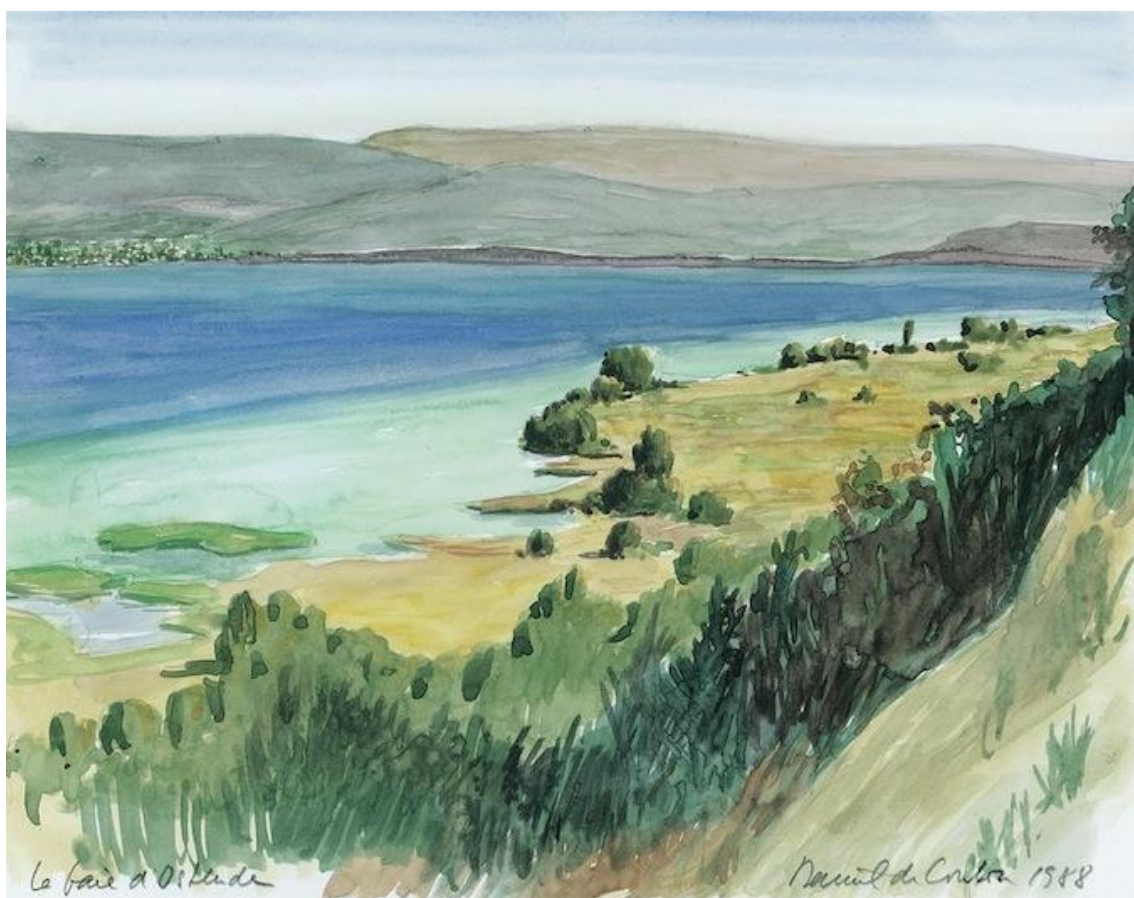


Revitalisation des rives lacustres

PLANIFICATION STRATEGIQUE

Rapport final



Décembre 2022

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	2
1.1	CONTEXTE.....	2
1.2	OBJECTIFS.....	2
2	METHODOLOGIE ET CHOIX.....	3
2.1	PHASE I – ANALYSE SIG.....	4
2.1.1	Lacs considérés.....	4
2.1.2	Ecomorphologie.....	4
2.1.3	Importance écologique et paysagère (IEP).....	5
2.1.4	Bénéfice basé sur le SIG (BSIG).....	7
2.1.5	Agrégation des tronçons.....	8
2.1.6	Autres.....	8
2.2	PHASE II – VALIDATION.....	9
2.2.1	Contrôle de vraisemblance.....	9
2.2.2	Détermination des délais.....	11
2.2.3	Détermination des mesures possibles.....	14
2.2.4	Consultation finale.....	15
3	RESULTATS SIG – PHASE I.....	16
3.1	ETAT ECOMORPHOLOGIQUE ACTUEL.....	16
3.2	IMPORTANCE ECOLOGIQUE ET PAYSAGERE.....	17
3.3	POTENTIEL DE VALORISATION.....	17
3.4	BENEFICE BASE SUR LE SIG.....	18
3.5	CONCLUSION INTERMEDIAIRE.....	20
4	RESULTATS DE LA VALIDATION – PHASE II.....	22
4.1	BENEFICE POUR LA NATURE ET LE PAYSAGE AU REGARD DES COUTS.....	22
4.2	PRIORITES ET TYPES DE MESURES.....	22
4.2.1	Priorités.....	22
4.2.2	Types de mesures.....	23
5	CONCLUSION.....	24
5.1	CONTEXTE.....	24
5.2	METHODOLOGIE.....	24
5.3	RESULTATS.....	25
	RÉFÉRENCES.....	26

1 Introduction

1.1 Contexte

Planification stratégique

Selon la nouvelle loi sur les eaux (LEaux) entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2011, chaque canton suisse est tenu de soumettre à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) sa planification stratégique de revitalisation de ses rives lacustres. Le délai pour la soumission est fixé à fin 2021. Après validation par l'OFEV, celle-ci doit être adoptée dès fin 2022.

La Direction générale de l'environnement, division ressources en eau et économie hydraulique (DGE-Eau) a ainsi mandaté les bureaux Hydrique, BEB et Perenzia en groupement afin de l'appuyer pour la réalisation de cette planification stratégique.

1.2 Objectifs

Etapes considérées

Conformément au module d'aide à l'exécution proposé par l'OFEV (*OFEV, 2018*), il s'agit de :

1. déterminer les tronçons à revitaliser en priorité ;
2. identifier les mesures possibles sur ces tronçons ;
3. définir une priorisation temporelle.

Aspects pris en compte

Cette planification considère l'ensemble des rives lacustres du canton de Vaud et doit prendre en compte, pour chaque tronçon de rive :

- l'état écomorphologique actuel ;
- l'importance écologique et paysagère ;
- la faisabilité d'une revitalisation en termes économiques ;
- les synergies et conflits relatives aux mesures envisagées.

2 Méthodologie et choix

Méthode OFEV

La procédure prescrite par l'aide à l'exécution de l'OFEV est strictement reprise et appliquée. Celle-ci s'articule en trois phases principales (Fig. 1).

1. Dans une première phase (analyse SIG), il s'agit d'identifier à partir de l'état écomorphologique actuel et de l'importance écologique et paysagère, le bénéfice de revitalisation de chaque tronçon.
2. Dans une deuxième phase (contrôle de vraisemblance), l'intégration de l'ensemble des acteurs de terrain et de l'aménagement du territoire permet d'aboutir à une planification réaliste.
3. Dans la dernière phase (priorisation et mesures), le calendrier et les mesures possibles pour chaque tronçon sont établis.

Les précisions méthodologiques et choix effectués sont détaillés dans ce chapitre.

