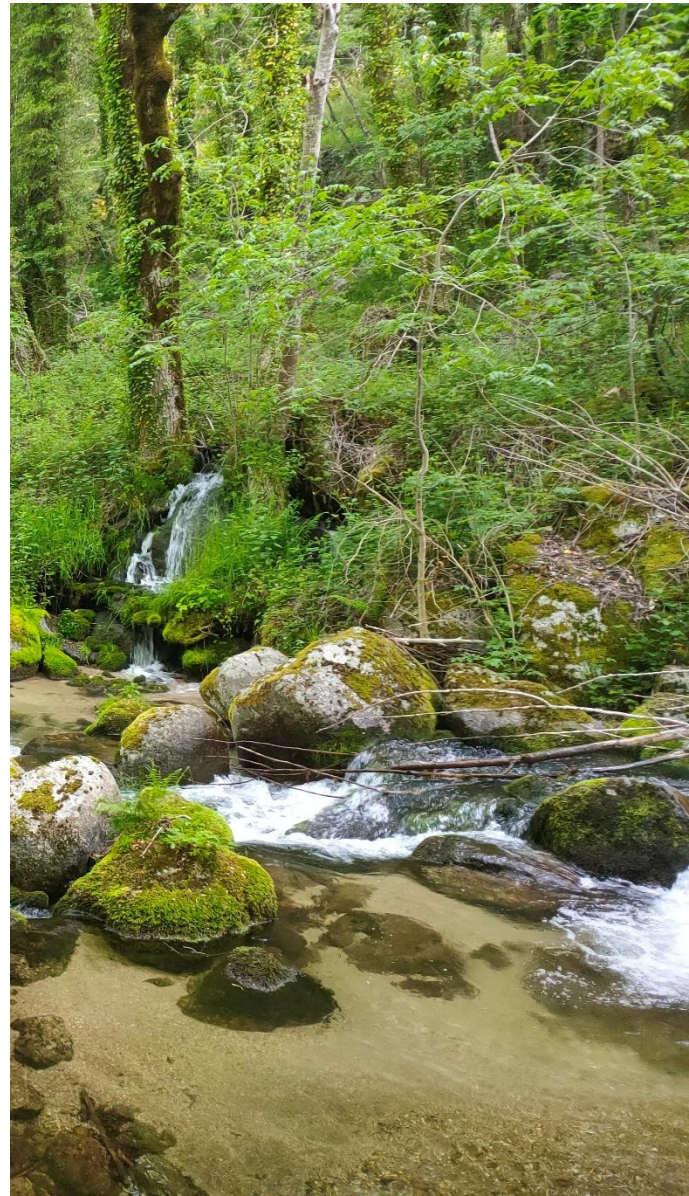


Evaluation environnementale allégée des projets de régénération low-tech fondés sur les processus

Dans le cadre du programme
Erable



10 janvier 2026

Rémi BOURRU

Table des matières

1.	Introduction.....	5
2.	Règles d'élaboration du protocole	6
3.	L'importance du diagnostic initial	7
4.	Les indicateurs	8
4.1	La morphologie.....	8
4.1.1	Suivi photographique	8
4.1.2	Suivi topographique	9
4.1.3	Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM).....	11
4.1.4	Autres indicateurs de complexité hydrodynamique	13
4.2	La biologie	14
4.2.1	Inventaire des invertébrés.....	14
5.	Conclusions.....	16

Table des figures

Figure 1: Exemple de structure en bois ayant pour objectif de piéger les sédiments et reconnecter la rivière aux milieux alluviaux (© Rémi Bourru – Oregon, 2025)	5
Figure 3: Sites ressources pour réaliser un diagnostic préalable à la conception du suivi écologique	7
Figure 4: Application Phlux pour le suivi photographique sur téléphone	8
Figure 5: Suivi cartographique par drone d'un site renaturé sur la Mosson à Laverune (34)	9
Figure 6: Suivi topographique par drone d'un site renaturé sur la Mosson à Laverune (34) et comparaison d'un profil altimétrique de berge	10
Figure 7: Cartes de substrats, profondeurs et vitesses constitutives de l'IAM (©Aquascop, 2020)	11
Figure 8 : classes de vitesse et profondeur IAM	12
Figure 9: coefficient d'attractivité des supports pour les poissons	12
Figure 10: Valeurs expérimentales de référence de l'IAM en fonction de la largeur moyenne du lit mineur*	13
Figure 18:Prélèvements d'invertébrés dans le cadre d'un I2M2.....	14

1. Introduction

La régénération low tech des milieux rivières fondée sur les processus écologiques s'intéresse principalement à l'effet de **deux matrices biotiques considérées comme « clé-de-voute »** :

- L'accumulation de bois mort ;
- L'activité de construction du castor.

