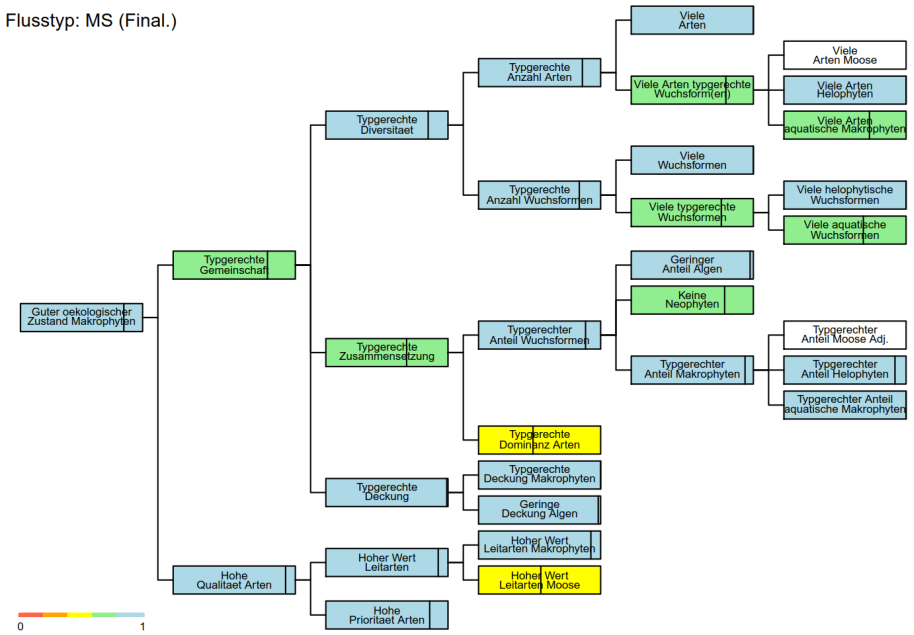
Modul Makrophyten – Bewertung

Stellen-Code:	200	**Kanton:**	ZH	**Koordinaten:**	2688172 / 1251018
Gewaesser:	Chriesbach	**Stelle:**	Chriesbach vor Glattalbahn		
Datum:	16.08.2016	**BearbeiterIn:**	BKa/AWEL	**Abschnittslaenge:**	200 m

Bewertung der Vegetation

Guter oekol. Zustand Makrophyten	0.85	**Typgerechte Gemeinschaft**	0.77
Typgerechte Diversitaet	0.84	**Typgerechte Zusammensetzung**	0.66
Viele Arten	1	Geringer Anteil Algen	0.97
Viele Arten Aquatische	0.7	Keine Neophyten	0.76
Viele Arten Helophyten	1	Typger. Anteil aquat. Makrophyten	1
Viele Arten Moose		Typger. Anteil Helophyten	0.91
Viele Wuchsformen	1	Typger. Anteil Moose adj.	
Viele aquatische Wuchsformen	0.65	Typger. Dominanz	0.45
Viele helophytische Wuchsformen	1		
Typgerechte Deckung	0.99	**Hohe Qualitaet Arten**	0.92
Typger. Deckung Makrophyten	1	Hoher Wert Leitarten Makrophyten	0.92
Geringe Deckung Algen	0.98	Hoher Wert Leitarten Moose	0.51
		Hohe Prioritaet Arten	0.85

Zielhierachie der Bewertung



Annexes numériques

Les annexes numériques suivantes sont disponibles sous : http://www.modul-stufen-konzept.ch/fg/module/wasserpflanzen/index_FR

DA1 Liste des taxons

DA2 Feuilles de saisie pour le rassemblement des données sur le site et les espèces

DA3 Outil informatique pour la typification, l'évaluation et le contrôle de vraisemblance, y compris guide d'utilisation et documentation sur les produits finaux

DA4 Explication sur les écarts types et les marges d'erreur des paramètres stationnels et limites de classes utilisées pour la typification

DA5 Caractérisation des types de cours d'eau définis par la végétation à l'aide de tronçons de référence et de tronçons perturbés

DA6 Comparaison des paramètres stationnels, des caractéristiques de la végétation et des paramètres de nuisance d'origine anthropique entre les tronçons de référence et les tronçons les plus fortement perturbés par les activités humaines