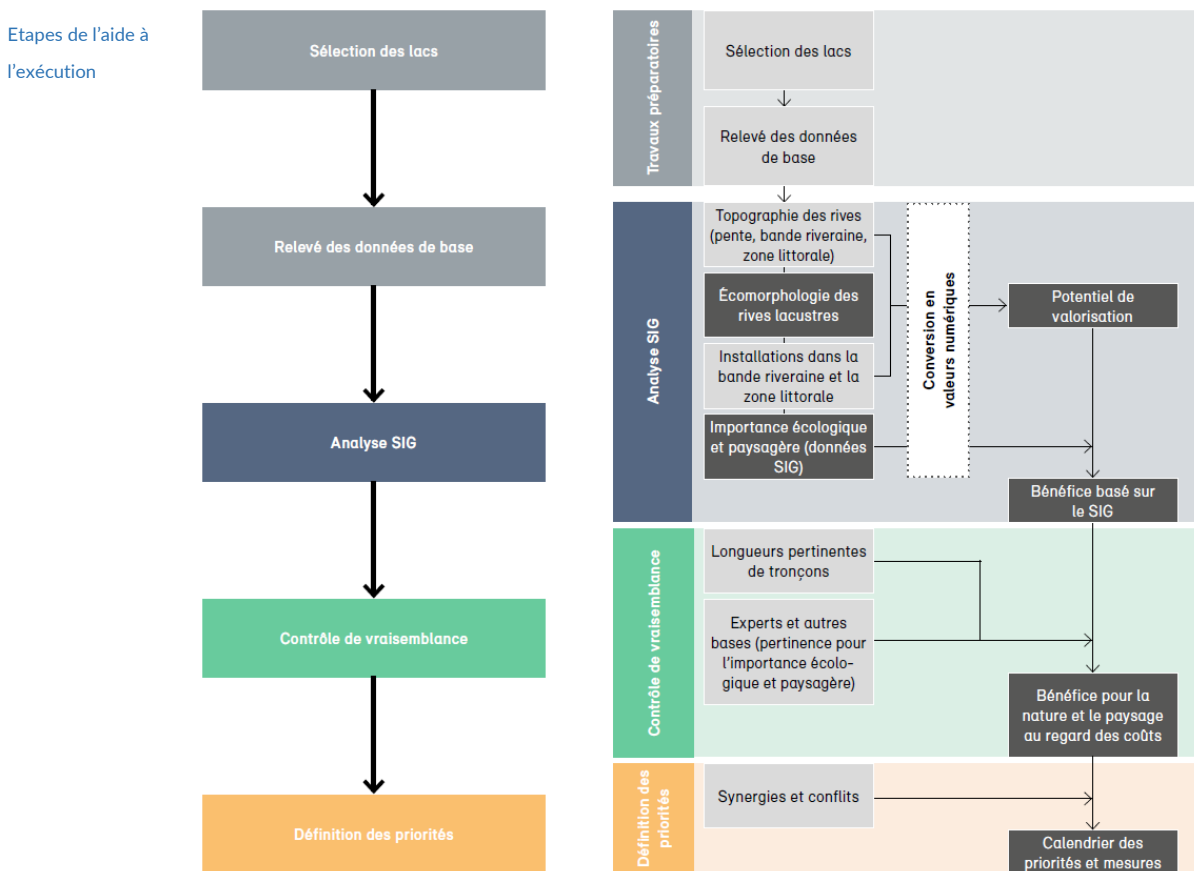


Fig. 1 : Etapes de la méthode OFEV (OFEV, 2018)

2.1 Phase I – Analyse SIG

2.1.1 Lacs considérés

Lacs inclus

Une vue d'ensemble des lacs vaudois est proposée au Tab. 1. Ceux dont la surface est inférieure à 5 (ha) ne sont pas considérés, conformément à la méthode OFEV. Les lacs traités sont présélectionnés dans le cadre de la détermination de l'écomorphologie des rives, en prévision de la présente planification.

Lacs non-inclus

Le lac du Vernex n'est pas retenu, car son niveau est soumis à d'importantes fluctuations et en raison d'un dynamique sédimentaire défavorables à la valorisation de ses rives.

Le lac du Day présente lui aussi une fluctuation trop importante de son niveau.

Le lac de gravière de Pré Neyroud est exclu en raison de l'exploitation de gravier en cours et de son remblaiement planifié dans le cadre de la remise en état exigée dans le permis d'exploiter.

Au total, 194.3 (km) de rives sont inclus dans la planification.

Longueur totale

Tab. 1 : Principaux lacs du canton de Vaud.

Nom	Région	Limitrophe	Surface (ha)	Périmètre (km)	Périmètre (VD) (km)	Altitude (m s.m.)	Profondeur max. (m)	Origine	Régulation	Inclus dans la planification
Le Léman	Plateau	France, VS, GE	58063.8	199.4	95.0	372	309	Naturel	Régulation statique	Oui
Lac de Neuchâtel	Plateau	BE, FR, NE	21513.0	121.4	41.9	429	153	Naturel	Modification historique	Oui
Lac de Morat	Plateau	FR	2284.7	23.8	8.9	729	45	Naturel	Modification historique	Oui
Lac de Joux	Jura	-	880.6	21.5	21.5	1 004	33	Naturel	Régulation dynamique	Oui
Lac de l'Hongrin	Préalpes	-	158.5	13.1	13.1	1 255	105	Artificiel	Régulation dynamique	Oui
Lac Brenet	Jura	-	66.6	4.2	4.2	1 002	18	Naturel	Régulation dynamique	Oui
Lac de Bret	Plateau	-	50.2	4.2	4.2	673	20	Naturel	Non-régulé	Oui
Etang de Versvey	Préalpes	-	12.3	1.6	1.6	377	-	Artificiel	Non-régulé	Oui
Etang du Duzillet	Préalpes	-	11.3	1.7	1.7	385	19	Artificiel	Non-régulé	Oui
Lac Lioson	Préalpes	-	6.6	1.1	1.1	1 848	28	Naturel	Non-régulé	Oui
Lac des Chavonnes	Préalpes	-	5.5	0.9	0.9	1 690	28	Naturel	Non-régulé	Oui
Lac du Vernex	Préalpes	-	27.9	3.0	3.0	859	14	Artificiel	Régulation dynamique	Non
Gravière Pré Neyroud	Préalpes	-	8.1	1.3	1.3	383	-	Artificiel	Non-régulé	Non
Lac du Day	Jura	-	7.9	3.4	3.4	741	32	Artificiel	Régulation dynamique	Non

2.1.2 Ecomorphologie

Etude précédente

Mandaté par le canton, le bureau d'étude Prona a établi en 2019 le relevé des données de base utiles à la détermination de l'état écomorphologique actuel des rives lacustres (*Prona, 2019*). La méthode utilisée est celle définie par l'OFEV (*OFEV, 2016*). Ces données sont utilisées comme point de départ pour la présente étude.

La caractérisation de l'écomorphologie est réalisée sur les lacs retenus dans le cadre de la présente planification. Le linéaire de rive apprécié s'étend sur un linéaire de 194.3 km (Tab. 1).

**Coordination
intercantonale**

Ces données ont été transmises aux cantons de Fribourg (mai 2021) et de Genève (été 2022) à des fins de coordination. En outre, une coordination préalable a été assurée avec le canton de Neuchâtel, dans le but d'assurer la continuité entre les lignes de rive utilisées.

2.1.3 Importance écologique et paysagère (IEP)

Principes

La méthode de détermination du facteur IEP n'est pas strictement définie dans l'aide à l'exécution de l'OFEV. Les principes énoncés sont néanmoins respectés. En particulier, seules les données représentatives de l'ensemble des étendues d'eau du canton et des inventaires généraux sont considérées.

Sources

A l'échelle du canton de Vaud, différentes études de synthèse ont été menées ces dernières années dans l'objectif de mettre en évidence des portions de territoire présentant des valeurs ou des potentiels écologiques et paysagers particuliers (*BEB SA 2012 ; BEB SA 2014 ; BEB, Hydrique & Perenzia 2017 ; BEB SA 2019*). Toutes ces études combinent des données liées à des inventaires de protection (d'importance et de statut divers), à la notion de mise en connexion de biotopes, à la présence de concentration d'espèces indicatrices et aux synergies avec d'autres planifications directrices. Dans le cadre de l'étude de 2019, l'accent est mis sur les éléments territoriaux associés à un enjeu écologique ou paysager particulier pouvant potentiellement justifier la nécessité d'élargir l'espace minimal réservé aux eaux (ERE) et aux étendues d'eaux (EREE). Cette analyse ciblée sur les cours d'eau et les étendues d'eau apparaît être une bonne base à valoriser pour déterminer le facteur IEP de la méthode de planification de la revitalisation des étendues d'eau.

Données de base

Dans le cadre de la présente analyse, les données de l'étude associées aux bases de la délimitation de l'espace réservé aux eaux (BEB SA 2019) sont mises à jour en intégrant les dernières données disponibles concernant les inventaires de protection d'importance cantonale, en prenant en compte toutes les embouchures du réseau hydrographique soumis à ERE/EREE et en adaptant la pondération des différentes données. Afin de garantir une intersection des zones avec les lignes de rives et assigner une géométrie significative aux données ponctuelles ou linéaires, une zone tampon de 50 m est appliquée à ces entités.

Pondération

Un test de sensibilité est réalisé pour évaluer l'importance d'un changement de la méthode de définition de l'IEP (pondération uniforme ou plus détaillée en particulier) sur le résultat du bénéfice basé sur le SIG. Il apparaît que les différences obtenues ne sont que peu marquées du fait que la majorité des données disponibles à large échelle et liées à des valeurs particulières sont concentrées principalement sur des objets faisant partie d'inventaires ou protégés. Il n'existe également que très peu de données sur des secteurs à plus fort potentiel écologique disponibles de façon uniforme à l'échelle du canton.

Cela conduit à privilégier une approche assez simple dans la première phase d'analyse SIG. Dans la seconde phase, il s'agit de valoriser des données ou des connaissances spécifiques à certains lacs ou portions de rives lors du contrôle de vraisemblance (Phase II). Le Tab. 2 présente les données prises en compte, des détails concernant les éléments sélectionnés et la pondération

associée. Afin de garder une certaine simplicité, les valeurs de 0.9 (« IEP Faible ») et 1.2 (« IEP Elevée ») ne sont pas utilisées.

Tab. 2 : Données prises en compte et pondérations associées pour la définition de l'importance écologique et paysagère (IEP). Catégorie ERE/EREE (selon BEB SA 2019) : A1 = secteurs à enjeux importants où une augmentation de l'ERE au-delà de la courbe biodiversité pourrait être justifiée ; A2 = secteurs à enjeux importants où la courbe biodiversité doit être prise en compte comme base ; B1 = secteurs à enjeux particuliers où une augmentation de l'ERE au-delà de la courbe minimale pourrait être justifiée. Pondération : valeur de l'IEP retenue par catégorie (si plusieurs objets se superposent la pondération la plus élevée prime ; si un tronçon est à cheval sur plusieurs zones la pondération la plus élevée prime).