Les travaux d'ingénierie écologique qui s'inspirent de ces procédés sont considérés comme novateurs en France. Ils présentent des spécificités techniques et des objectifs particuliers concernant la réactivation de processus écologiques. En ce sens, le programme ERABLE constitue un ensemble de sites précieux et permet l'élaboration des premiers suivis environnementaux associés à cette thématique en France.

Les effets de ces travaux sur la structuration et la composition de la biocénose et sur les caractéristiques du biotope nécessitent **d'être évalués de façon standardisée** pour participer à fluidifier le retour d'expériences auprès des gestionnaires et des financeurs et ainsi accompagner le déploiement de l'approche low-tech de façon objective et contextualisée.



Figure 1: Exemple de structure en bois ayant pour objectif de piéger les sédiments et reconnecter la rivière aux milieux alluviaux (© Rémi Bourru – Oregon, 2025)

2. Règles d'élaboration du protocole

Pour étudier de façon opérationnelle les objectifs d'un projet de restauration écologique, le présent protocole se base sur **la méthodologie Before-After-Contrôle-Impact (BACI)**. Il nécessite donc dans l'idéal :

- Un état initial avant travaux pour établir le diagnostic des conditions de référence (Before) ;
- Un suivi post travaux pour évaluer les effets du projet dans le temps (After) ;
- Sur un site témoin non influencé par le projet mais présentant des conditions écologiques proches (Contrôle) ;
- Et sur un site bénéficiant directement des travaux de renaturation (Impact).

L'ensemble des paramètres choisis pour suivre l'évolution des milieux fluviaux sont normalisés et issus de l'arrêté du 27 juillet 2018 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface. Ils permettent d'étudier les compartiments physicochimiques, hydromorphologiques et biologiques nécessaires à l'évaluation de la qualité structurelle et fonctionnelle des écosystèmes aquatiques continentaux.

Les protocoles présentés dans la suite du document pourront ainsi être utilisés et combinés pour **évaluer spécifiquement les différents objectifs de régénération** que sont :

- O1 : L'hétérogénéité des habitats aquatiques et rivulaires ;
- O2 : L'aggradation du lit ;
- O3 : La connectivité latérale avec la plaine alluviale ;

Dans un objectif de standardisation indispensable à la comparaison cout-effort/bénéfice des différents retours d'expérience, le diagnostic final devra être exprimé sous la forme **d'une métrique spatiotemporelle normalisée** en se rapportant aux nombres de structures par kilomètre et aux nombres de campagnes de travaux réalisées par an.

3. L'importance du diagnostic initial

La réalisation d'une synthèse diagnostique des informations existantes sur la zone d'étude est une phase primordiale à la conception du projet de renaturation **dans le but de cadrer le contexte, recenser les enjeux et de fixer précisément les objectifs écologiques envisagés.**

La conception du suivi environnemental doit être réalisée conjointement pour

Les informations suivantes doivent obligatoirement faire l'objet **d'une recherche bibliographique et/ou de collectes auprès des organismes gestionnaires et scientifiques** qui les produisent ou en sont propriétaires. Les données primordiales à consulter au préalable du projet sont :

- Les zonages règlementaires d'espaces protégés ou classements spécifiques dans les documents de planification et d'urbanisme locaux ;
- La réglementation concernant la continuité écologique et les enjeux migrateurs (liste 1, 2 et Plans d'action nationaux) ;
- Les espèces cibles, situation du peuplement piscicole et astacicole et l'état écologique du milieu aquatique ;
- Le positionnement de la zone d'étude sur le bassin versant et le fonctionnement hydrologique et hydromorphologique actuel ;
- Les sources de pressions potentielles initiales au sein du secteur d'étude élargi et la description des altérations sur la qualité de l'eau et de l'habitat ;
- La localisation des contraintes foncières, de la superficie de plaine réactivable et identification des acteurs du territoire ;