Catégorie	Objets	Sélection	Catégorie ERE/EREE	Pondération
Paysage	Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (OFEV)	Sélection des objets ayant un lien prépondérant avec la protection de valeurs liées aux eaux (cf. liste en annexe)	A2	1.1
	Inventaire des monuments naturels et des sites IMNS (Vaud)	Sélection des objets ayant un lien prépondérant avec la protection de valeurs liées aux eaux (ajout d'un tampon de 50m autour des objets linéaires; cf. liste en annexe)	A2	1.1
Potentiel de connectivité	Confluences et embouchures	Eaux soumises à ERE/EREE	A1	1.3
	Planification cantonale de renaturation des cours d'eau	Tronçons de cours d'eau identifiés dans le cadre de la planification cantonale des revitalisations avec une priorité élevée ou moyenne et un délai de mise en œuvre de mesure <20 ans	A1	1.3
		Tronçons de cours d'eau identifiés dans le cadre de la planification cantonale des revitalisations avec une priorité élevée ou moyenne mais avec un délai de mise en œuvre de mesure >20 ans	B1	1
		Tronçons de cours d'eau identifiés dans le cadre de la planification cantonale des revitalisations avec une priorité faible mais avec un délai pour la mise en œuvre de mesure <20 ans		
	Réseau écologique cantonal (REC - VD)	Tronçons avec un potentiel écologique et paysager important selon la caractérisation de la planification	B1	1
TIBP rattachés aux sous-réseaux des eaux libres et humide				
Sites protégés	Inventaires fédéraux et zones de protection internationale	Zones alluviales	A1	1.3
		Sites de reproduction de batraciens	A1	1.3
		Zones OROEM	A1	1.3
		Bas-marais, Haut-marais et sites marécageux	A2	1.1
		Prairies et pâturages secs (PPS)	B1	1
	Inventaires cantonaux	Zone alluviale (objets validés DGE - février 2021)	A1	1.3
		Haut-marais, bas-marais (objets validés DGE - février 2021)	A2	1.1
		PPS (objets non retenus dans l'inventaire CH)	B1	1
	Réserves naturelles cantonales	Arrêtés de classement, plans de classement et réserves naturelles publiques (objets liés aux eaux; cf. liste en annexe)	A2	1.1
	Autres réserves naturelles	Réserves naturelles privées et zones de protection de la nature ou du paysage d'importance communale	B1	1
Espèces	Espèces de zone alluviale	Secteurs abritant de façon régulière (zones de reproductions notamment) des espèces des zones alluviales ou à exigences particulière en termes de domaine vital dans l'espace riverain (selon liste d'espèces indicatrices en annexe), avec la condition qu'au moins deux espèces de la liste doivent avoir été signalées dans l'hectare considéré pour retenir le tronçon de cours d'eau ou le tronçon de rive	B1	1
Autres	Autres surfaces non ou peu bâties			0.8
	Surfaces fortement bâties (contraintes fortes selon RECVD)			0.7

Agrégation

Les chevauchements de données sont agrégés en retenant la pondération maximale par zone. La couche résultante (Fig. 2) est finalement utilisée pour assigner à chaque tronçon de rive une valeur d'IEP. La valeur par défaut utilisée est 0.7.

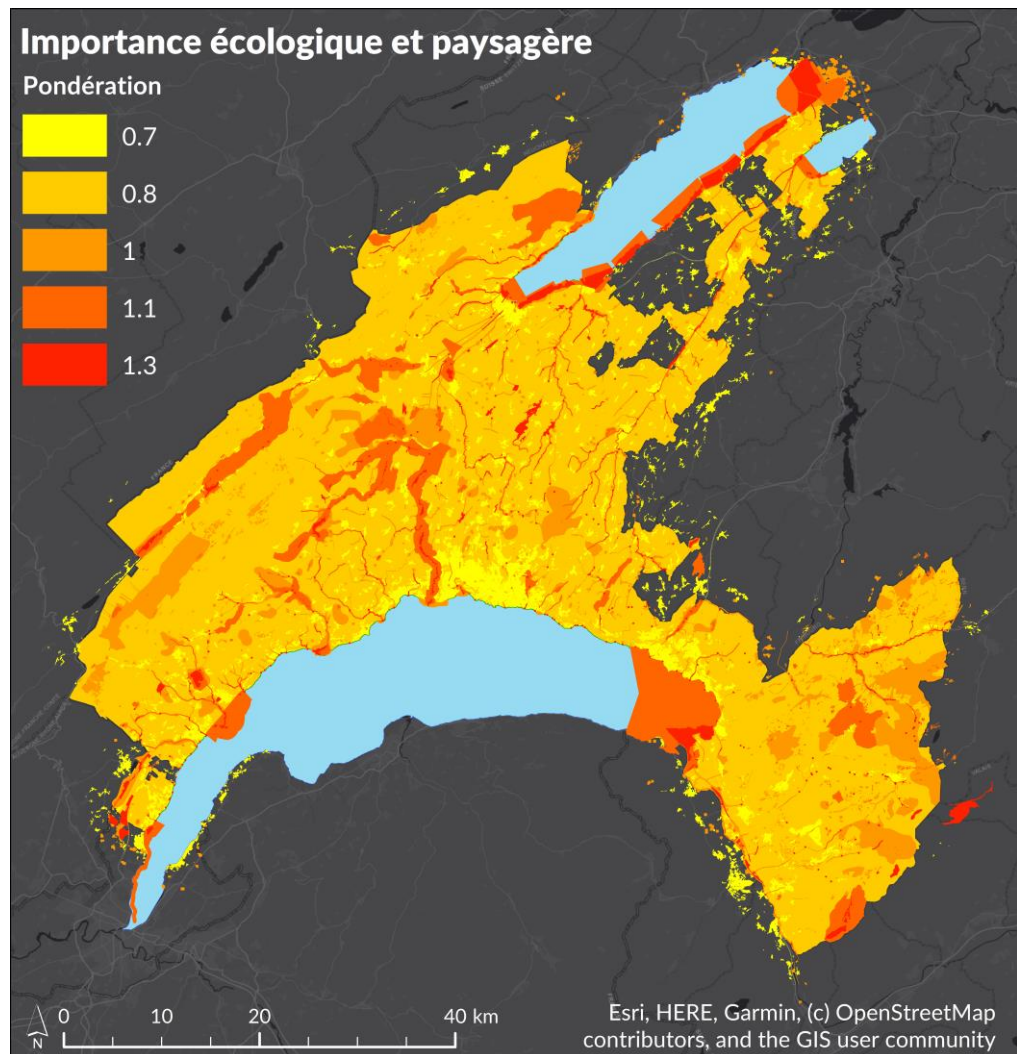


Fig. 2 : Couche de données d'importance écologique et paysagère notamment formée à partir de superposition d'inventaires (cantonaux et fédéraux) et de données de la planification de renaturation des cours d'eau.

2.1.4 Bénéfice basé sur le SIG (BSIG)

Nettoyage des données de base

L'outil SIG proposé par l'OFEV requiert des données de base sans lacune ni chevauchement. Ainsi, le référencement linéaire des attributs d'écomorphologie et d'IEP est méthodiquement vérifié. A l'issue de ce processus, tout point de la rive est pourvu d'une et une seule valeur de chaque attribut.

Classification du BSIG

Après conversion des attributs d'entrée en valeurs numériques, le calcul du BSIG fournit un résultat sous forme de points. Celui-ci est théoriquement borné entre 0 et 97.5. La classification manuelle du BSIG permet de respecter les conditions suivantes sur la longueur des lignes de

rive présentant un aspect écomorphologique insatisfaisant (« Dégradé », « Non naturel » ou « Artificiel ») :

- au maximum 25% classés comme « Important » ;
- au maximum 50% classés comme « Moyen ».

Procédure de
classification

A cette fin, la table résultante contenant le BSIG sous forme de points est filtrée pour ne garder que les tronçons à écomorphologie insatisfaisante. Les tronçons conservés sont ensuite classés par ordre décroissant de points obtenus avec leur longueur cumulée. Les deux limites sont ensuite définies par les tronçons cumulant 25% et 50% de la longueur totale des tronçons à écomorphologie insatisfaisante.

2.1.5 Agrégation des tronçons

Principe
d'agrégation

L'union des nombreux attributs implique une segmentation importante des rives lors du calcul du BSIG. L'étape d'agrégation des tronçons permet de définir une longueur à partir de laquelle les attributs sont fusionnés.

Longueur
pertinente : 10m

Lors de la seconde phase, la prise en compte d'autres données implique nécessairement une agrégation à la fin de l'étude. Par conséquent, il convient de minimiser la perte d'information à ce stade. La longueur minimale recommandée par l'OFEV, à savoir 10 m, est appliquée.

2.1.6 Autres

Potentiel de
valorisation

Le processus de calcul du BSIG est illustré en Annexe 1. Il permet une meilleure compréhension du potentiel de valorisation (PV). Cet attribut est fonction de l'écomorphologie, de l'effort d'aménagement et de la topographie de chaque compartiment de rive. Les valeurs de la ligne de rive (VLR_{BRiv} et VLR_{ZL}) permettent de considérer les interactions entre compartiments.

Effort
d'aménagement

Dans cette phase, aucune donnée particulière d'effort d'aménagement n'est fournie. Cet attribut est par conséquent calculé à partir de l'écomorphologie par l'outil SIG.

2.2 Phase II – Validation

Vue d'ensemble La méthodologie étant moins stricte dans cette seconde phase, les processus de calculs établis sont illustrés en Annexe 1.

2.2.1 Contrôle de vraisemblance

Agrégation La longueur pertinente d'agrégation pour le contrôle des experts est fixée à 50 m. Cette valeur donne un bon compromis entre finesse d'analyse et nombre de tronçons à contrôler. Ainsi, elle est gardée jusqu'à la fin du projet. L'outil d'agrégation des tronçons proposé par l'OFEV est utilisé.

Consultation des experts Les experts consultés sont issus de différents services du canton de Vaud et gestionnaires de sites naturels en lien avec les rives lacustres, à savoir :

- DGE-FORET : inspecteurs d'arrondissement et conservation des forêts ;
- DGE-PRE : hydrobiologistes ;
- DGE-BIODIV : biologistes de région et gardes-pêche permanents ;
- DGE-EAU : voyers des eaux, chefs de projets (protection contre les crues et revitalisation) ;
- Association de la Grande Cariçaie ;
- Fondation des Grangettes ;
- DGTL : aménagistes du service de la planification cantonale.

Par souci de simplicité, les communes n'ont pas été intégrées dans cette étape. Les experts consultés sont en effet au fait des spécificités locales et des éléments à considérer dans cette phase.

Les experts sont invités à consulter les cartes BSIG agrégées à 50 m et à procéder au contrôle de vraisemblance. Par courrier électronique, ceux-ci reçoivent les cartes, une lettre explicative (Annexe 6) ainsi qu'un formulaire de contrôle de vraisemblance (Annexe 7).

Des séances de présentation et de restitution sont organisées afin de faciliter les échanges. Il leur est notamment demandé de vérifier si des revitalisations sont envisageables aux tronçons « Important » et « Moyen ». L'absence d'intérêt des tronçons « Faible/Nul » est également vérifiée.

Les retours sont rassemblés dans un tableau (Annexe 8).

Tri des retours Dans ce tableau (Annexe 8), la totalité des informations pertinentes pour la planification sont saisies. Il est ensuite déterminé si ces instructions relèvent du contrôle de vraisemblance ou de

l'intégration des synergies et conflits. Cette information figure dans la colonne « Type » de ce tableau.

Typologie des retours d'experts Les retours recueillis sont classés en sept catégories. Celles-ci permettent d'adopter une systématique dans les changements apportés au BSIG (Tab. 3). Cette information est reportée pour chaque retour dans la colonne « Code type retour » de l'Annexe 8.

Tab. 3 : Catégorisation des retours d'experts lors du contrôle de vraisemblance

Code	Libellé	Explication	Effet BNPC
1	Biais analyse SIG	Péjoration écomorphologie non pertinente (exemples : ouvrages protection anti-érosion rive sud du lac de Neuchâtel, îles, ouvrages à vocation naturelle)	Ajustement négatif
2	Conditions locales défavorables	Faisabilité technique faible en regard du gain et des coûts (exemple : topographie et/ou bathymétrie et/ou courantologie défavorable)	Ajustement négatif
3	Conditions locales favorables	Plus-value significative sur tronçon à BSIG calculé faible. Potentiel de valorisation sous estimé par méthode.	Ajustement positif
4	Infrastructure zone littorale	Infrastructure lourde non identifiée ou prise en compte de façon partielle (Port, voie de communication, etc)	Ajustement positif ou négatif
5	Objectifs biologiques	Prise en compte mesure ciblée espèces et milieux naturels prioritaire/menacée	Ajustement positif
6	Tronçon non-significatif	Longueur du tronçon inférieur à 25 m	Ajustement positif ou négatif
7	Harmonisation contextuelle	Adaptation à l'échelle d'un projet/focale de réflexion	Ajustement positif ou négatif

Géoréférencement Dans le SIG fourni, la table d'événements « 01-PLAUS » de la couche « 02-Contrôle de vraisemblance » contient l'ensemble des remarques recueillies et leur modifications effectives sous forme géoréférencées.

Changements de géométrie L'intégration de ces données nécessite des changements de géométrie (découpage ou déplacement des tronçons). Pour ce faire, la table d'événements du BSIG est reprise. Les tronçons sont scindés aux endroits nécessaires (ports, embouchures) et modifiés. Les justifications y sont ajoutées.

Infrastructures lourdes : principe Les infrastructures lourdes sont considérées comme bloquantes pour tout projet de revitalisation. Même si ces dernières sont déjà intégrées dans l'analyse SIG, il est décidé de déclasser le bénéfice des tronçons concernés afin de s'assurer de la faisabilité de la planification.

Infrastructures lourdes : données de base Pour ce faire, les données d'écomorphologie sont reprises. En particulier, les tables C01 (Habitat, artisanat et industrie dans la bande riveraine) et C03 (Voies et surfaces de circulation dans la bande riveraine) sont utilisées.

Infrastructures lourdes : méthodologie L'union de ces deux tables avec la table de bénéfice contrôlée par les experts est effectuée. Deux cas de figure se présentent par rapport aux codes des tables C01 et C01 :

1. C01>C01.06 ou C03>C03.07 : -1 classe de bénéfice ;
2. C01>C01.06 et C03>C03.07 : -2 classes de bénéfice,

Zones de protection des eaux et site pollués

Finalement, les tronçons à bénéfice au moins « Moyen » se trouvant sur des zones de protection des eaux (S1, S2 ou S3) ou des sites pollués (nécessitant un assainissement) sont déclassés en « Faible/Nul ». Les mesures prévues sont en outre adaptées manuellement sur ces sites spécifiques.

2.2.2 Détermination des délais

Principe méthodologique

La priorisation se base sur le BSIG. En effet, la revitalisation des tronçons à bénéfice avéré doit *a priori* être réalisée en priorité. Des pondérations sont prises en compte, en particulier pour les zones à forte pente, la présence d'infrastructures lourdes ainsi que la proximité aux embouchures. Finalement, une priorisation manuelle est réalisée pour les projets potentiels dont le délai de mise en œuvre est prévisible.

Les portions de rive avec une forte pente ou avec des infrastructures lourdes sont retardées dans le temps, afin de se donner la possibilité d'acquérir de l'expérience et un savoir-faire.

Les tronçons proches des embouchures sont facilités et pérennisés par les apports naturels en sédiments, en plus de leur importance écologique et paysagère élevée. Ces tronçons sont donc à prioriser dans le sens où ils présentent une dynamique alluviale plus favorable.

Couche de base

La couche résultant du contrôle de vraisemblance (BNPC) est considérée comme base pertinente pour des futures mesures de revitalisation. L'intégration des synergies et conflits se fait donc sur la géométrie de ces tronçons. Il convient de préciser que cette géométrie ne correspond pas forcément à la délimitation des futurs projets.

Priorisation de base à partir du BSIG

Dans un premier temps, une priorisation de base est effectuée à partir du bénéfice basé sur le SIG. Le but est d'identifier un rythme constant de revitalisation (ordre de grandeur). La longueur des tronçons à BNPC « Moyen » et « Important » étant de 83.9 km, et en considérant que ce linéaire doit être revitalisé d'ici à 2090, le rythme annuel moyen de revitalisation résultant est de 1.199 km par an.

A partir de la table du BSIG non-agrégée et de la géométrie de la table du BNPC, les valeurs moyennes de BSIG sont calculées sur ces tronçons (BSIG moyen). Ils sont ensuite classés par BSIG croissant. En appliquant la valeur moyenne de 1.199 km par an, les classes de priorités sont déterminées à partir des valeurs de BSIG moyen correspondantes. (Fig. 3)