La consultation des sites suivants est vivement conseillée :

Geoportail	Zonage règlementaire, occupation du sol	www.geoportail.gouv.fr
LIDAR HD	Topographie MNT/MNS	https://geoservices.ign.fr/lidarhd
INPN SINP Inaturalist ...	Données naturalistes	https://inpn.mnhn.fr/ https://www.patrinat.fr/fr https://www.inaturalist.org/
Naiades	Qualité des masses d'eau	https://naiades.eaufrance.fr/

Figure 2: Sites ressources pour réaliser un diagnostic préalable à la conception du suivi écologique

4. Les indicateurs

4.1 La morphologie

4.1.1 Suivi photographique

Le suivi photographique est un outil simple mais aussi très informatif. Il est indispensable pour documenter les changements progressifs tout au long de la vie d'un projet de renaturation dans le but d'aider à la compréhension de la nouvelle trajectoire écologique du lieu. Cette méthodologie permet de **mettre en évidence visuellement l'évolution des processus à l'œuvre** après la création des structures low-tech et de capitaliser sur l'occurrence et l'impact d'événements hydrologiques. Ce procédé peut participer à expliquer les dynamiques associées à L'hétérogénéité des habitats aquatiques et rivulaires (Objectif O1).

Il peut être réalisé depuis le sol à l'aide d'un appareil photographique numérique ou d'un téléphone mais peut aussi être réalisé depuis les airs à l'aide d'un drone.

La reproductibilité géospatiale de la photographie est un élément clé du protocole.

Au sol, la reproductibilité peut être assurée par la mise à demeure d'un piège photographique fixe à déclencheur horodatée ou bien avec l'installation d'un socle permettant de caler son appareil dans une position identique à chaque prise.

Le développement **d'applications smartphone spécifiques** qui enregistrent et indiquent la géolocalisation et l'angle de vue à chaque prise en se basant sur la photo initiale se démocratise actuellement. **L'application Phlux** est particulièrement adaptée au reportage photographique et permet de bancariser les différentes images successives du reportage photographique même hors ligne. De plus, cet outil est collaboratif est chaque nouvelle station est géolocalisée sur une plateforme publique ce qui le rend particulièrement intéressant dans le cadre d'actions de sciences participatives.

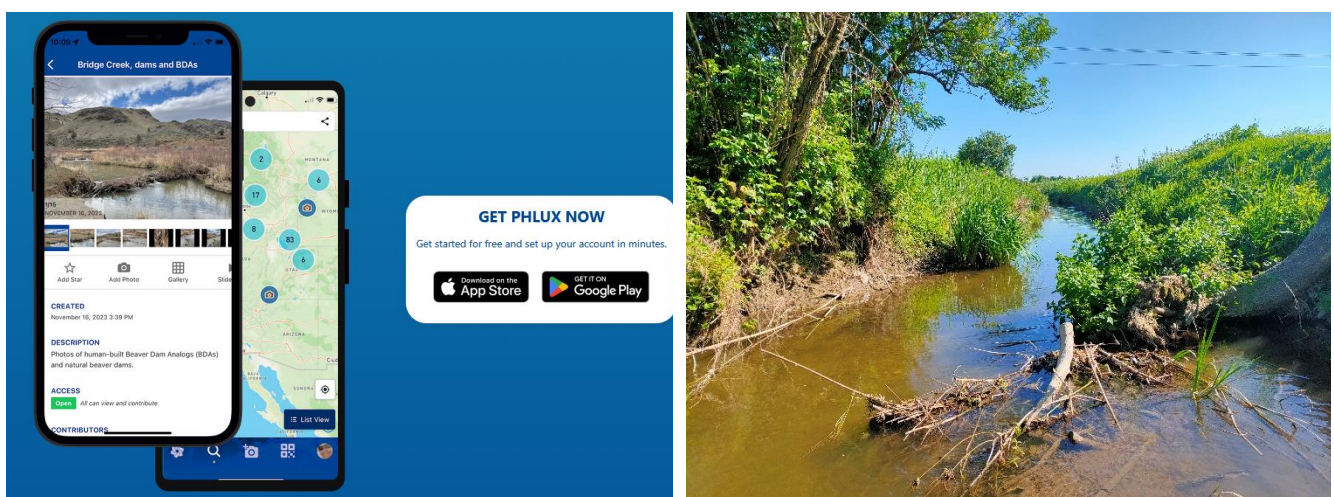


Figure 3: Application Phlux pour le suivi photographique sur téléphone (© Rémi Bourru – Vistre, 2025)

La réalisation d'un reportage photographique à l'aide d'un plan de vol automatisé par drone **aéroportée** est fortement conseillée dans le cadre de projets s'intégrant dans des milieux ouverts avec une faible couverture arborée permettant de voir le sol depuis les airs.