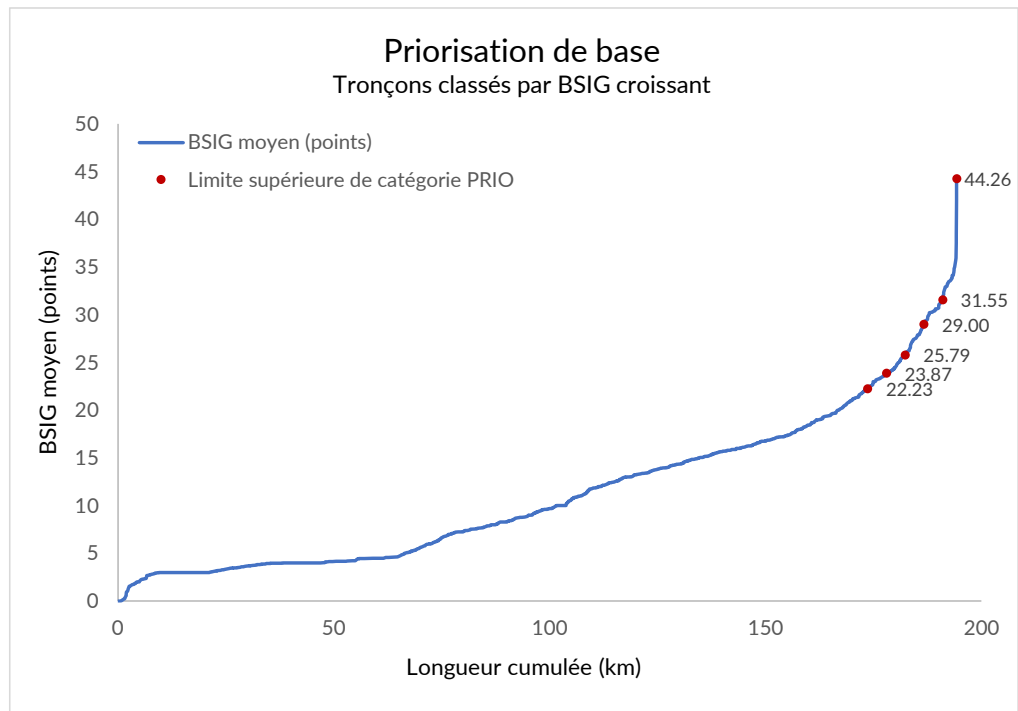


Fig. 3 : Priorisation de base des tronçons à partir de la répartition de 1.321 (km) par année dans chaque catégorie à partir du BSIG moyen sur la géométrie des tronçons issus du contrôle de vraisemblance. Les points rouges montrent les limites supérieures des six classes de priorisation.

Modifications systématiques

Dans un second temps, les aspects mentionnés de l'écomorphologie des rives (principe méthodologique) sont pris en compte comme synergies ou conflits. Les données utilisées sont les suivantes :

- Pente très raide : attributs d'écomorphologie C07.01 et E03.01 : -1 classe.
- Présence d'infrastructure lourde (comme en 2.2.1) : -1 ou -2 classes.
- Proximité par rapport à une embouchure (800m) : +2 classes pour les cours d'eau à bénéfice « moyen » ou « important » dans la planification de revitalisation des cours d'eau, + 1 classe pour les autres.

Ces données sont rassemblées sous forme de table d'événements, permettant de modifier la priorisation par défaut déjà établie.

Experts consultés

Ensuite, l'expertise d'acteurs ayant des connaissances précises de l'aménagement du territoire et des plans directeurs des rives est intégrée. Les experts consultés sont issus du service de la planification cantonale (DGTL). Les informations récoltées portent sur les synergies et conflits relatives à l'aménagement du territoire autour des rives lacustres. En particulier, les plans directeurs et plans d'affectation en vigueur sont considérés.

Compilation des
résultats

Les informations sont récoltées sur la base d'un questionnaire (Annexe 7). Les informations sont centralisées sur des cartes annotées au format PDF par la DGTL. Une couche est formée à partir des remarques recueillies : celle-ci contient des polygones approximant au mieux les zones concernées par les remarques (Fig. 4). Les polygones sont ensuite joints aux lignes de rives sous forme de tables d'événements. Cette table est finalement utilisée pour modifier la table de priorisation (PRIO).

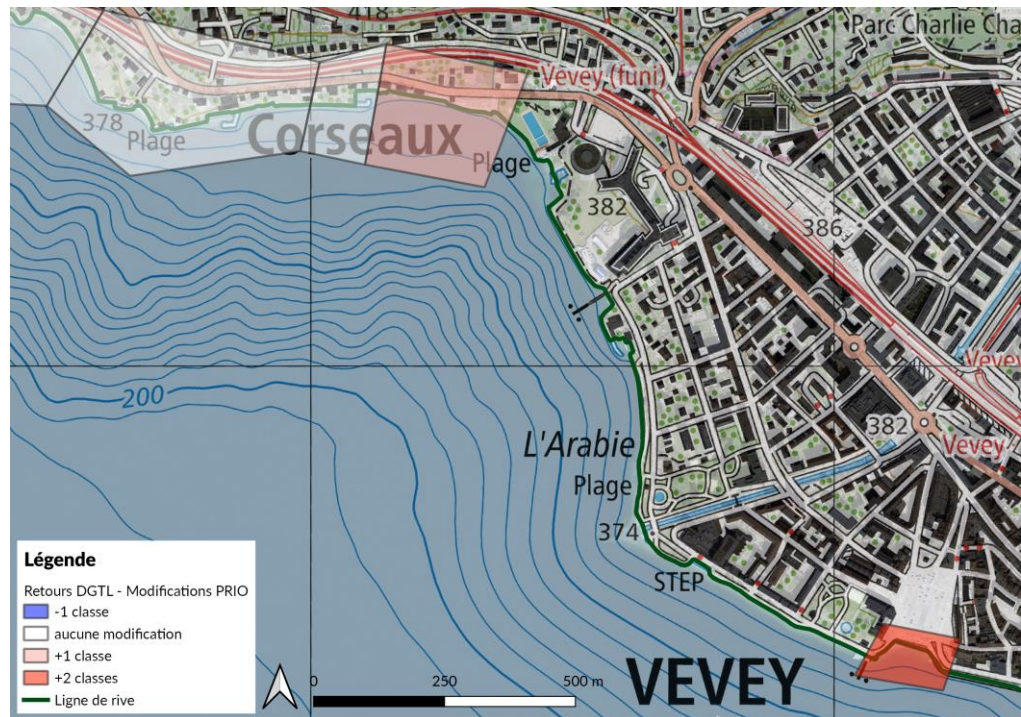


Fig. 4 : Extrait de la couche formée à partir des retours de la DGTL. Chaque polygone contient des poids de modification pour la table de priorisation (PRIO).

Exclusion des
tronçons à BNPC
« Faible/Nul »

La revitalisation des tronçons au BNPC « Faible/Nul » n'est pas priorisée. Ainsi, ces tronçons n'ont pas de priorisation temporelle dans la table d'événements respective du SIG.

Rythme constant

Suite à ces traitements, le rythme annuel moyen constant mentionné (Fig. 3) n'est plus respecté. Pour y remédier tout en conservant les éléments pris en compte, les tronçons dont le BSIG sont les plus faible dans chaque catégorie sont décalés à une catégorie de délai ultérieure.

Révision par DGE

Finalement, les résultats sont contrôlés par la DGE-Eau. Cette dernière étape a pour but de garantir la faisabilité des projets planifiés à une échéance courte, notamment en y intégrant les projets en cours, à l'étude ou en discussion.

2.2.3 Détermination des mesures possibles

Méthode de détermination

Sur un linéaire à revitaliser, le type de mesure possible est variable. Par exemple, il est possible de travailler en remblai sur une partie et en déblai sur une autre afin d'obtenir un bilan neutre en matériaux. Ainsi, des mesures peuvent être complémentaires entre elles (synergies).

Une clé de définition est fixée afin de définir les mesures potentielles adaptées à chaque situation. Elle se résume comme suit :

Clé de détermination

- Si la rive est très raide (code C07.01), les types de mesures en remblai sont exclus.
- S'il y a une présence d'infrastructures lourdes à proximité de la ligne de rive, les types de mesures en déblai sont exclus.

Le Tab. 4 détaille et distingue les quatre catégories résultant de l'application de ces deux critères.

Tab. 4 : Détermination des mesures possibles en fonction du type de rive.

¹ Type 0 : Par défaut

² Type 1 : Si infrastructure lourde (route, chemin de fer, réseau assainissement, quai-promenade) ou autre usages contraignants juste derrière la ligne de rive

³ Type 2 : Si pente raide (écomorphologie)

⁴ Type 3 : Si infrastructure lourde et pente raide

⁵ Structuration de la rive : diversification des structures et des conditions, zone refuge pour la faune, cache à poisson, nichoirs, passage à faune, piège à sédiments, autres aménagement semi-naturel support pour la biodiversité.

Code SIG	Mesures	¹ Type 0	² Type 1	³ Type 2	⁴ Type 3
1	Déplacement en retrait/la suppression d'un aménagement de la rive	X		X	
2	Aménagement d'une berge plane par remblayage	X	X		
3	Adaptation du terrain côté terre	X		X	
4	Restauration de la zone littorale (p. ex. comblement des fosses de dragage)	X	X		
5	Remblayage d'îlots	X	X		
6	⁵ Structuration de la rive	X	X	X	X
7	Création de zones humides/de mares dans la zone riveraine				X
8	Plantations de roseaux/mesures de protection des roseaux	X	X		
9	Retrait d'installations de la zone littorale/bande riveraine.		X		X

Exemples de revitalisations possibles

A titre d'exemple, une illustration de mesures de revitalisation de rive est proposée en Fig. 5. On montre que diverses possibilités s'offrent au concepteur du projet, que ce soit en avançant ou en reculant la ligne de rive, en introduisant des îlots et plans d'eau, roselières et autres éléments biologiques. Les numéros des mesures possibles du Tab. 4 sont reportées sur le croquis.