Après traitement photogrammétrique de ces images géolocalisées, **une orthomosaïque peut être générée**. Ces livrables géomatiques successifs peuvent ou pourront servir dans le futur de supports de caractérisation d'habitats divers tels que la croissance de la végétation, le taux d'ombrage, la densité de végétation, les évolutions hydrodynamiques latérales, laisses de crues.



Figure 4: Suivi cartographique par drone d'un site renaturé sur la Mosson à Laverune (© Rémi Bourru, 2025)

Le suivi sera réalisé à minima une fois par an, idéalement en période de basses-eaux dans l'objectif de discriminer au mieux les habitats aquatiques et rivulaires.

4.1.2 Suivi topographique

La mise en place de relevés altimétriques au sein de la zone d'influence du projet permet **de décrire l'évolution morphologique du site**. La réalisation de profils longitudinaux au niveau du fond du lit permet l'évaluation de l'objectif n°O2 correspondant à l'aggradation du matelas alluvial. La réalisation de profils transversaux du lit et de la ligne d'eau permet de quantifier l'évolution de la connectivité latérale et de la fonctionnalité des milieux alluviaux (objectif O3). Ces indicateurs sont potentiellement pertinents si le projet a pour vocation de favoriser le soutien hydrologique d'étiage en réhaussant le niveau de la nappe d'accompagnement.

Les levés topographiques peuvent être réalisés depuis le sol **à l'aide d'une station GNSS réceptrice du réseau RTK** autorisant une précision tridimensionnelle centimétrique où bien, si le milieu est ouvert, depuis les airs **à l'aide d'un drone aéroporté** muni d'un capteur LIDAR ou photographique (analyse photogrammétrique). Si le couvert végétal limite la couverture réseau, deux stations en mode Base et Rover ou bien un niveau de chantier pourront être utilisés.

Un couplage des deux méthodes air/sol peut être envisagé en utilisant le drone sur l'ensemble de l'emprise du site et en complétant la prospection au sol spécifiquement au niveau des secteurs où le relief est masqué par la végétation ou l'ennoisement du fond du lit.