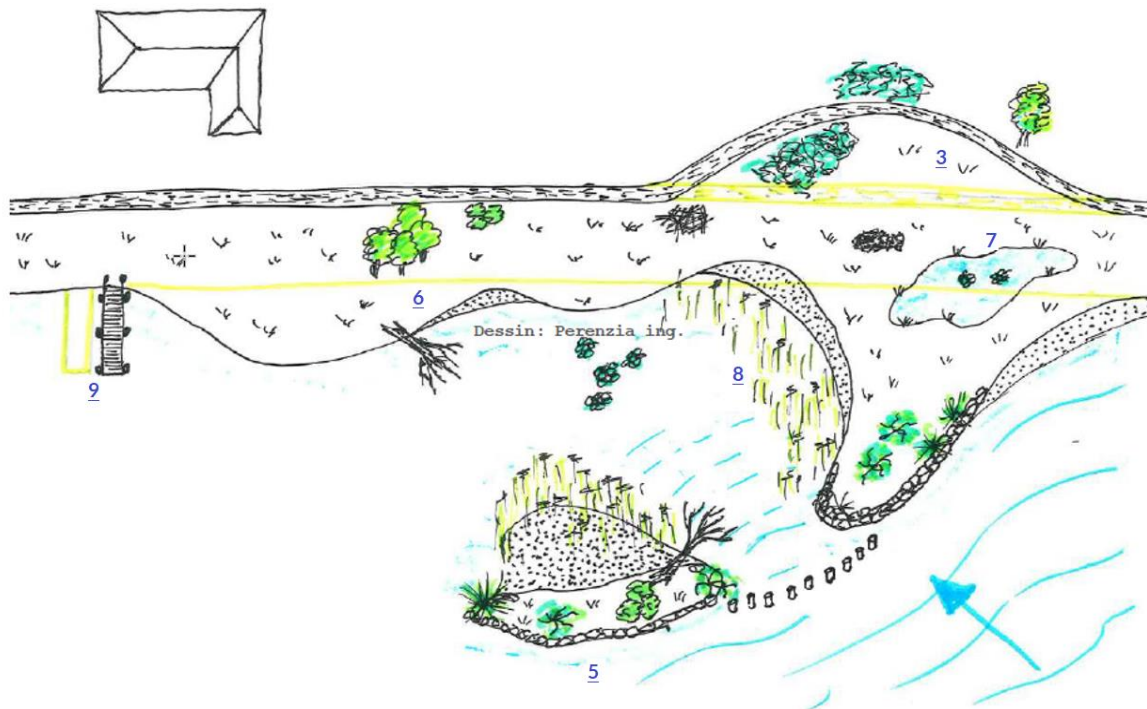


Fig. 5 : Illustration de diverses structurations de la rive. Les numéros bleus correspondent au code SIG des mesures décrites dans le Tab. 4.

2.2.4 Consultation finale

Afin de fournir une planification réaliste et en adéquation avec les ambitions des autorités cantonales, une consultation et une validation de la version finale de la planification est effectuée auprès du comité de pilotage de la renaturation (COPIIL renaturation). Les services suivants sont consultés :

- DGE, division ressources en eau et économie hydraulique ;
- DGE, division biodiversité et paysage ;
- DGE, division Forêt ;
- DGE, division protection des eaux ;
- Direction générale de l'agriculture, de la viticulture et des affaires vétérinaires (DGAV), direction des améliorations foncières ;
- Direction générale de l'aménagement du territoire et du logement (DGTL), service de la planification cantonale.

Cette consultation vise à vérifier que la planification est réaliste et intègre correctement les enjeux sectoriels qui s'exercent sur les rives lacustres. Les communes n'ont pas été consultées sur

le document. Elles seront étroitement informées, dans le cadre de l'entrée en vigueur de la planification.

3 Résultats SIG – Phase I

Les représentations cartographiques figurent dans le rapport d'annexe (Annexe 10). Dans ce chapitre, les bilans des attributs des rives sont reportés et commentés.

Les bilans sont proposés sous forme de diagrammes en barres. Pour un attribut, la longueur cumulée dans chaque catégorie est calculée, puis reportée à la longueur totale du lac considéré. Une synthèse des bilans est proposée en Annexe 9.

3.1 Etat écomorphologique actuel

Canton	Il apparaît en Fig. 6 que près de 60% des rives vaudoises sont catégorisés comme « Naturel » (28%) ou « Artificiel » (30%).
Le Léman	Le Léman cumule à lui seul la moitié des rives du canton. Il est le lac le plus dégradé. Seules 12% de ses rives sont dans un état écomorphologique satisfaisant.
Lac de Neuchâtel	Le lac de Neuchâtel (22% du total des rives vaudoises) est bordé par une majorité de rives naturelles (environ 60%). Celles-ci se regroupent essentiellement sur la rive sud du lac (Grande Cariçaie).
Lac de Morat	Le lac de Morat (5% du total des rives vaudoises) est représentatif de l'état moyen des rives du canton.
Autres lacs	Les plus petits lacs (25% du total des rives vaudoises) présentent un état écomorphologique des rives majoritairement satisfaisant.

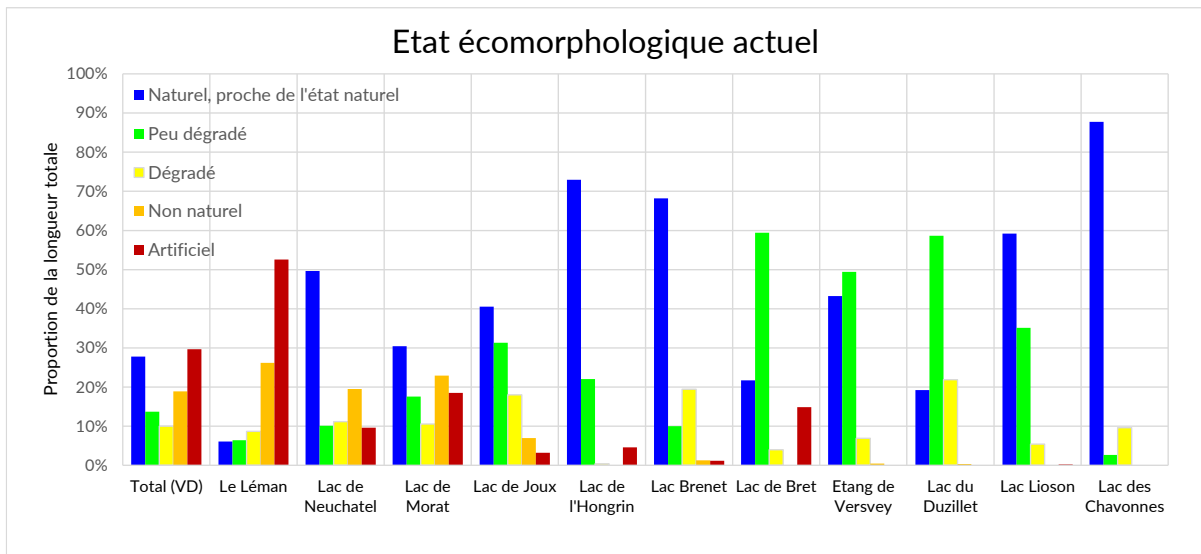


Fig. 6 : Bilan de l'état écomorphologique actuel, en pourcentage de longueur totale, pour l'ensemble du canton et par lac.

3.2 Importance écologique et paysagère

Le bilan des facteurs IEP produits (Fig. 7) montre que les deux tiers des rives présentent une importance écologique et paysagère marquée ou élevée. Les rives avec les IEP le plus importants sont concentrées autour des lacs les plus grands (Léman, Neuchâtel, Morat, Joux).

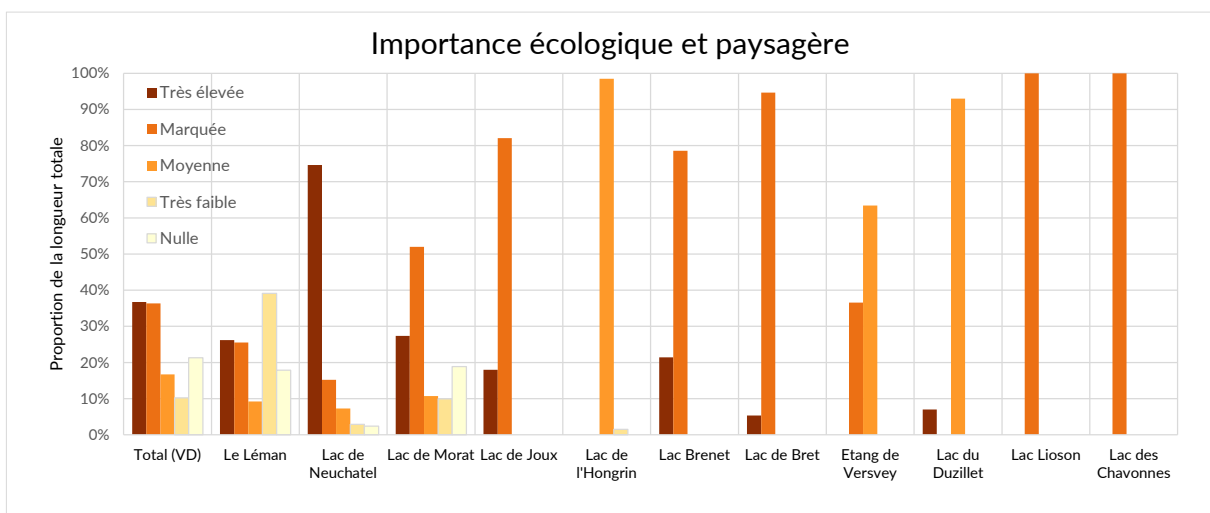


Fig. 7 : Bilan d'importance écologique et paysagère, en pourcentage de longueur totale, pour l'ensemble du canton et par lac.