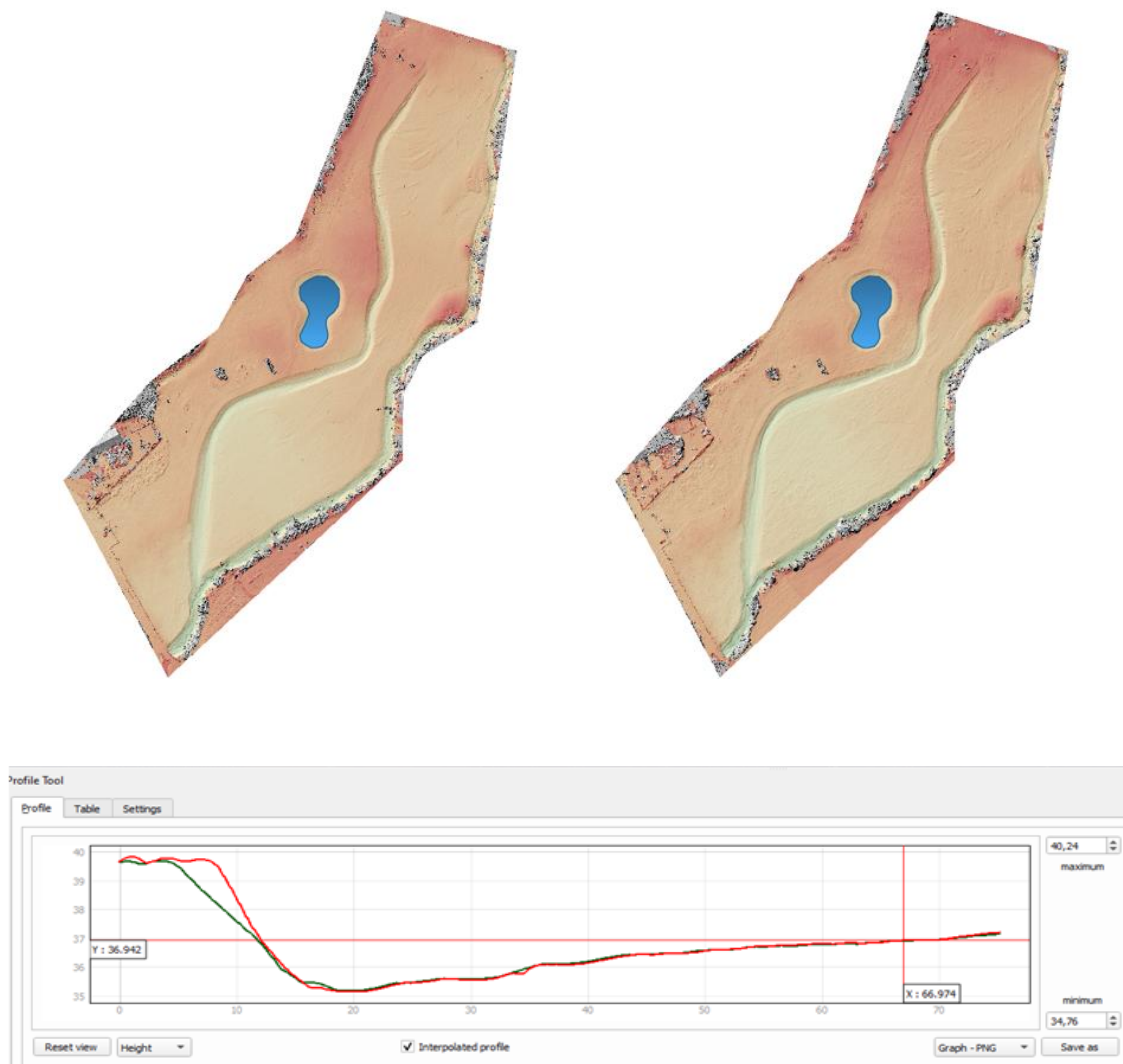


Figure 5: *Suivi topographique par drone d'un site renaturé sur la Mosson à Laverune et comparaison d'un profil altimétrique de berge (© Rémi Bourru, 2025)*

Une attention particulière sera apportée aux secteurs de rupture de pente (limite de faciès d'écoulement) ainsi qu'aux abords des structures construites lors du chantier pour assurer un suivi diachronique précis. L'emprise du projet pourra être étendue pour évaluer l'impact du potentiel piégeage des sédiments sur les secteurs aval.

La comparaison des profils et des modèles numériques de terrains et de surface permettra **d'estimer les évolutions altimétriques du fond du lit et des berges** (aggradation, reconnexion latérale) mais aussi de **calculer des volumes de cubature** nécessaires pour estimer le stock de sédiments piégés ou remobilisés ainsi que de mesurer la croissance des différentes strates végétales au niveau des rives.

Le suivi sera réalisé à minima une fois par an, idéalement en période de basses-eaux et pourra être dupliqué après chaque épisode de crue pour quantifier plus précisément l'évolution du piégeage sédimentaire au sein du projet.

4.1.3 Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM)

L'indice d'attractivité morphodynamique (IAM) est un protocole qui permet d'évaluer précisément l'évolution des habitats aquatiques et de la capacité d'accueil pour la faune et la flore (objectif O1).

Il repose sur la cartographie codifiée des métriques « profondeurs », « vitesses de courant » « substrats » au sein du site d'étude puis sur l'analyse de l'intersection de ces 3 niveaux d'information dans **l'objectif de localiser les pôles d'attraction pour la faune aquatique**. Parallèlement, la pondération de la représentativité de chaque pôle par **le coefficient d'attractivité du substrat concerné** permet de quantifier la capacité d'accueil générale du milieu.