3.3 Potentiel de valorisation

L'analyse (Fig. 8) montre qu'un tiers des rives possède un potentiel de valorisation important. Ces rives à haut potentiel de valorisation se concentrent essentiellement autour du Léman. Ce résultat s'explique par les valeurs du besoin de revitalisation (écomorphologie) très élevées sur ce lac. Le restant des rives avec un potentiel élevé se situe autour des lacs de Neuchâtel, de Morat et de Joux.

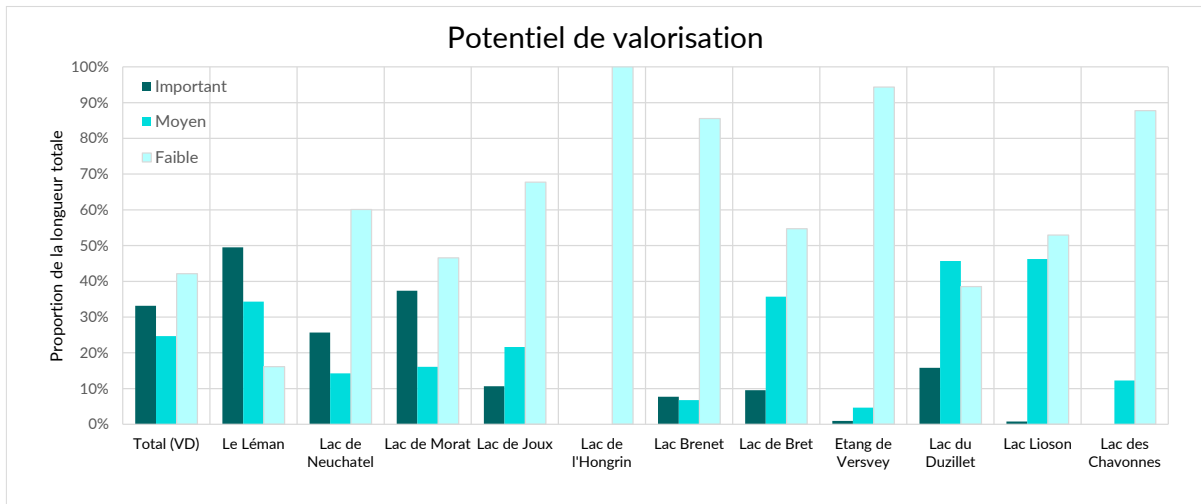


Fig. 8 : Bilan du potentiel de valorisation, en pourcentage de longueur totale, pour l'ensemble du canton et par lac

3.4 Bénéfice basé sur le SIG

BSIG en points

Après le calcul du BSIG par l'outil OFEV, les points de BSIG se situent entre 1 et 51 points. La distribution des longueurs cumulées par classe de points est montrée en Fig. 9. L'aspect bimodal de l'histogramme montre que beaucoup de tronçons ont un bénéfice égal à 3 ou 4 points et autour de 10 points.

Distribution

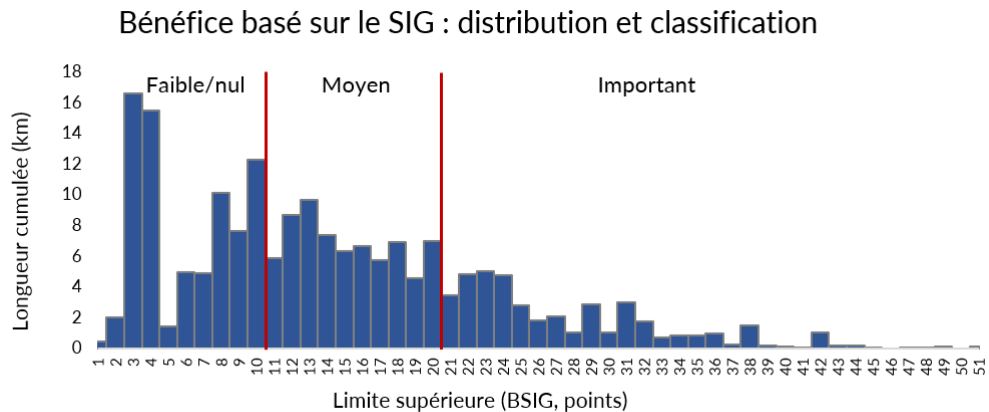


Fig. 9 : Distribution des longueurs cumulées par classes de points du BSIG après analyse SIG.

Classification BSIG

Les limites inférieures retenues sont respectivement 10 et 20 pour les classes « Moyen » et « Important » (Tab. 5). De la sorte, 44.3% et 24.8% de la longueur des rives présentant un état écomorphologique insatisfaisant se trouve respectivement classée comme « Moyen » ou « Important ». Un diagramme de cette classification est proposé en Fig. 10.

En diminuant ces limites à 9 et 19 points, ces proportions augmentent respectivement à 48.5% et 29.8%, excédant ainsi les limites prescrites.

Tab. 5: Classification du BSIG sous forme de points et longueurs cumulées par classe. Ecomorphologie insatisfaisante : dégradé, non-naturel ou artificiel.

Classification (BSIG, points)	BSIG Classe	Ecomorphologie insatisfaisante	
		Lcumulée (km)	Lcumulée / L _{tot} (%)
BSIG ≤ 10	Faible	35.2	30.9%
10 < BSIG ≤ 20	Moyen	50.3	44.3%
20 < BSIG	Important	28.2	24.8%
	Total	113.7	100.0%

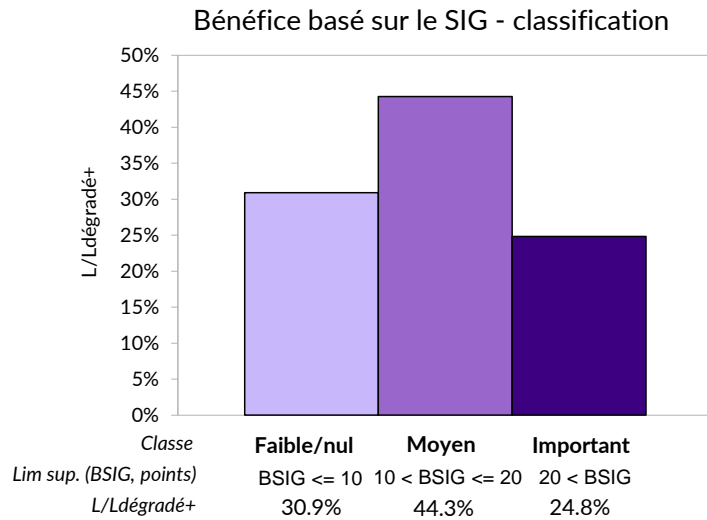


Fig. 10 : Classification du BSIG par rapport aux tronçons au moins dégradés et limites respectives retenues.

Il apparaît dans le bilan du BSIG (Fig. 11) que les tronçons dont le BSIG est « Important » sont concentrés autour des lacs les plus grands. Ce sont en effet ces derniers qui cumulent à la fois un grand besoin de revitalisation et une importance écologique et paysagère élevée.

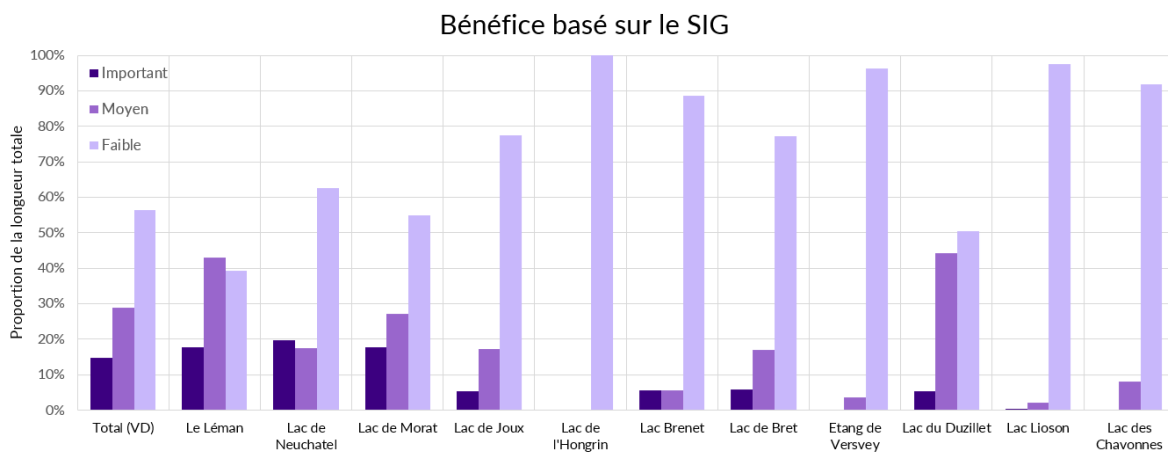


Fig. 11 : Bilan du bénéfice basé sur le SIG, en pourcentage de longueur totale, pour l'ensemble du canton et par lac.