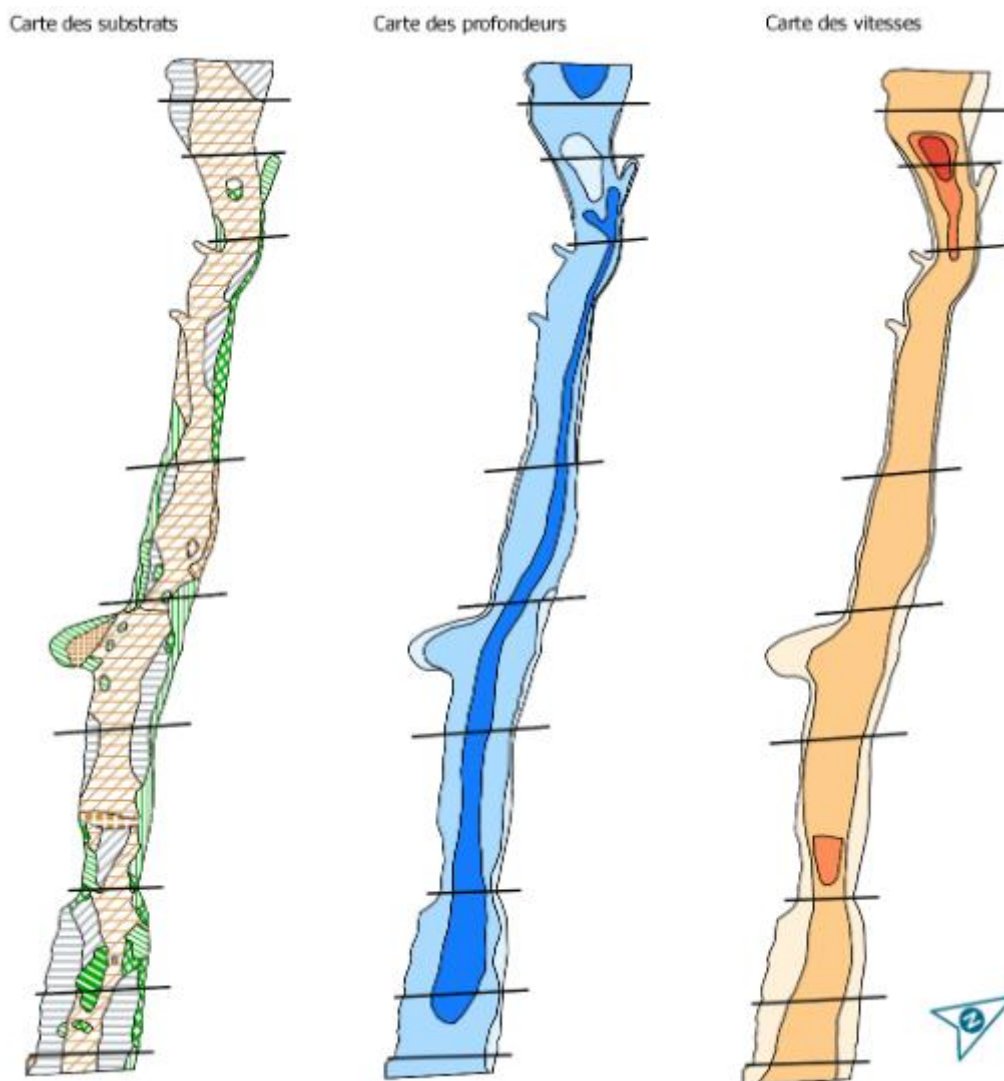


Figure 6: Cartes de substrats, profondeurs et vitesses constitutives de l'IAM (©Aquascop, 2020)

Dans un premier temps, **l'emprise du lit mouillée de la zone d'étude est délimitée avec une précision centimétrique**. Cette géolocalisation des chenaux en eau est réalisée à l'aide d'un projet géomatique bénéficiant de corrections GPS. L'utilisation d'une station GNSS réceptrice du réseau RTK autorisant une précision centimétrique de la mesure tridimensionnelle est nécessaire pour étudier l'évolution diachronique précise des superficies de la station.

Dans un deuxième temps, des mesures de hauteur d'eau et de vitesse d'écoulement sont réalisées au sein de l'emprise mouillée à l'aide d'une mire et d'un courantomètre. Ces données sont converties en cartographies bathymétriques et isovitesse selon 5 classes (Figure 7).

Classe	Vitesse (cm/s)	Profondeur (cm)
1	≤ 10	≤ 5
2	10 - 40	5 - 20
3	40 - 80	20 - 70
4	80 - 150	70 - 150
5	≥ 150	≥ 150

Figure 7 : classes de vitesse et profondeur IAM

Parallèlement, les substrats (granulométrie) et supports (végétation, abris, caches) sont discriminés selon 16 habitats unitaires et géolocalisées (Figure 8).

Code	Substrat	Attractivité
BRA	branchages, grosses racines immergés	100
BER	sous-berges	90
HYI	hydrophytes immergés	80
AFF	sources, résurgences, affluents	70
BLO	blocs avec caches	60
GAL	galets	50
HEL	hélophytes	40
CHV	chevelus racinaires, végétations rases	40
BLO	blocs sans anfractuosités	30
GGR	galets et graviers mélangés	25
GRA	graviers	20
GLS	galets pavés (sans anfractuosité)	10
LIT	litières organiques	10
SAB	sables	8
FIN	éléments fins, limons, vases	4
DAL	dalles, surfaces indurées (sans cache)	1

Figure 8: coefficient d'attractivité des supports pour les poissons

Ensuite, la note indicienne est calculée selon la formule suivante :

$$IAM = [\sum (Si * Attract.(subst_i))] * Var(subst) * Var(h.e.) * Var(v.)$$

Avec :

- **Var** : le nombre de classes recensée sur la station d'étude pour la métrique concernée ;
- **Si** : les superficies pour le substrat concerné ;
- Et **Attract** : les coefficients d'attractivité pour le substrat concerné comme ci-dessous ;

L'IAM est enfin comparé à un indice d'attractivité de référence théorique en fonction du gabarit du cours d'eau :

Largeur	0,5	1	2	4	6	8	10	12	16	20	40	60
IAM optimal	1600	2400	3600	6200	7720	8880	9750	10400	11470	12060	13550	14030

*Figure 9: Valeurs expérimentales de référence de l'IAM en fonction de la largeur moyenne du lit mineur**

Le suivi sera réalisé à minima une fois par an en période de basses-eaux et pourra être dupliqué à la période de reproduction de l'espèce piscicole ou astacicole cible pour caractériser plus précisément la superficie et la qualité des frayères et habitats de nourricerie sur la zone d'étude.

4.1.4 Autres indicateurs de complexité hydrodynamique

Il est intéressant de remarquer qu'en dépit de leur simplicité de mise en œuvre, **la réalisation de profils topographiques couplés au protocole IAM permet de récolter de nombreuses informations** qui peuvent être valorisées pour étudier finement la morphodynamique du cours d'eau et son évolution sous l'effet d'un projet de renaturation. Les indicateurs de complexité à retenir sont :

- Le linéaire en eau total (m) ;
- Les emprises inondées et gorgées/hydratées (m²) ;
- Le nombre de confluence/difffluence ;
- Le recouvrement de colmatage par les substrats fins (%)

Comme vu précédemment, l'utilisation d'un drone aérien pour réaliser une orthomosaique de haute résolution associée à un MNT peut permettre de faciliter le travail de discrimination géomatique.

4.2 La biologie

4.2.1 Inventaire des invertébrés

Les macroinvertébrés benthiques regroupent les insectes, mollusques, crustacés, vers et autres taxons vivants sur ou dans le lit des cours d'eau.

Ayant des capacités de colonisation assez rapides, des cycles de vie de quelques mois à quelques années et étant souvent inféodés à des mésohabitats bien spécifiques, **ces espèces intègrent efficacement les variations saisonnières et les perturbations du milieu**. Ils réagissent aussi bien aux pollutions chimiques ou organiques, aux altérations hydromorphologiques qu'au régime hydrologique de l'environnement. Ils sont considérés à ce titre comme d'excellents bioindicateurs des conditions et des changements du milieu.

Ce suivi faunistique permet d'évaluer l'objectif de renaturation O1 relatif à l'hétérogénéité des habitats aquatiques et rivulaires.

Le protocole d'évaluation se base sur **les normes NF T90-333 et NF T90-388** relatives à l'échantillonnage et à la détermination en laboratoire des invertébrés benthiques. Il permet le calcul de l'Indice Invertébrés Multimétriques (I2M2) nécessaire pour l'évaluation de l'état écologique d'une masse d'eau selon les exigences de la directive cadre sur l'Eau (DCE).