3.5 Conclusion intermédiaire

Phase I : analyse
SIG

Cette première phase permet d'identifier les tronçons de rive sur lesquelles des mesures de revitalisation sont bénéfiques. Le calcul se base sur les attributs écomorphologiques, topographiques et écologiques.

- Mesures autour des grands lacs** Les résultats issus de cette analyse montrent néanmoins que l'essentiel des mesures est à prévoir autour des lacs les plus grands (le Léman, lac de Neuchâtel, lac de Morat et de Joux). Les plus petits lacs sont relativement bien conservés et présentent une importance écologique relative.
- Limites de l'analyse** Cette approche reste cependant lacunaire. Elle ne prend nullement en compte d'autres données importantes du point de vue de l'aménagement du territoire (plans directeurs en vigueur, propriétés privées, projets en cours) ou disponibles de façon plus ciblées seulement sur certains lacs ou portions de rives (réseau écologique lémanique, répartitions d'espèces particulières, notamment). La seconde phase a pour objectif d'intégrer ces réalités dans l'analyse. Finalement, l'approche suivie ne permet pas de prioriser les tronçons présentant une écomorphologie satisfaisante (naturel, peu dégradé), néanmoins optimisable (par exemple : embouchures sur des rives plus ou moins naturelles).

4 Résultats de la validation – Phase II

4.1 Bénéfice pour la nature et le paysage au regard des coûts

Bilan des tronçons

Suite au contrôle de vraisemblance, un bilan de la catégorisation des tronçons est établi (Tab. 6). Afin de vérifier le respect des conditions mentionnées (Chap. 2.1.4), les longueurs sont rapportées à la longueur de rive dont l'écomorphologie est dégradée (113.7 km). Ces conditions sont respectées.

Tab. 6 : Bilan du Bénéfice pour la nature et le paysage (BNPC) par rapport à la longueur totale dont l'écomorphologie est « dégradée » $L_{\text{dégradé}}$ (« Dégradé », « non naturel » ou « artificiel »).

BNPC Classe	L (km)	L / L_{tot} (%)	L / $L_{\text{dégradé}}$ (%)
Faible/Nul	110.3	57%	
Moyen	56.2	29%	49%
Important	27.7	14%	24%
Total	194.2	100%	

4.2 Priorités et types de mesures

4.2.1 Priorités

Les délais sont indiqués conformément à l'aide à l'exécution de l'OFEV. Ils sont issus de projections théoriques basées sur des valeurs moyennes de linéaire de rive revitalisé annuellement. Ils sont à considérer à titre indicatif uniquement. Le bilan des projections de linéaires de rive revitalisé par période de 4 ans et présenté au Tab. 7. Avec une projection d'environ 1 km de rive revitalisée par année, la revitalisation potentielle de 20 km de rives est planifiée d'ici à l'année 2041.

Tab. 7 : Bilan en longueurs cumulées de la table de priorisation (PRIO) par délai de réalisation. Ceux-ci sont rapportés à la longueur totale des tronçons à revitaliser (L_{revit} , soit les tronçons au BNPC « Important » ou « Moyen »). $L_{\text{cumulée}}$ est la somme intermédiaire incluant les catégories précédentes.

PRIO Classe	L (km)	$L_{\text{cumulée}}$	L / L_{revit} (%)
< 2024	0.3	0.3	0%
2025-2028	5.7	6.0	7%
2029-2032	4.3	10.4	5%
2033-2036	4.7	15.0	5%
2037-2040	4.3	19.3	5%
> 2041	66.2	85.5	77%
Total	85.5		100%

4.2.2 Types de mesures

Un bilan des mesures envisageables est proposé en Tab. 8. La détermination des types de rives en quatre catégories (chap. 2.2.3) implique que les mêmes proportions se retrouvent dans plusieurs lignes. Il convient aussi de noter que les catégories ne sont pas exclusives, un tronçon de rive pouvant avoir plusieurs mesures de revitalisations possibles.

Tab. 8 : Bilan en longueurs cumulées par types de mesures possibles, $L_{cumulée}$.
Ceux-ci sont rapportés à la longueur totale des tronçons à revitaliser (L_{revit}), soit les tronçons au BNPC « Important » ou « Moyen ».

PRIO		L	L / L_{revit}
Code SIG	Classe	(km)	(%)
1	Déplacement en retrait/suppression d'un aménagement de la rive	69.7	81%
2	Aménagement d'une berge plane par remblayage	61.5	72%
3	Adaptation du terrain côté terre	69.7	81%
4	Restauration de la zone littorale	61.5	72%
5	Remblayage d'îlots	61.5	72%
6	Structuration de la rive	85.5	100%
7	Création de zones humides/de mares dans la zone riveraine	6.1	7%
8	Plantations de roseaux/mesures de protection des roseaux	61.5	72%
9	Retrait d'installations de la zone littorale	15.8	19%

5 Conclusion

5.1 Contexte

Dans le cadre de la nouvelle législation sur les eaux (LEaux), la planification stratégique de revitalisation des rives lacustres est ici établie pour le canton de Vaud. Onze lacs sont retenus, notamment les plus significatifs (le Léman, lac de Neuchâtel, lac de Morat).

5.2 Méthodologie

L'aide à l'exécution de l'OFEV est utilisée. Elle donne un cadre strict dans la première phase (Analyse SIG), puis davantage de marge de manœuvre ensuite. Les choix méthodologiques effectués sont ici résumés.

Phase 1 (Analyse SIG)

- importance écologique et paysagère : pondération des différentes zones issues des études de détermination des espaces réservés aux étendues d'eaux (Tab. 2) ;
- agrégation des tronçons à 50 (m).

Phase 2 (Contrôle de vraisemblance) :

- prise en compte des avis d'experts de terrain ;
- prise en compte d'acteurs de l'aménagement du territoire (DGTL)
- prise en compte des infrastructures lourdes ;
- contrôle interne des résultats (DGE, groupement de travail, COPIL renaturation).

Phase 3 (Priorisation et mesures) :

- classification par défaut selon le BSIG, avec comme critère 1.199 (m) de revitalisation par année ;
- application des modifications issues du contrôle de vraisemblance ;
- prise en compte d'aspects écomorphologiques (infrastructures lourdes, pentes raides, embouchures) ;
- typologie des rives pour les types de mesures possibles.

5.3 Résultats

Sur l'ensemble des 11 lacs analysés, les résultats de la Phase 1 (Fig. 11) mettent en évidence un bénéfice fort de revitalisation sur les plus grands lacs, soit en particulier Le Léman, le lac de Neuchâtel et le lac de Morat.

Une vue détaillée des résultats est proposée en Annexe 9. Celui-ci contient les longueurs de rives de chaque lac pour chaque résultat (Ecomorphologie, potentiel de valorisation, IEP, BSIG, BNPC, priorités) en valeurs absolues et relatives au total des rives vaudoises.

Les représentations cartographiques des résultats figurent dans le rapport d'annexes (Annexe 10).

Cette étude a été réalisée par le groupement de bureaux Hydrique Ingénieurs (M. Johann Franziskakis), BEB (M. Eric Morard) et Perenzia (M. Romain Kilchherr).

Fait au Mont-sur-Lausanne, le 20 décembre 2022.

Pour le groupement,

Dr Frédéric Jordan

Dr Philippe Heller



Références

- OFEV (2018). « Revitalisation des rives lacustres – Planification stratégique. Un module de l'aide à l'exécution "Renaturation des eaux" », Office fédéral de l'environnement (éd.), L'environnement pratique n°1834.
- Prona SA (2019). « Détermination de l'état écomorphologique des rives lacustres vaudoises. Rapport technique version 1 », 9 avril 2019.
- OFEV (2016). « Méthodes d'analyse et d'appréciation des lacs en Suisse; module Écomorphologie des rives lacustres. », Office fédéral de l'environnement (éd.), L'environnement pratique n°1632.
- BEB SA (2012). Réseau écologique – Analyse au niveau cantonal (REC-VD). Etude réalisée sur mandat de la DGE-Biodiv (Etat de Vaud).
- BEB SA (2014). Planification stratégique de la revitalisation des cours d'eau - Rapport final. Etude réalisées sur mandat de la DGE-Eau (Etat de Vaud) dans le cadre de l'établissement du plan cantonal de renaturation des cours d'eau.
- BEB, Hydrique & Perenzia (2017). Revitalisation des rives lacustres - Développement d'une méthodologie de planification et de priorisation : secteur test du lac de Morat. Etude réalisée sur mandat de la DGE-Eau (Etat de Vaud).
- BEB SA (2019). Canton de Vaud – Espace réservé aux eaux. Définition des bases nécessaires pour la délimitation de l'ERE/EREE. Etude réalisée sur mandat de la DGE-Eau (Etat de Vaud).