Le plan d'échantillonnage est composé de **12 prélèvements unitaires répartis en fonction de la représentativité et de l'attractivité des mésohabitats en présence**. Chaque placette est prélevée à l'aide d'un filet surber avec **une surface d'échantillonnage au sein d'un cadre métallique de 20 cm²**.



Figure 10: Prélèvements d'invertébrés dans le cadre d'un I2M2 (© Rémi Bourru – Dourbie, 2025)

Chaque prélèvement est géolocalisé, conditionné séparément et les conditions de substrat, vitesse, profondeur et colmatage sont obligatoirement décrits. **Ainsi les cortèges faunistiques inféodés à un mésohabitat unitaire seront étudiés séparément.**

Dans un souci de discrimination plus précise des conditions d'habitabilité, ce protocole peut être couplé à celui du **MAG20 qui se base non pas sur 12 mais sur l'échantillonnage de 20 placettes substrats/vitesse**. Ainsi, les 8 prélèvements supplémentaires peuvent apporter des données semi-quantitatives supplémentaires concernant la distribution spatiale des invertébrés sur le site.

Après la phase d'inventaire en laboratoire, l'analyse des traits écologiques des différents taxons permet de renseigner sur l'évolution de la mosaïque d'habitats constituant l'écosystème aquatique. Les métriques suivantes sont pertinentes :

- **La richesse taxonomique, l'abondance et l'Indice de Shannon** qui témoignent de la diversité et de la qualité des habitats et niches écologiques en présence ;
- **Le polyvoltinisme** qui traduit la durée de vie moyenne du peuplement et renseigne sur la stabilité et la pérennité des conditions abiotiques ;
- **Les préférendums en termes de substrat et de source de nutrition** pour décrire l'évolution des habitats et l'effet du colmatage ;
- **L'affinité aux conditions thermiques spécifiques** pour décrire l'évolution de la température de l'eau ;
- **La poluosensibilité des taxons** qui témoigne des caractéristiques physicochimiques du milieu ;

Les listes faunistiques et traits écologiques associés à chaque prélèvement unitaire géolocalisé peuvent **être rapportés à la cartographie des habitats de l'IAM** si ce protocole a été réalisé simultanément. Ainsi les densités surfaciques des taxons recensés pourront être extrapolées à l'ensemble des recouvrements de substrats cartographiés au sein de la station d'étude. L'étude de la faune benthique en corrélation avec le recouvrement des mésohabitats (IAM) permet ainsi d'étudier finement l'évolution de la productivité biologique et de la capacité d'accueil du milieu restauré.

L'échantillonnage doit être réalisé dans l'emprise du site en période de basses-eaux ce qui garantit une prospection optimale dans les conditions les plus limitantes (plus faible dilution des polluants et oxygénation). Parallèlement, le débit doit être stabilisé depuis au moins 10 jours afin d'éviter les pertes ou les apports de faune par la dérive.

5. Conclusions

Le suivi environnemental est un prérequis indispensable pour évaluer les indicateurs de succès d'un projet d'ingénierie écologique. Il doit être réfléchi en amont du projet en se basant sur un diagnostic préalable le plus exhaustif possible pour être en mesure de :

- choisir précisément les indicateurs adaptés aux objectifs ;
- localiser judicieusement les stations impactées et de référence ;
- réaliser un état initial avant travaux.

L'ensemble des indicateurs doivent assurer l'étude des 3 grands compartiments nécessaires à l'évaluation du fonctionnement d'un milieu aquatique et rivulaire que sont sa morphologie, son hydrologie et sa biologie.

En fonction des besoins et des enjeux, le suivi peut être plus ou moins ambitieux et détaillé. Il est toutefois pertinent que celui-ci comprenne au minimum une caractérisation des habitats (protocole IAM par exemple) associé à une réponse d'un cortège biologique (protocole I2M2 par exemple) comme le suggère le suivi allégé du programme ERABLE.

Les résultats doivent être exprimées sous forme de métriques standardisées associées à la superficie du projet et à l'effort de travail (nombre et type de structures).



Figure 11: Ouvrage castor-mimétique sur le Taleyson à Bernos-Beaulac (Rémi Bourru, 2025)